



ISBN 978-5-89873-597-5



9 785898 735975

**Электронный сборник статей  
по материалам конференции**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

**1**



**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

**Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)**

**Электронный сборник статей  
по материалам конференции**

**В трех томах**

**ТОМ 1**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция  
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 1

*Под общей редакцией ректора КГЭУ  
Э. Ю. Абдуллазянова*

Казань 2022

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

М43

Рецензенты:

заведующий кафедрой ЭиЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

доктор технических наук, доцент К. В. Суслов;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И. Г. Ахметова (зам. гл. редактора),

Е. С. Дремичева

М43 Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 1. – 736 с.

ISBN 978-5-89873-597-5 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-600-2

В электронном сборнике представлены статьи по материалам Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло-и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

ISBN 978-5-89873-597-5 (т. 1)

© КГЭУ, 2022

ISBN 978-5-89873-600-2

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 621.311.16

### РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ДЕФИЦИТА МАНЕВРЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КАЗАХСТАНА ЗА СЧЕТ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Г.Г. Трофимов<sup>1</sup>, Ж.К. Бекболатова<sup>2</sup>, Д.А. Сулейменов<sup>3</sup>, О.П. Живаева<sup>4</sup>  
<sup>1,3,4</sup>АУЭС им. Гумарбека Даукеева, <sup>2</sup>Университет Сатпаева, г. Алматы, Казахстан  
<sup>1</sup>depenergy@mail.ru; <sup>2</sup>bekbolatova@inbox.ru; <sup>3</sup>d.suleimenov@aues.kz;  
<sup>4</sup>olga\_zhivayeva@mail.ru

В статье описаны проблемы в ЕЭС Казахстана, связанные с дефицитом маневренных мощностей и стремительным темпом интеграции ВИЭ. Предлагается путь решения этих проблем за счет применения систем хранения энергии, установленных на электрических станциях с ВИЭ в ЕЭС Казахстана.

**Ключевые слова:** маневренные мощности, возобновляемые источники энергии, накопители энергии, энергосистема.

В Казахстане доля угольных неманевренных электростанций составляет более 70 %. В это же время в США на угольную генерацию в 2021 г. приходилось всего 20 %. В России доля энергоблоков, работающих на угле, от общей мощности всех электростанций по итогам 2020 г. составила 16 %, что составляет в выработке электроэнергии всего 13 %. В целом по ЕС доля угольной генерации с 2016 по 2020 гг. сократилась вдвое и составила в 2020 г. всего 12 %.

В 2020 г. установленная мощность маневренных станций в Казахстане в составляла 4,06 % для крупных и 11,57 % для малых ГЭС, а для газотурбинных ТЭС – 16,92 %. Причем выработка электроэнергии от всех ГЭС составляла всего 8,83 %, и на этом же уровне находилась также выработка электроэнергии газотурбинными электростанциями.

В России на конец 2019 г. доля выработанной электроэнергии от гидроэлектростанций в структуре установленной мощности составляла 18,8 %, а в структуре производства электроэнергии – 17,5 %. Аналогично доля выработанной электроэнергии от ГЭС в структуре производства в 2018 г. в СНГ составила 16,4 %, а в мире – 15,7 %. Установленная мощность ГЭС в структуре генерирующих мощностей в 2018 г. в СНГ составила 18,4 %, а в мире с учетом ГАЭС – 18 %. В Украине планируется увеличить долю ГЭС и ГАЭС с 7–10 % до 15,5 % до 2026 г.



Таким образом, проведенный нами анализ показывает, что в структуре генерирующих мощностей ЕЭС Казахстана наблюдается многолетний дефицит маневренных мощностей для покрытия пиковых нагрузок.

Именно нехватка установленных мощностей ГЭС в республике создает дисбаланс в энергетической системе, приводя к ухудшению условий устойчивости. Наличие дефицита маневренной мощности является причиной крупных дополнительных инвестиций по обеспечению стабильности и надёжности работы энергосистемы. Так для компенсации только почасовых отклонений мощности Казахстан вынужден в последние годы закупать в России электроэнергию, оплачивая за это порядка 25 млн долл./год [1].

Между тем с момента принятия закона «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» 4 июля 2009 г. в стране начали разрабатывать планы развития ВИЭ. Были поставлены амбициозные цели довести долю ВИЭ в общем объеме производства электроэнергии в стране до 3 % в 2020 году, 6 % – в 2025 году, 10 % – к 2030 году.

В 2020 г. доля выработки электроэнергии за счет ВИЭ была доведена до 3 %. Тем самым был выполнен первый этап, в Концепции перехода Казахстана на «зеленую» экономику.

Поэтому для дальнейшего проведения политики декарбонизации, несмотря на грандиозность существовавших планов развития ВИЭ в стране, они в 2021 г. были пересмотрены в сторону увеличения. Теперь Казахстан намерен довести долю ВИЭ в общем объеме производства электроэнергии до 6 % и 10 % в 2025 и 2030 г., соответственно, а к 2050 г. на возобновляемые и альтернативные источники энергии должно приходиться не менее половины всего совокупного энергопотребления.

Однако выполнение первого этапа интеграции ВИЭ в энергосистему страны показало, что дальнейшее развитие этих нестабильных источников энергии упирается в возникшие барьеры, связанные не столько с низкой пропускной способностью отдельных изолированность регионов, где располагаются эти станции, сколько с отсутствием в энергосистеме маневренных мощностей. Это создает определенные сложности в управлении режимом и препятствует темпам дальнейшей интеграции ВИЭ в энергосистему. Поэтому, учитывая, что доминирующая в ЕЭС Казахстане доля угольной генерация не является гибкой, необходимо быстрыми темпами развивать гибкие маневренные мощности. Гибкие источники – это такие станции как газовые, гидроэлектростанции или накопители энергии разных типов.

Поэтому Министерство энергетики совместно с Казахстанской компанией по управлению электрическими сетями» (Kazakhstan Electricity Grid Operating Company) KEGOC обратили на это внимание и для дальнейшего развития ВИЭ разработали комплекс решений по модернизации энергосистемы Казахстана.

В связи с этим в конце 2020 г. АО «KEGOC» завершило создание системы автоматического регулирования частоты и мощности (АРЧМ). Система позволит эффективно использовать маневренные возможности отечественных электростанций и снизит небалансы на границе с Российской энергосистемой. Кроме того, особое внимание обращено на введение балансирующего рынка электроэнергии, который может помочь в наращивании потенциала резервных мощностей. Поэтому широкая интеграция ВИЭ в ЕЭС Казахстана требует запуска балансирующего рынка в режиме реального времени.

Министерство энергетики Казахстана с целью диверсификации структуры генерирующих мощностей в ЕЭС и интеграции в нее новых маневренных мощностей стало обращать внимание не только на наращивание мощности ВИЭ, но и на процесс аккумуляции энергии ВИЭ с целью балансировки мощности за счет закупки и установки на этих электрических станциях систем хранения энергии (СНЭ). Поэтому стали проводить аукционные торги по отбору проектов ВИЭ совместно с СНЭ.

Можно сделать вывод, что в значительной степени решение проблемы дефицита маневренных мощностей в ЕЭС Казахстана может быть достигнуто за счет применения СНЭ в энергосистеме Казахстана на электрических станциях с ВИЭ.

В России уже в 2020 г. было реализовано несколько проектов по созданию СНЭ. Для этого ранее было построено три гидроаккумулирующие станции, а затем реализовано несколько проектов с электрохимическими накопителями, установленными на электрических станциях с ВИЭ. Кроме того, разработан и строится в «Сколково» новый твердотельный накопитель для хранения энергии на базе 80-метровой установки. Этот промышленный накопитель энергии не уступает по экономическим показателям не только электрохимическим накопителям, но и гидроаккумулирующим электростанциям, кроме того он не требователен к месту его размещения.

К сожалению, на сегодняшний день в Казахстане нет установленных в энергосистеме накопителей энергии. Полагаем, что для Казахстана наращивание маневренных мощностей для повышения гибкости ЕЭС должно проходить за счет строительства ГЭС, ГАЭС и использованием новых типов относительно более дешевых накопителей.

Между тем, мировая энергетика быстро меняется, и один из важнейших трендов ее развития состоит в совершенствовании и быстром распространении СНЭ за счет возможности использования в энергосистемах разнообразных функций, предоставляемых ими.

Выделим стандартные функции, выполняемые системами накопления и хранения энергии:

- 1) срезание пиков мощности и в энергосистеме, и у потребителя;
- 2) режим источника бесперебойного питания для любого потребителя;
- 3) компенсация резко переменных набросов мощности от ветроэнергетической установки (ВЭУ);
- 4) обеспечение резервной мощностью солнечной электростанции (СЭС);
- 5) регулирование частоты и напряжения во всех точках энергосистемы, где они установлены;
- 6) ограничение наброса и сброса нагрузки;
- 7) стабилизация работы генераторного оборудования;
- 8) замена «вращающегося резерва».

Установка накопителей энергии на электрической станции и распределенных накопителей разных типов, установленных в энергосистеме, способна оперативно изменять генерацию автоматически или по команде диспетчера. Эти СНЭ оказываются значительно более экономичным вариантом для резервирования генерации солнечных и ветровых электростанций, чем вариант содержание горячего резерва мощности на традиционных электростанциях используемый сегодня в Казахстане. Это связано с тем, что установка накопителей требует только одноразовых вложений, в то время как содержание горячего резерва связано с постоянной оплатой расходуемого топлива на множестве электростанций республики в течение даже не одного года. Поэтому в наше время резерв маневренной мощности должен создаваться не на традиционных электростанциях, что предполагает значительные дополнительные затраты, а за счет установки накопителей энергии, в первую очередь, на крупных и автономных электрических станциях с ВИЭ, а также расширения использования накопителей в энергосистеме. В то время как задача государственного управления при этом должна состоять в помощи энергосистеме и создать выгодные условия для установки накопителей не только в энергосистеме, но и на стороне потребителей.

Эти особенности разных типов СНЭ вызывают бурный рост использования их в мире [3]. Так по оценке компании Bloomberg New Energy Finance установленная мощность глобальных стационарных установок для хранения энергии с 2018 по 2040 г. увеличится в 122 раза, с 9/17 до 1095/2850 ГВт/ч.

В настоящее время в Алматинском университете энергетики и связи, а также в Университете Сатпаева выполняются работы, направленные на использование накопителей энергии в ЕЭС Казахстана в условиях существующей в стране широкой интеграции ветровой и солнечной генерации. В этих работах рассматриваются процессы прогнозирования метеорологических условий с целью определения выдаваемой мощности ВЭУ и СЭС в отдельных районах Казахстана. Далее решаются вопросы прогнозирования переменной мощности вырабатываемой ВИЭ, вследствие непостоянства метеорологических условий на территории Казахстана, которые оказывают существенное влияние на режим работы энергосистемы, а также и на степень интеграции ВИЭ в ЕЭС страны. Прогнозирование изменчивости мощности от ВИЭ может в значительной степени способствовать устранению существующих проблем и повышению степени их интеграции в энергосистему [4]. С этой целью рассматриваются существующие различные модели прогнозирования [5], основанные на современных математических методах, проводится их сравнение, отмечаются их преимущества и недостатки.

Однако каждая выбранная модель имеет свою погрешность расчета [6]. Так, например, существующие модели прогнозирования скоростей ветра не учитывают колебания скорости ветрового потока, а, следовательно, не в полной мере учитывают вероятностные характеристики ветра, что оказывает существенное влияние на прогноз выработки активной мощности ВЭУ. Поэтому была разработана и новая математическая модель, использующая алгоритм swarm intelligence для расчета скорости ветра. Она позволяет учесть колебания ветрового потока, которые происходят в реальности. Инструмент прогнозирования основан на модели прогнозирования временных рядов авторегрессионной скользящей средней. В настоящее время эти работы находятся на заключительной стадии.

Однако для сглаживания погрешности прогнозирования метеорологических условий рассматривается возможность установки накопителей энергии на крупных электрических станциях с ВИЭ. Причем применение накопителей не только снижает погрешность прогнозирования, но и способствует демпфированию колебаний, вызываемых нестабильной работой ветровых электрических станций, улучшают статическую и динамическую устойчивость энергосистемы, что также в значительной степени способно решить проблемы дефицита маневренной мощности.

В проведенных исследованиях были выбраны типы ВИЭ [7], а также рассчитаны необходимые мощности накопителей энергии, устанавливаемых как на крупных ВИЭ, так и в автономных энергокомплексах на базе газотурбинных установок, ветрогенераторов и аккумуляторов электрической энергии [8]. Определено комплексное влияние ВИЭ с накопителями на статическую и динамическую устойчивость электропередач. Кроме того, были проведены расчеты по определению нормированной стоимости электрической энергии от ВИЭ с накопителями [9]. Исследования в этом направлении были выполнены для отдельных регионов Казахстана, в которых предусматривается бурное развитие ВИЭ.

### Источники

1. Смирнов С. Электроэнергетические «маневры» Казахстана [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ritmeurasia.org/news--2020-10-20--elektroenergeticheskie-manevry-kazahstana-51490>.

2. Система аукционов позволила добиться значительного снижения цен на «зеленую экономику» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://primeminister.kz/ru/news/sistema-aukcionov-pozvolila-dobitsya-znachitelnogo-snizheniya-cen-na-zelenuyu-ekonomiku-minenergo-91012>

3. Федотов А.И., Федотов Е.А., Абдуллазянов А.Ф. Использование электрохимических накопителей энергии в системах автономного электроснабжения для снижения расхода топлива энергоустановок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. №23(1) С. 3-17.

4. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Стриелковски В. Инновации в области хранения энергии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №21(4). С. 33-40.

5. Смоленцев Н.И., Кондрин С.А. Сверхпроводящий электрокинетический накопитель энергии для локальных электрических сетей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №19(3-4). С. 53-60.

6. Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях // Вестник КГЭУ. 2017. №4 (36). С. 45-53.

7. Шерьязов С.К., Исенов С.С., Искаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №5. С. 24-33.

8. Николаев Ю.Е., Осипов В.Н., Игнатов В.Ю. Методика расчета энергетических показателей автономного энергокомплекса, включающего ГТУ, ВЭУ и аккумуляторы электрической энергии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. №22(3). С. 36-43.

9. Мельников В.Д., Нестеренко Г.Б., Лебедев Д.Е., Мокроусова Ю.В., Удовиченко А.В. Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости накопления электрической энергии // Вестник КГЭУ. 2019. №4 (44). С. 30-36.

УДК 537.3

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭЛЕМЕНТА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ ПОДСТАНЦИИ**

А.К. Тұрсынбеков<sup>1</sup>, Н.В. Прохоренкова<sup>2</sup>

НАО «ВКТУ им. Д.Серикбаева», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>1</sup>aset.kazdor@gmail.com, <sup>2</sup>nadin\_kaz@mail.ru

В данной работе рассматриваются вопросы прогнозирования электрических нагрузок энергосистемы с учетом влияющих факторов на примере подстанции. Основная проблема, связанная с электричеством, как средством транспортировки энергии заключается в том, что ее нельзя хранить в отличие от газа, нефти, уголь или водород. Поэтому целью данной работы является изучения нейросети с использованием современных алгоритмов для прогнозирования электрической нагрузки.

**Ключевые слова:** прогноз, электрические нагрузки, нейронные сети, подстанция.

Очень часто поведение процесса неизвестно из-за его сложности и множества внешних факторов, и это не позволяет исследователям полностью понять поведение и добраться до сути дела. Прогнозирование нагрузки является неотъемлемой частью планирования и выработки электроэнергии в энергосистеме. От высокой точности прогнозирования электроэнергии зависит экономичность энергосистемы, уменьшения углеродного следа, снижения качества управления. Заказывать электроэнергию за день вперед также дешевле для поставщиков электроэнергии, чем покупать ее в короткие сроки. Следовательно, им необходимо оценить потребность в мощности на завтра и заказать точное количество электроэнергии, необходимой в час. Если они закажут слишком много электроэнергии, то это приводит к увеличению издержек на поддержание в рабочем состоянии излишних резервных мощностей. В обоих случаях плохо спланированная покупка означает прямые денежные потери для поставщика электроэнергии.

**Объектом исследования** является активная и реактивная нагрузка «Ввод Т1» и «Ввод Т2» на существующей подстанции ПС-51 г. Курчатова принадлежащей компании АО «ОЭСК» (Объединённая ЭнергоСервисная Компания).

**Предметом исследования** является процесс прогнозирования объемов ЭП потребителей энергосбытового предприятия.

**Целью исследования** является постройка нечеткой логики искусственной нейронной сети для краткосрочного прогнозирования (STLF), выявление зависимости электрической нагрузки от метеорологических факторов и влияние режима дня (обыденный день и праздничный день), разработка системы прогнозирования электропотребления (ЭП) на основе интеллектуальных вычислительных технологий, позволяющей эффективно решить задачу повышения точности краткосрочных и оперативных прогнозов. Исследование данной системы на реальных данных по ЭП, а также сравнительная оценка качества прогнозирования.

**При решении поставленных в работе задач использованы:** теоретически обоснованные методы математического моделирования и прогнозирования временных рядов, теория искусственных нейронных сетей, математически интегрированная среда разработки для языка программирования Python PyCharm, библиотеки для языка программирования Python: Keras, NumPy, Hyperas. А также библиотека для визуализаций данных Matplotlib, Plotly (статистические методы прогнозирования и анализ)

1. Обзор и анализ современных методов и математических моделей прогнозирования ЭП.

Научно-исследовательские методы краткосрочного прогнозирования нагрузки можно разделить на две основных категории: статистические методы и методы искусственного интеллекта [1]. В статистических методах полученные уравнения показывают соотношение между нагрузкой и влияющими на нее факторами, в то время как методы искусственного интеллекта (AI) пытаются подражать образу мышления людей, чтобы получить знания из прошлого опыта и прогнозировать будущие нагрузки.

1.1. Статистические методы прогнозирования.

Обычно статистические методы могут достаточно точно предсказать суточный график нагрузки в обычные дни, но им не хватает способности анализировать нагрузку в праздничные или другие дни, в связи с отсутствием гибкости их структуры. Статистические методы включают множественную линейную и нелинейную регрессию [2], стохастические временные ряды [3], общее экспоненциальное сглаживание [4] методы пространства состояния [5] и др.

## 1.2. Временные ряды.

Методология временных рядов создается на основе предположения, что информация имеет несколько внутренних структур, напоминающих тенденции, сезонные колебания или автокорреляцию. Группа временных рядов является самой старой для STLF и состоит из статистических и традиционных методов.

Временные ряды разделяются на линейную регрессию, систему ARIMA, экспоненциальное сглаживание, фильтр Калмана.

## 1.3. Искусственный интеллект.

Группа AI в целом считается улучшением по сравнению группой временных рядов, главным образом из-за их способности работать с нелинейностями [1], что необходимо для STLF.

Искусственный интеллект подразделяют на следующие пункты: Машинное обучение (ML), Искусственная нейронная сеть (ANN), Метод опорных векторов (SVM).

## 2. Методы подхода к решению задачи.

Исследуется возможности ИНС для построения модели, которая обеспечивает надежные и максимально точные прогнозы. Эту часть можно разделить на пять шагов, как показано на рис. 1.

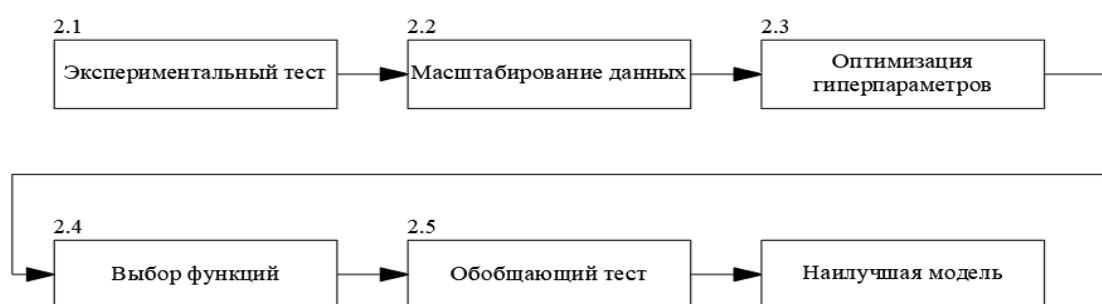


Рис. 1. Этапы поиска наилучшей модели

### 2.1. Первоначальный запуск искусственной нейронной сети.

Первые тесты были проведены с использованием Keras в качестве каркаса ANN с использованием настроек, как показано в табл. 1. Входной вектор, количество слоев, нейронов и функции активации были изначально заданы в соответствии с лучшими результатами предварительных исследований в исследовательской практике.

Были установлены другие параметры ANN и настройки для конкретного теста, как показано в табл. 2. Алгоритм оптимизации был выбран код Адама, поскольку он использует адаптивную скорость обучения и демонстрирует надежную и быструю сходимость [6].



Таблица 1

Исходные настройки ANN, взятые из предварительной исследовательской работы

Входной вектор с семью входами	<ul style="list-style-type: none"> <li>– средняя температура в г. Курчатов;</li> <li>– средняя температура г. Курчатов, неделю назад;</li> <li>– час в синусоидальном представлении;</li> <li>– час в косинусном представлении;</li> <li>– нормализованная форма номера дня недели (доля дня);</li> <li>– номер месяца в синусоидальном представлении;</li> <li>– номер месяца в косинусном представлении</li> </ul>	
Первый скрытый слой	Количество нейронов	6
	Функция активации	ReLU
Второй скрытый слой	Количество нейронов	8
	Функция активации	Логическая
Выходной слой	Количество нейронов	2
	Функция активации	ReLU

Таблица 2

Другие параметры ИНС и настройки для конкретного теста

Праздники	Исключены
Кол-во эпох обучения	500
Размер партии для обучения	200
Код оптимизации обучения	Код Адама
Метод измерения точности	MSE
Показатель измерения	MSE, MAE
Набора данных	Сентябрь – октябрь 2020г.

Для визуального представления выхода, непосредственно производимого ANN, был создан график процентного изменения электроэнергии в среде разработки PyChart с помощью библиотеки MATPLOTLIB, как показано на рис. 2, 3.

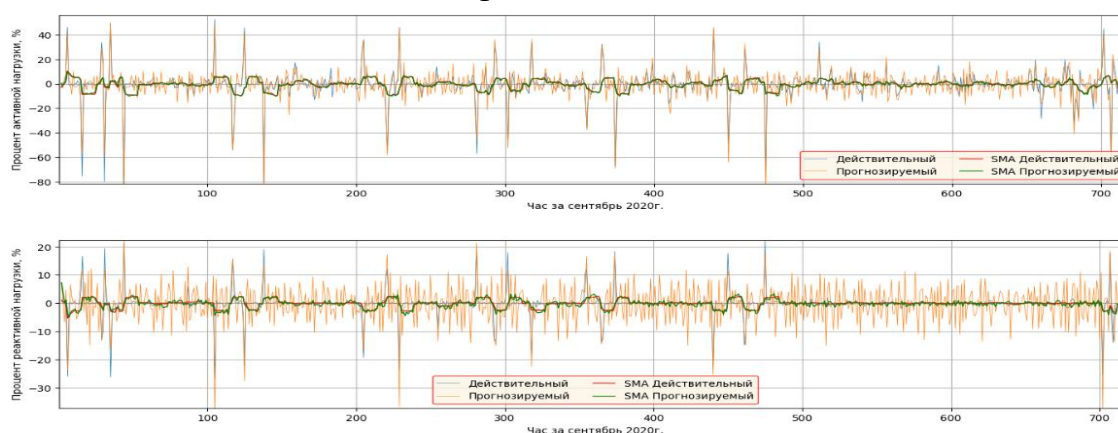


Рис. 2. Выход результатов ANN (прогноз) нанесен в зависимости от известного процентного изменения потребления активной и реактивной мощности, за сентябрь 2020 г.

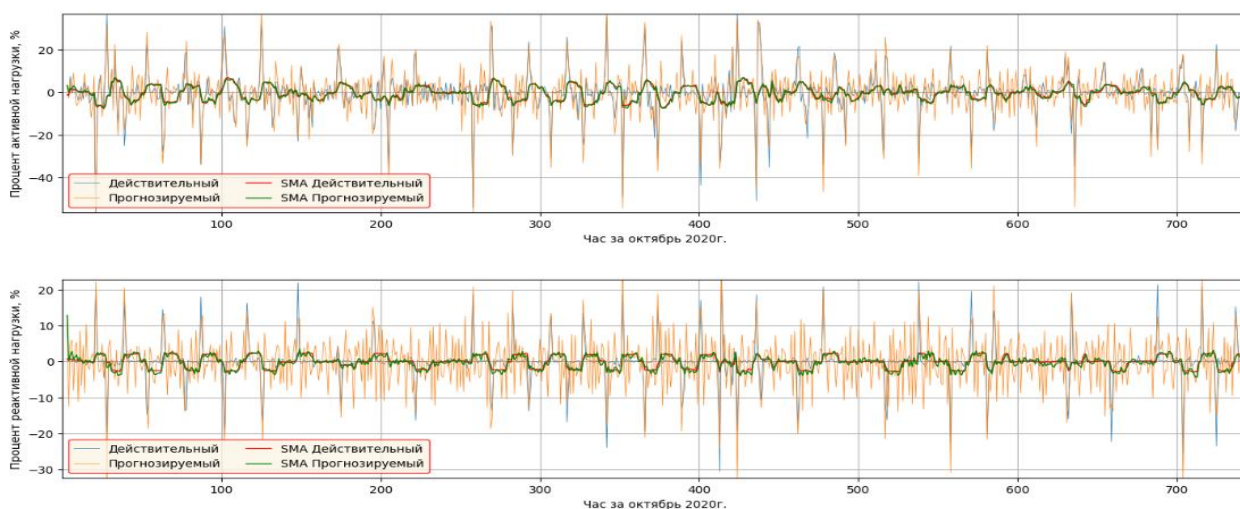


Рис. 3. Выход результатов ANN (прогноз) нанесен в зависимости от известного процентного изменения потребления активной и реактивной мощности, за октябрь 2020 г.

Ошибка модели находилась в пределах 7,23–8,50 % в зависимости от количества эпох. При числе эпох, равном 400, была получена ошибка модели 7,23 %, которая была наилучшей точностью за 500 эпох обучения.

STLF – это тема, которая интенсивно исследуется с 1966 г. Оглядываясь назад в историю, все началось с применения статистических методов временных рядов, а затем перешло к методам AI, ANN подгруппа AI, играет центральную роль в построении моделей прогнозирования благодаря своим возможностям создания сложных нелинейных моделей и возможности обучения на постоянно растущих наборах данных.

Прогнозирование потребления электроэнергии имеет решающее значение для поставщиков электроэнергии, таких как АО «ОЭСК», поскольку заказ электроэнергии, необходимой на следующий день, происходит заранее. Поэтому очень важно иметь почасовой прогноз с максимально возможной точностью. Таким образом если точность прогноза искусственной нейронной сети даже на десятые доли процента успешнее традиционных методов, то данная нейронная сеть может привести к значительному снижению затрат на оплату отклонений от плана подачи электроэнергии.

### Источники

1. Медянцев Д.В., Фирсов А.В., Замятин Н.В. Нейросетевая система прогнозирования энергопотребления // Научная сессия МИФИ-2003: сб. науч. трудов. М., 2003. С. 1-4.

2. Lohninger H. Linear vs. Nonlinear Models // Fundamentals of Statistics [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.statistics4u.com/fundstat\\_eng/cc\\_linvsnonlin.html](http://www.statistics4u.com/fundstat_eng/cc_linvsnonlin.html).

3. Хомутов С.О. Сташко В.И. Серебряников Н.А. Повышение точности краткосрочного прогнозирования электропотребления групп точек поставки электроэнергии гарантирующих поставщиков второго уровня // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 6. С. 128–140.

4. Fortuner B. Linear Regression – ML Cheatsheet documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ml-cheatsheet.readthedocs.io/en/latest/linear\\_regression.html](https://ml-cheatsheet.readthedocs.io/en/latest/linear_regression.html).

5. Zhang J., Wei Y.-M., Li D., Tan Z. and Zhou J. Short term electricity load forecasting using a hybrid model // Energy. 2018. Vol. 158. Pp. 774–781.

6. Walia A.S. Types of Optimization Algorithms used in Neural Networks and Ways to Optimize Gradient Descent // Towards Data Science [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/types-of-optimization-algorithms-used-in-neural-net>.

UDC 004.946

## **SIMULATION OF THE POWER SUPPLY SYSTEM USING INDUSTRIAL 4.0 WIRELESS TOOLS**

N.N. Kurbonov

TSTU named after Islom Karimov, Tashkent, Uzbekistan

[nurbek.kurbonov.96@gmail.com](mailto:nurbek.kurbonov.96@gmail.com)

Scientific sup cand. tech. Sciences, Associate Professor I.U. Rakhmonov

The issue of training personnel working in technological processes is more difficult than in some other areas. This is because it is a difficult process to fully demonstrate the process and develop the student's ability to do so. The application of Augmented and Virtual reality technologies in Industry 4.0 to the learning process solves these problems, and we can see that this method is very effective today. Although Augmented and Virtual reality labs are widely used, they have not yet been applied to all areas. We have started to apply this technology to the laboratories of our Power supply industry. This article describes the relevance of using Augmented and Virtual Reality, the steps to setting up a lab, and the framework used in it.

**Keywords:** Industry 4.0, Augmented reality, Virtual reality, sketching, 3d modeling, algorithm, coding, testing, laboratory.

We do not always have the opportunity to acquaint young professionals with technological processes of varying complexity and to develop skills in the operation of these processes. Currently, the system of professional development of workers in industrial and manufacturing enterprises shows that the possibility of occurrence of various levels of hazards that adversely affect human life through direct monitoring of technological processes and professional development of employees in enterprises with complex technological processes (power supply system, chemistry, metallurgy, oil and gas). The application of Industry 4.0 to this system has been very effective result (Fig. 1).

Industry 4.0 is the digital transformation of production/manufacturing and related industries and value creation processes [1]. Industry 4.0 covers the following areas:

1. Big Data and Analytics.
2. Cloud computing.
3. Cyber security.
4. Horizontal & Vertical Integration.
5. Robotics.
6. Augmented Reality.
7. Additive Manufacturing.
8. Simulation.
9. Internet of the Things.



Fig. 1. Industry 4.0 wireless virtual reality labs

The use of augmented reality with virtual reality (AR&VR) also leads to high efficiency in the education system. It is known that the main part of training in technical higher education institutions consists of practical and laboratory training.

AR&VR is an enhanced version of the real physical world that is achieved through the use of digital visual elements, sound, or other sensory stimuli delivered via technology [2].

Therefore, conducting laboratory and practical classes on specialty subjects in a virtual way, creating their augmented reality models, not only improves the quality of education, but also increases the mastery of online lessons by students.

Preparation of the AR laboratory is carried out in 6 stages (Fig. 2).

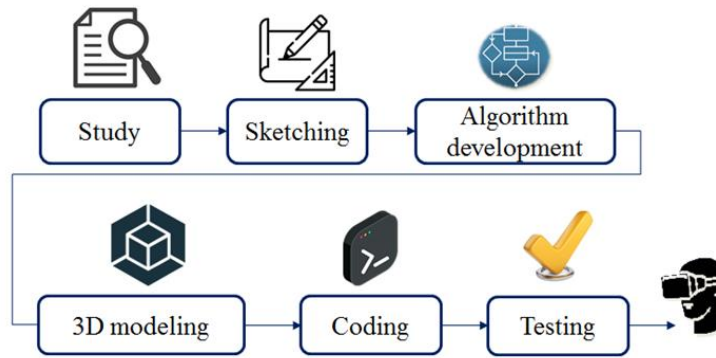


Fig. 2. Steps of Preparation of the AR laboratory

Study – during the study phase, the laboratory is fully explored.

Sketching – in order to prepare a 3D model of the laboratory, sketches are formed, which contain information such as the appearance and location of the prepared model from different angles.

3D modeling – preparation of 3D elements, based on the sketches, a 3D model is prepared.

Algorithm development – before the lab coding process, its algorithm is created.

Coding – Encoding is done/

Testing – the prepared laboratory is used in test mode and deficiencies are corrected.

We want to use the Unity platform to prepare the lab because now it offers a strong and late-onset architecture (Fig. 3).

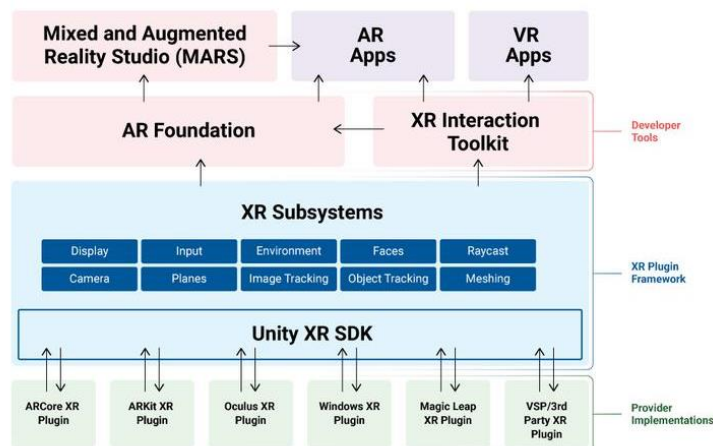


Fig. 3. Unity architecture

This diagram illustrates the current Unity XR plug-in framework structure, and how it works with platform provider implementations.

This architecture offers the following benefits:

- multi-platform developer tools such as AR Foundation and the XR Interaction Toolkit;

- faster partner updates from supported plug-ins via the Unity Package Manager;

- more platforms have access to an interface to leverage Unity's XR rendering optimizations and developer tools.

Augmented virtual reality labs are now common, but do not cover all areas. These types of laboratories are also important to teach students in real time situations such as high temperature furnaces, complex production processes, and high voltage devices. The sequence of our work in this work, as well as the advantages of the framework used, is presented in block diagrams.

In short, this type of laboratory is not only very effective in the assimilation process, but also very useful in any situation, especially in the current pandemic.

### References

1. Industry 4.0 and the fourth industrial revolution explained [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>.

2. Augmented Reality [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>.

3. Opris, Ioana & Costinas, Sorina & Ionescu, Cristina & Gogoase Nistoran, Daniela // Towards augmented reality in power engineering. 2017. P. 39-44. 10.1109/ATEE.2017.7905160.

4. Augmented Reality [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unity.com/ru/unity/features/vr>.

УДК 621.311

## ВНЕДРЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»

Е.В. Койпиш

ГГТУ им. П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь

[stator-rotor@mail.ru](mailto:stator-rotor@mail.ru)

Науч. рук. ст. преп. С.Г. Жуковец

В статье показана практическая реализация инновационных технологий внедрения программного обеспечения в учебный процесс при освоении студентами дисциплины «Производство электроэнергии» по теме «Оперативные переключения в электроустановках».

**Ключевые слова:** станции и подстанции, оперативные переключения, программный комплекс, тренажер.

Переключения в электрических установках электростанций и подстанций производятся с целью изменения оперативного состояния оборудования или схемы первичных соединений. Они осуществляются путем перемены положения коммутационных аппаратов, предназначенных для включения и отключения оборудования. Все операции при этом выполняются оперативным персоналом в определенной последовательности, обусловленной схемами первичных и вторичных соединений, назначением коммутационных аппаратов, режимами работы оборудования и другими причинами. Ошибки при переключениях приводят к тяжелым авариям, опасным для обслуживающего персонала и оборудования.

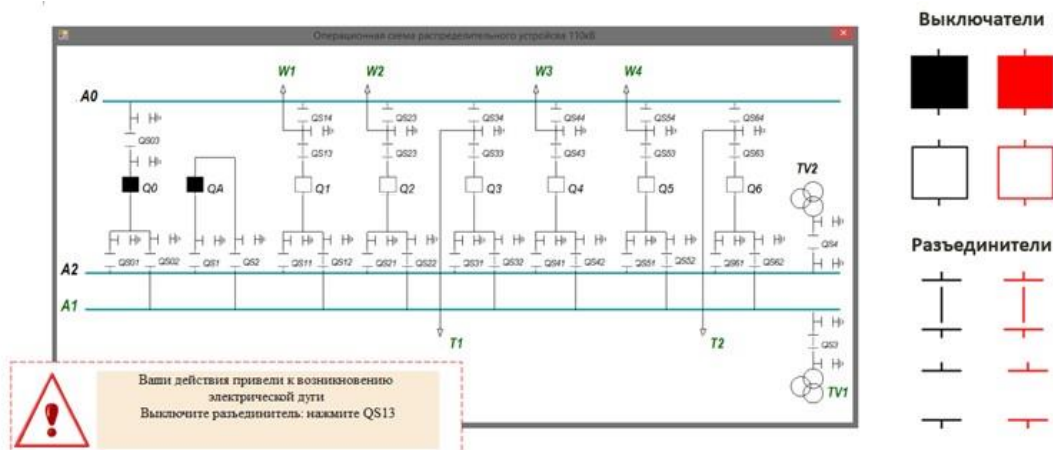
Цель работы «Оперативные переключения в электроустановках» состоит в изучении организации и порядка производства переключений в электрических установках станций и подстанций [1].

Для выполнения лабораторной работы по теме «Оперативные переключения в электроустановках» используются стенд, на котором приводится главная схема электрических соединений двухтрансформаторной подстанции со схемой РУ: одна рабочая секционированная и обходная системы шин с подключением трансформаторов через развилку из двух выключателей. Студентам необходимо изучить схему электрических соединений станций и подстанций и разработать бланк переключений в соответствии с заданием преподавателя. Бланк переключений является оперативным документом, определяющим содержание задания и последовательность выполнения операций.

Для составления бланка переключений и выполнения оперативных переключений предложен программный комплекс разработанные на объектно-ориентированном языке программирования C#, который включает в себя внешний интерфейс состоящий из оперативной схемы подстанции (см. рисунок).

Под оперативными схемами понимают чертежи, на которых указывается основное оборудование установок. Выключатели и разъединители при этом показываются в их действительном положении на данный момент времени. Исходя из принципа действия, выключатели и разъединители отображаются в двух состояниях: включенные и отключенные, однако для отображения ошибочных переключений выключатели имеют еще два состояния: опасное включенное и опасное выключенное положение [2]. Для отражения состояния питаемых потребителей используется зеленый цвет, в случае отключения приемников выключатель приобретает красный цвет, что свидетельствует об ошибке.





Внешний интерфейс

Так же, как и на реальных распределительных устройствах, каждый элемент связан с другими, так и в программе реализован единый, взаимосвязанный между каждым элементом системы алгоритм переключений с проверкой на каждом действии пользователя. Любое переключение, которое может привести к «аварии», выявляется с помощью алгоритма и оповещает пользователя о нарушениях переключений посредством сообщения о проблеме и действие для его решения.

Благодаря разработанному программному комплексу в рамках лабораторной работы студенты имеют возможность отработать следующие виды переключений:

- включение и отключение воздушной линии электропередачи;
- включение и отключение силового трансформатора;
- сложные переключения;
- замена выключателя присоединения обходным выключателем.

Практическая ценность данной работы заключается в следующем [3]:

- возможности обеспечить студентов доступом к необходимому материалу: теоретической части, описанию экспериментальной установки, последовательности выполнения задач;
- приобретение студентами опыта компьютерных технологий в энергетике;
- наглядность результатов экспериментов (в программе используется, как световой, так и звуковой ошибочный шаг при переключениях);
- полная безопасность при проведении лабораторных исследований, что очень важно, поскольку дисциплина изучает высоковольтные цепи;
- сокращение учебных площадей, из-за громоздкости высоковольтного оборудования;
- уменьшение материальных затрат на модернизацию лабораторной базы.



### **Источники**

1. Селиверстов Г.И., Петренко В.Н. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Электрическая часть станций и подстанций». Гомель: УО ГГТУ им П.О.Сухого, 2005. 32 с.

2. Hruntovich N.V., Kapanski A. A., Baczynski D., Vagapov G.V., Fedorov, O.V. Optimization of a variable frequency drive pump working on a water tower // In E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. P. 05060.

3. Скрябин Н.П., Поздеев Н.Д., Алюнов А.Н. Оперативное управление распределительными электрическими сетями: учеб. пособие. Вологда: ВоГТУ, 2011. 123 с.

УДК 621.315.1

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДОВ ВЛЭП И МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

Д.А. Ярославский  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Воздушная линия электропередачи является одним из ключевых компонентов электроэнергетических систем. Надежная работа воздушных линий связана контролем их состояния. Одним из основных параметров воздушных линий являются механические нагрузки проводов. В данной статье рассматривается комплексный метод оценки состояния воздушных линий электропередачи, который учитывает следующие параметры: угол наклона устройства контроля, закрепленного на проводе; угол вращения провода вокруг своей оси; период колебаний провода. Данный метод реализован на системе мониторинга технического состояния воздушных линий и позволяет расширять её функциональные возможности при использовании стандартного набора диагностических устройств благодаря применению различных способов оценки механических нагрузок провода, основанных на различных физических принципах.

**Ключевые слова:** ЛЭП, воздушные линии электропередачи, механические параметры.

Воздушные линии электропередач (ЛЭП) являются одним из наиболее важных элементов при передаче и распределении электроэнергии. Оценка их состояния является актуальной задачей. На проводах ЛЭП наблюдаются изменения механических нагрузок ввиду изменения силы натяжения провода в зависимости от температуры либо появления дополнительных механических нагрузок на нём, например гололёдно-изморозевых отложений. Также на испытываемые проводом механические нагрузки влияют колебания провода от порывов ветра. Также опасность представляет увеличение стрелы провеса выше норматива, независимо от причины, которая вызвала это увеличение. Для контроля механических параметров в работе предлагается комплексный метод оценки состояния ЛЭП, который включает в себя следующие способы:

1. Определение стрелы провеса инклинометрическо-метеорологическим методом [1].
2. Определение механических нагрузок по параметрам кручения и провеса проводов [2].
3. Определение стрелы провеса провода по периоду его собственных колебаний перпендикулярных плоскости провиса [3, 4].
4. Определение стрелы провеса провода по высшим гармоникам периода его собственных колебаний в плоскости провиса.

Первый способ заключается в определении стрелы провеса посредством определения угла наклона устройства контроля, устанавливаемого на фазном проводе. Задача решается строгими методами (в рамках модели абсолютно гибкого провода). Способ учитывает упругие деформации и температурные расширения провода, что положительно сказывается на точности определения механических нагрузок на ЛЭП. Чтобы избежать ложных срабатываний, параллельно контролируются метеорологические условия окружающей среды, а именно, влажность, температура воздуха, а также температура самого провода. С помощью данных параметров определяются условия возникновения гололёдно-изморозевых отложений.

Второй способ заключается в определении механических нагрузок провода по его температуре, углу вращения и углу наклона. Появление угла вращения провода вокруг своей оси в модели расчета механических параметров провода воздушной линии электропередачи стало возможным по причине того, что провода воздушных линий вращаются вокруг своей оси. Причина этого кроется в том, что провода воздушных линий имеют многопроволочную структуру и представляют собой «канат» скрученный по спирали вокруг центральной проволоки. При растяжении провод начинает раскручиваться, что особенно выражено в пролетах с одной анкерной опорой. Это позволяет определять механические нагрузки провода в пролете с учетом его перетяжки между соседними пролетами.

Третий способ определения механических нагрузок провода состоит главным образом в восстановлении геометрии провода по периоду его собственных колебаний. Провод в пролете рассматривается в качестве физического маятника, у которого тело – провод, а неподвижная ось – ось, соединяющая точки подвеса провода. Зная период колебания провода в пролете ЛЭП, можно сразу же перейти к стреле провеса провода в пролете. Если же нам известна длина пролета, то можно восстановить и геометрию всего провода в данном пролете. Если же ввести такой параметр, как температура провода, можно отслеживать механические нагрузки на провод.

Четвертый способ определения механических нагрузок провода заключается в рассмотрении провода как струны. Колебания провода совершаются в плоскости его провиса, упругость провода в этой плоскости создает сила тяжести, действующая на провод. Число укладываемых полуволин колебания пропорционально длине провода. Зная длину провода можно определить его стрелу провеса и механическую нагрузку.

Комплексный метод оценки состояния ЛЭП использует все 4 вышеперечисленных способа в зависимости от условий, в которых работает ЛЭП и характеристик самой линии. Реализация данного метода проводится на базе системы мониторинга технического состояния ЛЭП [5]. На рис. 1 изображена блок-схема данной системы мониторинга.

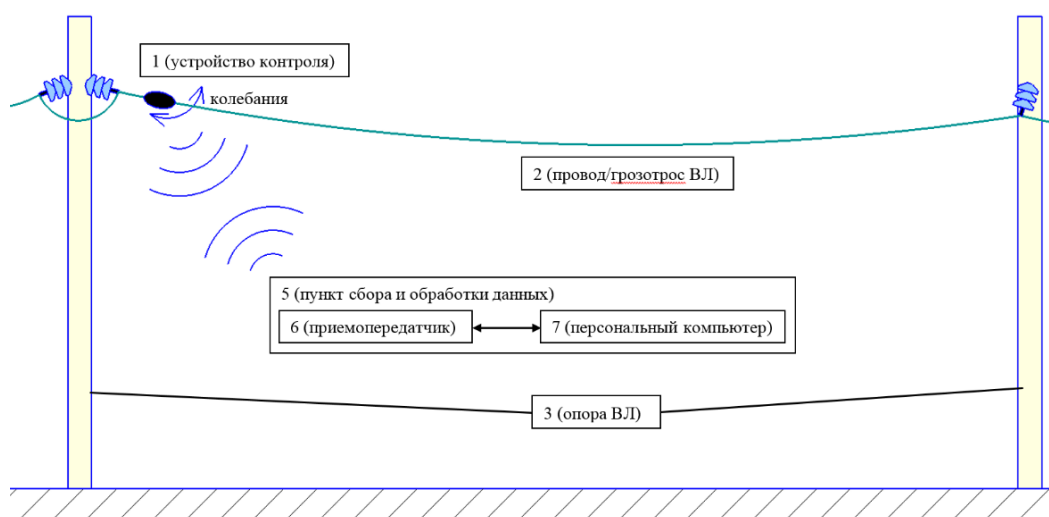


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга технического состояния ЛЭП, реализующей комплексный метод

Внешний вид установленного на проводе устройства контроля системы мониторинга представлен на рис. 2.



Рис. 2. Устройство контроля системы мониторинга состояния ЛЭП, установленное на проводе

Устройства контроля устанавливаются на проводе, близко к точке подвеса провода к опоре. Устройством осуществляется сбор данных с необходимого набора диагностических модулей для определения дополнительных параметров ЛЭП. Собранные устройством контроля данные передаются посредством приёмопередатчика в пункт сбора и обработки данных, включающий в себя приёмопередатчик пункта сбора и обработки данных и персональный компьютер. На персональном компьютере определяется техническое состояние ЛЭП исходя из данных полученных с устройства контроля.

Устройство контроля содержит электронную схему, на которой установлен микропроцессор. На микропроцессор поступает информация с модуля определения периода колебаний провода, приёмопередатчика устройства контроля и необходимого набора диагностических модулей для определения дополнительных параметров ЛЭП. С микропроцессора на приёмопередатчик устройства контроля также поступает информация об измеренных данных и состоянии устройства контроля. С электронной схемой устройства контроля соединены блок питания и накопитель электроэнергии, от которых осуществляется питание микропроцессора, приёмопередатчика устройства контроля, необходимого набора диагностических модулей для определения дополнительных параметров ЛЭП.

Применение комплексного метода оценки состояния воздушных ЛЭП позволяет определять механические нагрузки проводов ЛЭП. При этом точность определения интересующих параметров ЛЭП обеспечивается сменой способа интерпретации входных данных, а не путем ввода дополнительных датчиков в набор диагностических модулей устройств контроля состояния ЛЭП [5].

### Источники

1. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф., Конов А.Б., Иванов Д.А., Горячев М.П., Ямбаева Т.Г. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 5-6. С. 89-97.
2. Sadykov M.F., Yaroslavsky D.A., Ivanov D.A., Tyurin V.A., Galiyeva T.G., Goryachev M.P. Inclimetric method for determining the mechanical state of an overhead power transmission line // International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems (SES-2019). 2019. 124. Pp. 1-4.
3. Ярославский Д.А., Нгуен В.В., Садыков М.Ф., Горячев М.П., Наумов А.А. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №3. С. 97-106.
4. Yaroslavsky D.A., Nguyen V.Vu, Sadykov M.F., Goryachev M.P., Ivanov D.A., Galieva T.G., Andreev N.K. Determination the conductor sag according to the period of own harmonic oscillations // In E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 220. P. 01036.
5. Садыков М.Ф., Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Савельев О.Г., Чугунов Ю.С., Торопчин Ю.В. Внедрение системы автоматизированного мониторинга гололедообразования в распределительных сетях ПАО «Татнефть» // Нефтяное хозяйство. 2020. №7. С. 53-55.

УДК 004.03:005.584.1:556.552

## МОНИТОРИНГ И РАСПОЗНОВАНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ В ВЫСОКОГОРНЫХ ОЗЕРАХ

Г.М. Кудакеева

КГТУ им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызская Республика

gulida87\_87@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ж.И. Батырканов

Проблемы распознавания и мониторинга природных катастрофических явлений очень актуальны в практическом отношении для Кыргызстана, т.к. Кыргызстан горная страна, в которой очень часто происходят такие катастрофические явления как землетрясения, оползни, лавины, сели и т.д. В данной статье предлагается система мониторинга критического уровня воды в высокогорных озерах на основе использования спектральных характеристик водной поверхности в граничных ячейках озера. При построении систем мониторинга используется «цветные» двоичные образы исследуемых водных поверхностей в граничных ячейках исследуемого озера.

**Ключевые слова:** распознавание, мониторинг, квадрокоптер, геоинформационный образ, спектральная характеристика, ячейка, геоинформационная карта.

Территория Кыргызской Республики в значительной мере подвержена воздействию селевых и паводковых процессов. В среднем ежегодно в республике происходит около 70 чрезвычайных ситуаций, связанных с селями и паводками, что составляет до 29–30 % всех чрезвычайных ситуаций. Селе-паводковым поражениям подвергаются населенные пункты (95 % всех населенных пунктов республики находятся на берегах или конусах выноса рек или временных водотоков), транспортные коммуникации, сельхозугодия, гидротехнические, ирригационные сооружения и другие объекты.

Большая часть рек Кыргызстана формируется в горах, получая основную часть питания за счет таяния ледников и снежников, в меньшей степени от атмосферных осадков и подземных вод.

Последние годы часто происходят прорывы воды из высокогорных озерах, и водный поток устремляется, вниз сметая на своем пути жилища, хозпостройки, смывая отдельные участки автодорог и пахотных земель. Последний раз это произошло летом 2021 г., когда прорвалось высокогорное озеро в горах Сокулукского района. Если выполнить правильный мониторинг уровня воды в этих высокогорных озерах и провести в соответствии с результатами мониторинга организационно-технические мероприятия, можно было бы избежать ущерба от прорыва высокогорных озер.

Планомерного мониторинга уровня воды в высокогорных озерах Кыргызстана до сих пор не осуществлялось.

При разработке системы мониторинга предлагается применять алгоритмы распознавания зрительных образов. При распознавании уровня воды будет применяться система распознавания, основанная на использовании спектральных характеристик воды, твердого грунта и геоинформационной карты исследуемой территории.

При разработке интеллектуальной системы мониторинга будут применяться новые методы интеллектуального распознавания и беспилотные летательные аппараты.

Мониторинг и прогнозирование осуществляется на основе использования беспилотных летательных аппаратов (дронов). В первую очередь используем квадрокоптер.

Управление квадрокоптером осуществляется:

– на основе выполнения движения по предписанной траектории и в автоматическом режиме;

– на основе управления квадрокоптером в ручном режиме оператором.

Распознавание уровня воды будет осуществляться на основе спектральной характеристики поверхности воды в исследуемых озерах. Здесь предварительно используется геоинформационная карта озер (т.е. оцифрованная карта озер).

Нами предлагается, в отличие от существующих, следующая структурно-функциональная схема системы распознавания и мониторинга природных катастрофических явлений (рис. 1).

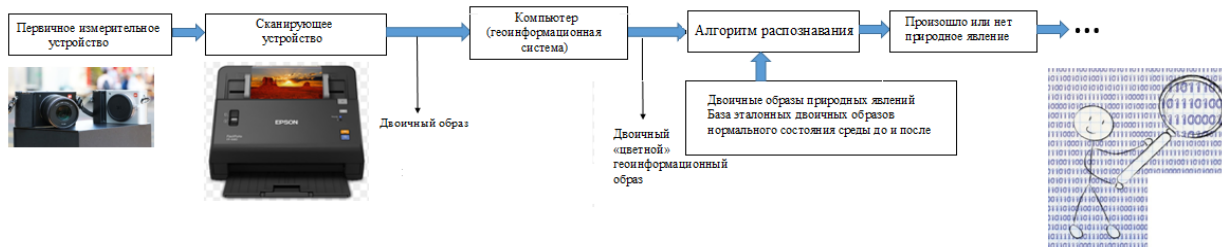


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы распознавания и мониторинга природных катастрофических явлений

Система распознавания работает следующим образом. Зрительный образ предъявляется считывающему устройству, считывающее устройство переводит зрительный образ в двоичный цветной компьютерный образ. В качестве считывающего устройства могут служить: сканирующее устройство, цифровой фотоаппарат, смартфон. Далее двоичный образ накладывается на геоинформационную карту исследуемой территории, в итоге получается цветной геоинформационный образ исследуемой территории (рис. 2).

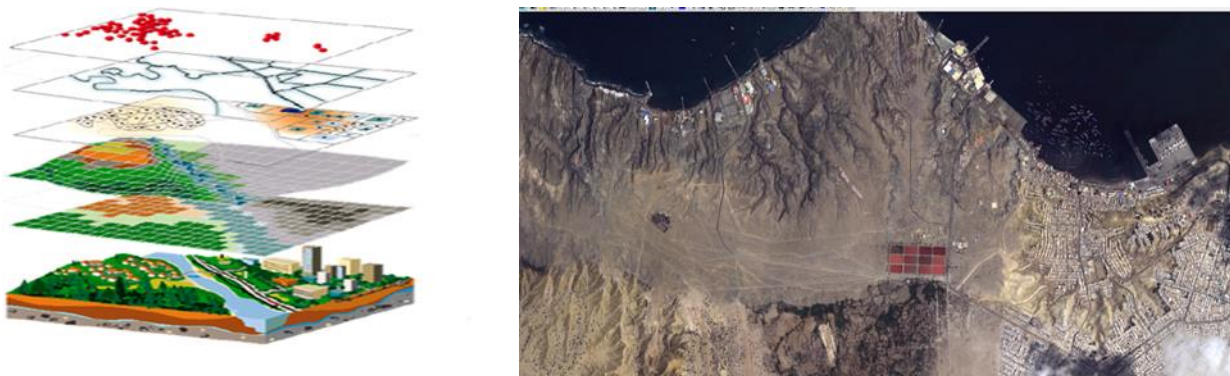


Рис. 2. Геоинформационный образ

Алгоритм распознавание природных катастрофических явлений следующий.

Важное место в мероприятиях по устранению результатов природных катастрофических явлений занимают вопросы выявления точного месторасположения произошедших катастроф. Для этого используются геоинформационные карты исследуемых территорий и соответствующие системы распознавания.

Процедура классификации, т.е. отнесения предъявленного образа к тому или иному классу объекту происходит по следующему алгоритму. При предъявлении воспринимающей матрице образа  $X$  в компьютере образуется числовой образ в виде матрицы (1):

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{1n} \\ x_{m1} & x_{mn} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Двоичный образ  $X$  – это двоичная матрица, которая строится на основе геоинформационной карты исследуемой территории и спектральных характеристик этих исследуемых территорий.

В компьютере хранятся все эталонные образы рассматриваемых классов  $A, B, C, \dots$  в виде соответствующих двоичных матриц. Двоичные образы объектов класса  $A, B, \dots$  предъявляются в виде:

$$A^1 = \begin{pmatrix} a_{11}^1 & a_{1n}^1 \\ a_{m1}^1 & a_{mn}^1 \end{pmatrix}, \dots, A^s = \begin{pmatrix} a_{11}^s & a_{1n}^s \\ a_{m1}^s & a_{mn}^s \end{pmatrix}, \dots, \quad (2)$$

$$B^1 = \begin{pmatrix} b_{11}^1 & b_{1n}^1 \\ b_{m1}^1 & b_{mn}^1 \end{pmatrix}, \dots, B^s = \begin{pmatrix} b_{11}^s & b_{1n}^s \\ b_{m1}^s & b_{mn}^s \end{pmatrix}, \dots \quad (3)$$

и т.д.

Следует отметить, что элементы матриц  $a_{i,j}, b_{i,j}$  в матрицах содержат информацию о спектральных характеристиках и координатах исследуемых территорий.

Для определения того к какому классу объектов относится образ « $X$ » производится вычисление евклидовой разности матрицы « $X$ » и  $A^1, \dots, A^s, \dots, B^1, \dots, B^s, \dots$  по формулам:

$$\|X - A^s\| = \sum_{i,j}^{n,m} (a_{i,j}^s - X_{i,j})^2, \quad (4)$$

$$\|X - B^s\| = \sum_{i,j}^{n,m} (b_{i,j}^s - X_{i,j})^2. \quad (5)$$

Принадлежность образа « $X$ » к тому или иному классу определяется путем нахождения минимального значения, если, например:

$$\|X - B^K\| = \sum_{i,j}^{n,m} (b_{i,j}^K - X_{i,j})^2 \Rightarrow \min \quad (6)$$



дает минимум среди  $(A1, \dots AS, B1, \dots BS)$ , то система распознает, что образ «X» относится к классу «B».

В данной статье разрабатывается устройство управления квадрокоптером. Структура системы управления квадрокоптером состоит из управляемых приводов вращательных винтов.

Квадрокоптер – это беспилотный летательный аппарат, который управляется при помощи операторов либо управление происходит автоматически за счет системы управления, установленной на квадрокоптере.

При этом квадрокоптер управляется с целью осуществления предписанных траекторных движений. Для синтеза соответствующих алгоритмов управления, во-первых, нужна адекватная математическая модель динамики квадрокоптера, во-вторых, нужна математическая модель предписанной траектории и на конец, в-третьих нужно решить проблему технической реализации квадрокоптера путем подбора различных датчиков, исполнительных устройств, вычислительной техники и систем связи.

Движением квадрокоптера можно управлять, изменяя скорости вращения винтов. Квадрокоптер движется относительно неподвижной инерциальной системы отсчета, связанной с Землей. Угловое положение квадрокоптера задаем тремя углами Крылова: углами крена  $\varphi$ , тангажа  $\theta$  и рыскания  $\psi$  (рис. 3), определяющими вращение вокруг осей, соответственно.

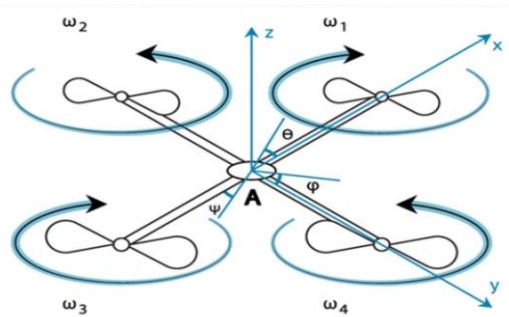


Рис. 3. Конфигурация квадрокоптера

В данной системе управления используется бортовой компьютер, который предназначен для управления вращением винтов по заданным алгоритмам.

В компьютер заносится алгоритм и соответствующая программа для работы вращающих винтов. Также компьютер используется для осуществления системы связи с центральным пунктом управления и операторами. Кроме того, компьютер осуществляет распознавания уровня воды на основе использования спектральных характеристик воды и твердого грунта. После облета исследуемых акваторий озер компьютер выдает геоинформационную карту уровня воды в исследуемых озерах.

Все цвета спектральных характеристик водной поверхности и твердого грунта определяется по 8-ми цветной палитре, как показано в таблице.

Двоичные коды восьми цветной палитры

Двоичный код цветов			
красный	зеленый	синий	Цвет
0	0	0	Черный
0	0	1	Синий
0	1	0	Зеленый
0	1	1	Голубой
1	0	0	Красный
1	0	1	Розовый
1	1	0	Коричневый
1	1	1	Белый

Система мониторинга критического уровня воды в исследуемом озере основывается на следующей информации.

В граничных ячейках, вследствие наполнения водой, изменяется цветная палитра, т.е. спектральная характеристика. Это говорит о том, что уровень воды в исследуемом горном озере приблизилась к критическому значению и дальше произойдет прорыв воды из исследуемого озера. Как только уровень воды в граничных ячейках озера достигает критического уровня, дальше система мониторинга включает сигналы оповещения соответствующим службам.

#### Источники

1. Батырканов Ж.И., Кудакеева Г.М. Подход распознавания зрительных образов на основе эталонов и обучения // Известия КГТУ. 2015. №1 (34). С. 11- 13.

2. Батырканов Ж.И., Кудакеева Г.М. Проблемы и подходы к распознаванию объектов в задачах обработки аэрокосмических снимков // Огаревonline. 2018. №13. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/problemy-i-podxody-kraspoznaniyu-obektov-v-zadachax-obrabotki-aerokosmicheskix-snimkov>.

3. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Потапов И.И., Солдатов В.Ю. // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов // Природные катастрофы и окружающая среда. 2012. №1. С. 3-150.

4. Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 95-105.

5. Ципилева Т. А. Геоинформационные системы: учеб. пособие. Томск: Издво ТУСУР, 2010. 120 с.

6. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики, 2004–2015 гг. (Департамент мониторинга МЧС КР).

УДК 621.311.25

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Н.П. Местников<sup>1</sup>, А.М-Н. Альзаккар<sup>2</sup>, Э.Г. Нуруллин<sup>3</sup>

<sup>1,4</sup>ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», г. Якутск

<sup>1,4</sup>ФГБУН ФИЦ «ИФТ проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН», г. Якутск

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «КГАУ», г. Казань

sakhacase@bk.ru<sup>1</sup>, ahmadalzakkar86@gmail.com<sup>2</sup>

Науч. рук. канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой П.Ф. Васильев<sup>4</sup>

Статья посвящена вопросам изучения функционирования фотоэлектрической установки в климатических условиях Севера. Применен метод оценки влияния различных климатических факторов на работу фотоэлектрической установки с выведением результатов оценки работы. Определено, что климатические факторы имеют значительное влияние на электроэнергетические параметры работы солнечных панелей, размещенные в открытой среде посредством проведения натуральных исследований. Полученные результаты исследований могут быть применены в изменении методики оценки энергетического потенциала объектов гелиоэнергетики на территории Северо-Восточной части России.

**Ключевые слова:** гелиоэнергетика, фотоэлектрическая установка, климатические факторы, электроэнергетическая эффективность, Север.

Эксплуатация объектов гелиоэнергетики на территории Северо-Востока России является одним из ключевых направлений развития автономных систем электроснабжения для электропитания удаленных и стационарных потребителей. Известно, что в данной области применяются газопоршневые, газотурбинные, дизель-генераторные, ветроэнергетические и фотоэлектрические установки малой и средней мощности [1, 2].

Северо-Восточная часть России находится на территории резко-континентального климата, субарктического и арктического климатического пояса со следующими показателями: летний температурный максимум до + 40°С; зимний температурный минимум до – 72°С; количество годовых осадков от 200 до 500 мм с поправкой на смачивание; суточный объем солнечной радиации на горизонтальную поверхность – до 4,5 кВт·ч/м<sup>2</sup>; продолжительность солнечного сияния – от 1 700 до 2 000 час/год и более и др. [3, 4].

Объекты гелиоэнергетики в автономных системах энергоснабжения применяются в целях выработки электро- и тепловой энергии для удаленных и стационарных потребителей [5].

Известно, что функционирование фотоэлектрических установок значительно зависит от влияния различных климатических факторов, такие как: интенсивность солнечного излучения, температура среды, поверхностная температура солнечных панелей, скорость движения воздушных потоков у поверхности солнечных панелей, поверхностное загрязнение (снеговой покров и мелкодисперсные фракции пыли) и т.д. [6].

До 2029 г. в соответствии со Схемой и программой развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2020–2024 гг. и Программой инновационного развития ПАО «РусГидро» на 2020–2024 гг. планируется ввод в эксплуатацию 60 новых ветровых и солнечных электростанций для электропитания удаленных населенных пунктов Севера.

В этой связи проведение натурные исследований по изучению влияния вышеуказанного перечня климатических факторов на функционирование объектов гелиоэнергетики является актуальным и востребованным.

Установлено, что при проведении оценки энергетического потенциала солнечных электростанций на территории Севера путем проведения имитационных расчетов без учета локальных климатических факторов среднестатистическое отклонение результатов расчета при сравнении с фактическими показателями выработки солнечных электростанций на территории Якутии составило 9,98 %. Однако при учете локальных климатических факторов данное среднестатистическое отклонение составило 5,29 %, повысив точность оценки энергетического потенциала солнечных электростанций на территории Севера.

На основании вышеизложенного произведена попытка обоснования необходимости углубленного учета полного перечня локальных климатических факторов при оценке энергетического потенциала солнечных электростанций и расчета параметров технико-экономического обоснования строительства объектов гелиоэнергетики.

Данное обстоятельство приводит к необходимости проведения дальнейших исследований и разработке обновленной методики оценки энергетического потенциала объектов гелиоэнергетики.

### **Источники**

1. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. [и др.]. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. СПб.: Издательство «Наука», 2002. 314 с.

2. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.

3. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии; 2-ое изд., испр. и дораб. Якутск: Якутское книжное издательство, 1973. 119 с.

4. Каплина Т.Н. Аласные комплексы Северной Якутии // Криосфера Земли. 2009. Т. 13. № 4. С. 3-17.

5. Васильев П.Ф., Местников Н.П. Исследование влияния резко-континентального климата Якутии на функционирование солнечных панелей // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 1. С. 57-64. DOI 10.34286/1995-4646-2021-76-1-57-64.

6. Местников Н.П., Васильев П.Ф. Исследование влияния резко-континентального климата Якутии на функционирование монокристаллических панелей // Актуальные вопросы теплофизики, энергетики и гидрогазодинамики в условиях Арктики: Тезисы Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием, посв. 85-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ и ЯАССР, д.т.н., проф Э.А. Бондарева, Якутск, 12–17 июля 2021 года. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2021. С. 164-166.

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

## Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

УДК 621-313

### INVESTIGATION OF PARTIAL DISCHARGE IN TRANSFORMER OIL WHEN THE CAVITIES ARE NEAR TO ONE ANOTHER

Aliyev Nijat<sup>1</sup>, M. Atrafi Giyasi  
ASOIU Baku city, Azerbaijan  
<sup>1</sup>atmaryam14608@sabah.edu.az

An electrical device designed and manufactured to change the voltage (to step voltage up or step down) is a transformer. Electrical transformers don't have moving parts or highly sensitive essential components. Also, they should be made from a material which natures are remarkable, reliable, and durable. Quality-built transformer can be expected to function under rated operating conditions and to be able to function continuously for many years [1].

As the transformers plays irreplaceable role in power system, one of the main issues for engineers is to provide their non-stop work. One of the main problems which we frequently faced is PD in transformer oil.

**Keywords:** partial discharge, transformer oil, paper-oil insulation.

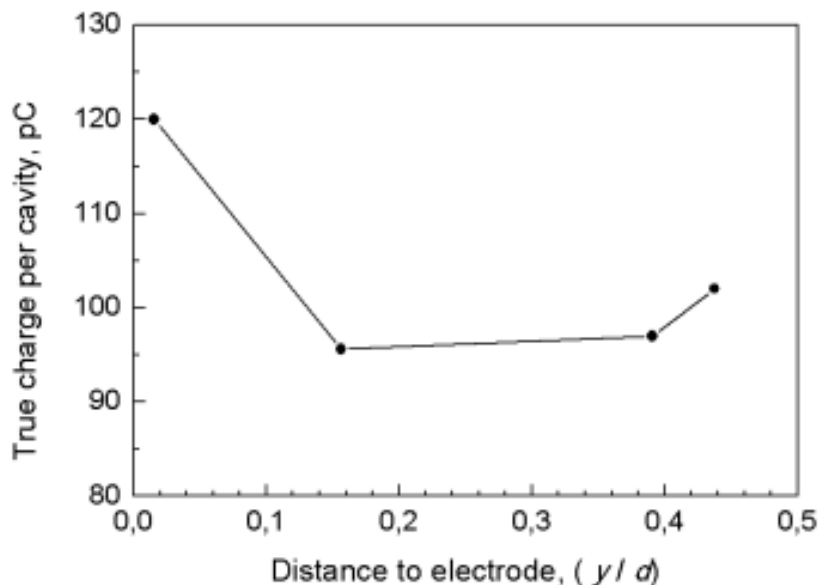
The most dangerous phenomena that cause high-voltage equipment to fail are a partial discharge in paper-oil insulation. The most serious electrical insulation faults result in the lowest voltage required for PD initiation and the highest values of the so-called «apparent» PD charge. The goal of this research is to investigate PD in transformer oil when the cavities are near to one another.

In previous investigation, the inception voltage of the PD was found to be 27 kV, which was roughly in agreement with Panchen's air gap curve [2]. It was discovered that the experimental value of 24 kV was correct. When the voltage equivalent to the inception potential was attained, partial discharges formed in the sphere significantly more often than in a bubble, more than once per second. It is reasonable to assume that Panchen's law applies in this circumstance [3].

On the experimental setup, simulation of partial discharges was performed in spherical cavities filled with a dielectric to fill the gap between flat electrodes. The electric field potential was set to 1 on the right electrode and 0 on the left electrode. The permittivity was equal to  $\varepsilon = 2.3$ , and the permittivity of the gas inside the resonator was equal to  $\varepsilon = 1$ . It was assumed that the interior of the resonator is a plasma with constant conductivity.

The mutual influence of two identical cavities during PD was repeatedly studied. We also assumed that the cavities were placed symmetrically at the same distances from the electrodes, and PD occurred simultaneously in them. The true charge values in Figure presented. It shows that the PD in cavities started influencing each another, when the distance between cavities was compared or smaller than the cavity diameter.

During PD, the joint impact of two similar cavities was investigated. It was assumed that the holes were symmetrically distributed along the field at the same distances from the electrodes, and that PD occurred in all of them at the same time. When the distance between cavities was equal to or less than the cavity diameter, the PD in the cavities began to influence each other. The real charge in each of these two cavities was determined to be about the same as in one cavity.



True charge per cavity when two identical cavities placed symmetrically at the equal distances from the electrodes: The  $r_{\text{cavity}}=0.43$  mm,  $V = 21$  kV,  $d = 6.7$  mm

As a result, we infer that the PD process in one cavity influences the process in another cavity only when the cavities are near to one another and their centers are clearly aligned along the electric force line.

The following conclusions can be drawn from optical and electrical observations of partial discharges in free bubbles in transformer oil:

We infer that the PD process in one cavity influences the process in another cavity only when the cavities are near to one another and their centers are clearly aligned along the electric force line.

## References

1. What is the Purpose of an Electrical Transformer [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://johnsoncoil.com/what-is-the-purpose-of-an-electrical-transformer/?fbclid=IwAR3wRlqsvgRXIWTV0fC\\_wQ3hdUDjryXKDg-ZedX1RhJSM5vi960DE0K0qw](https://johnsoncoil.com/what-is-the-purpose-of-an-electrical-transformer/?fbclid=IwAR3wRlqsvgRXIWTV0fC_wQ3hdUDjryXKDg-ZedX1RhJSM5vi960DE0K0qw) (дата обращения 12.03.2022).
2. Study of partial discharges in bubbles and microsphere in transformer oil / S.M. Korobeynikov [et al] // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. Vol. 1128. P. 012118.
3. Korobeynikov S.M., Ridel A.V., Ovsyannikov A.G., Medvedev D.A. Dynamics of bubbles in electric field // J. of Physics:Conference series. 2017. Vol. 899. P. 082003.

УДК 621.313

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

М. Atrafi Giyasi<sup>1</sup>, Jafarli Muxtar  
ASOIU Baku city, Azerbaijan  
<sup>1</sup>atmaryam14608@sabah.edu.az

Трансформаторное масло, используемое в трансформаторах для изоляции активных токоведущих частиц, также применяется в целях дугогашения и охлаждения. В статье акцентируется внимание на влиянии растворителей используемых для очистки тигля, используемого для измерения температуры вспышки трансформаторного масла.

**Ключевые слова:** минеральное трансформаторное масло, температура вспышки трансформаторного масла, растворитель трансформаторного масла, Уайт-спирит, нефрас-С4-155/200.

На сегодняшний день надежность силовых трансформаторов обуславливается своей сложной трехмерной изоляционной структурой окружающего картона и бумаги, погруженных в объем изолирующей жидкости. Изоляционное трансформаторное масло используется в маслонаполненных силовых трансформаторах в качестве изоляции снижения и гашения разрядов, а также для рассеивания тепла трансформатора [1].



Трансформаторное масло также используется для сохранения качественной целостности сердечника и обмоток трансформатора. Эти части трансформатора полностью погружаются в масло, что предотвращает окисление бумажной изоляции, так как оно способствует избеганию прямого контакта атмосферного кислорода, тем самым сводит окисление к минимуму [2]. Соответственно, своевременное обслуживание трансформаторов, основанное на обнаруженных зарождающихся неисправностях и /или состоянии износа, имеет важное значение для достижения бесперебойной работы. Когда обнаруживается проявление неисправности в трансформаторе, последующее планирование технического обслуживания имеет первостепенное значение; в противном случае возникают сбои в работе, которые могут повлиять на отказ системы.

Обычно в силовых трансформаторах используется два основных типа масел: на парафиновой и нафтеновой основе. Следует учитывать некоторые специфические свойства трансформаторного масла, чтобы определить его качество и изоляционные способности:

- электрические свойства: диэлектрическая прочность, удельное сопротивление, коэффициент диэлектрических потерь;
- химические свойства: содержание воды, кислотность, содержание осадка;
- физические свойства: межфазное натяжение, вязкость, температура вспышки [3].

Минимальная температура минерального масла, при которой пары над поверхностью вещества могут воспламеняться в воздухе под воздействием температуры, но их скорость образования недостаточна для дальнейшего горения. Предельное значение температуры вспышки минерального масла составляет минимум 125 °С по РД 34.45-51.300-97 [4, 5]. Сущность анализа состоит в нагревании испытуемого продукта в закрытом тигле с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании. Через определенные интервалы температур вспомогательная горелка опускается к поверхности продукта через отверстие в тигле. Температура, при которой происходит вспышка и есть определяемая в ходе анализа величина.

Маслонаполненные высоковольтные силовые трансформаторы, будучи основными элементом в передаче качественной электроэнергии от станции до потребителя, являются одними из основных звеньев в цепи. Исследование качества трансформаторных масел в этой связи становится наиболее актуальным в цели экономичности и прочих причин. В работе исследованы некоторые параметры качества минерального трансформаторного масла, а в частности было изучено влияние реагентов используемых для очистки тестового оборудования для определения температуры вспышки.

Данные по проведенным исследованиям

Параметры		Без промывания тигля и крышки прибора нефрасом.	Промыванием тигля и крышки прибора нефрасом.
Применяемый стандарт	ГОСТ 6356-75	Температура, °С	17.2
Дата анализа:	10.10.2020	Влажность, %	60
Объём пробы:	65 мл	Давление, мм.рт.ст.	760,56
Мощность, MVA:		25	25
Напряжение:		110/11/6,6 KV	110/11/6,6 KV
Модель		ТДТН-25000/110-79У1	ТДТН-25000/110-79У1
Марка трансформаторного масла		Лукойл ВГ	Лукойл ВГ
Нормально допустимое значение для минеральных масел, °С (РД 34.45-51.300-97)		135 Снижение на 5°С по сравнению с предыдущим результатом	135 Снижение на 5°С по сравнению с предыдущим результатом
Предельное значение для минеральных масел, °С (РД 34.45-51.300-97)		мин. 125	мин. 125
Типичное значение для марки «ВГ», °С (РД 34.45-51.300-97)		мин. 135	мин. 135
Результат испытания №1, °С		143,70	139,10
Результат испытания №2, °С		143,40	140,30
Результат испытания №3, °С		143,50	140,90
Среднее значение температуры вспышки °С.		143,53	140,10
Время проведения каждого эксперимента в мин.		29	26

Как было указано выше испытания проводились согласно ГОСТ 6356-75, для правильного интерпретирования результатов масло используемое для испытаний было взято из одного и того же трансформатора, при одинаковых условиях, в то же время. При проведении эксперимента был применен: полуавтоматический аппарат «ТВЗ-ЛАБ-01».

Испытательный модуль состоит из нагревателя, закрытого тигля, перемешивающего устройства, основной горелки, вспомогательной горелки и датчика температуры.

В качестве растворителя был использован - Уайт-спирит, нефрас-С4-155/200. Данные по проведенным исследованиям и условия проведения испытаний указаны в таблице.

Исходя из выполненной работы, ее можно считать дополнительной проверкой метода определения температуры вспышки. По полученным экспериментальным данным можно привести ряд преимуществ и недостатков для каждого анализа

В качестве недостатка метода определения температуры вспышки промыванием тигля и крышки прибора нефрасом является экономическая невыгодность и продление времени эксперимента. Согласно ГОСТ 6356-75 при проведении эксперимента промывания тигля нефрасом мы дополнительно расходует исходное масло, взятое для проведения анализа, т.к. после промывания тигля нефрасом его еще нужно 2 раза промыть этим маслом. Это делается для того чтобы полностью избавиться от растворителя, потому что при остатке хоть капли этого растворителя температура вспышки данного масла уменьшается. Помимо этого в результате проведенных исследований и проведенных экспериментов было обнаружено что, температура вспышки исследуемого образца понижается в среднем на 3,43 °С. А в порядке преимуществ проведения опыта без промывания тигля и крышки прибора нефрасом можно указать экономичность метода. Также отсюда вытекает, что время, затраченное на проведение эксперимента, значительно уменьшается, что является немаловажным фактором.

### **Источники**

1. Fofana I. 50 Years in the Development of Insulating Liquids // IEEE Electr. Insul. Mag. 2013. Vol. 29. No. 5. Pp. 13-25.

2. Fofana I., Wasserberg V., Borsi H., Gockenbach E., Farzaneh M. Specific investigations to quantify heavy damage causes on loading resistor modules // IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 2006. June. Vol. 13. No. 3. Pp. 593–600.

3. Transformer Oil: Testing, Types & Properties [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.electrical4u.com/transformer-insulating-oil-and-types-of-transformer-oil/> (дата обращения 12.03.2022).

4. Нефтепродукты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005427> (дата обращения 12.03.2022).

5. Rouse T.O. Mineral oil in transformers // IEEE Electr. Insul. Mag. 1998. Vol. 14. No. 3. Pp. 6–13.

## ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ПО КИСЛОТНОМУ ЧИСЛУ

А.Ф. Абзалдинова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань

abzaldinova.alsu@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов,

канд. техн. наук, доц. Д.М. Валиуллина

Старение трансформаторного масла, приводит к увеличению кислотного числа и диэлектрических потерь, к изменению цвета масла и как следствие к снижению надежности всей изоляционной системы маслонеполненного оборудования. В работе исследованы изоляционные масла, определены их координаты цветности по спектрам пропускания и отражения в видимом диапазоне, а также установлена их связь с кислотным числом.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, кислотное число, координаты цветности масла, изоляция трансформатора.

В результате эксплуатации трансформаторные масла подвергаются «старению», выражающееся в изменении их химических и физических свойств. К химическим показателям относятся кислотное число ( $K$ ), определяющее содержание растворимых кислот и щелочей, степень окисления и «рабочие характеристики» масла [1].

Свежее трансформаторное масло представляет собой прозрачную жидкость светло-желтого цвета. В процессе эксплуатации трансформаторного масла, оно окисляется, что приводит к увеличению кислотного числа, изменению цвета масла, то есть оно темнеет и приобретает медно-бурый оттенок.

Для определения корреляции ( $R$ ) между координатой цветности масла и его кислотным числом было проведено исследование образцов трансформаторных масел с различной степенью окисления. Корреляционная зависимость между координатами цветности и кислотным числом масел наиболее точно описывается координатой  $x$ , которая соответствует красному цвету.

При получении спектров пропускания масел были использованы три источника света: белый, синий и зеленый. По полученным спектрам пропускания определены координаты цветности исследуемых масел.

Обнаружено, что координата цветности  $x$  с увеличением кислотного числа имеет тенденцию к возрастанию (рис. 1–3) [2].

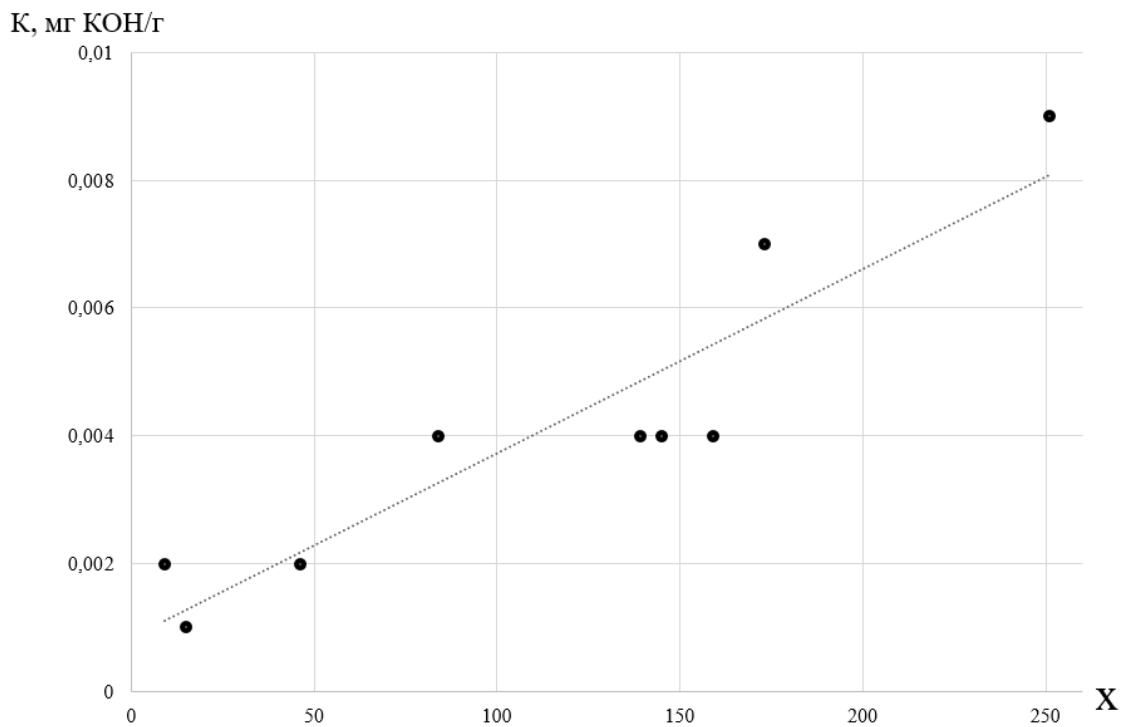


Рис. 1. Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности при пропускании через масло белого источника света:  $R=0,92367$

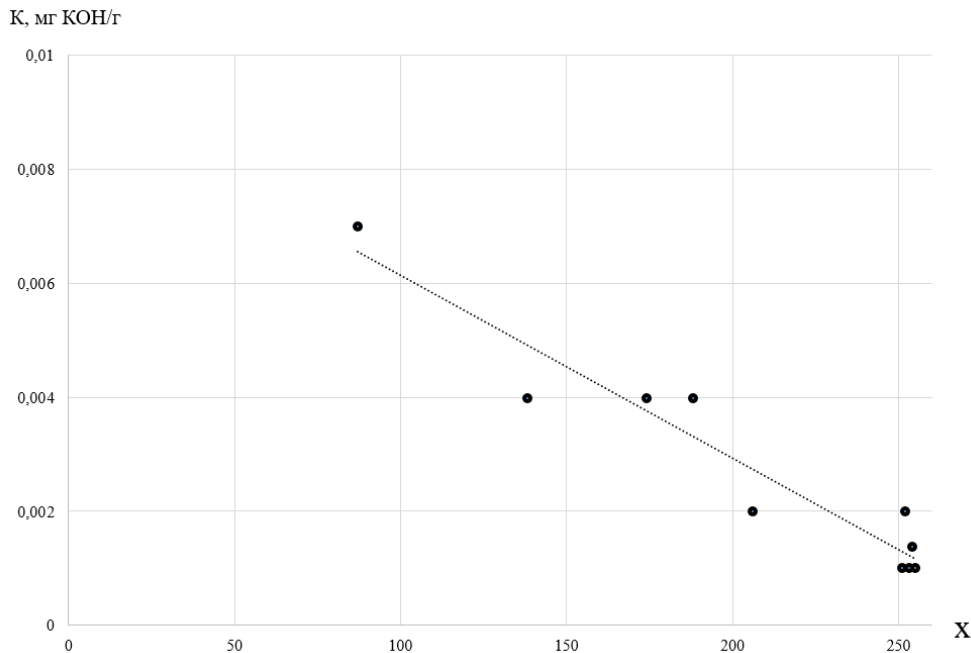


Рис. 2. Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности при пропускании через масло синего источника света:  $R= - 0,9581$

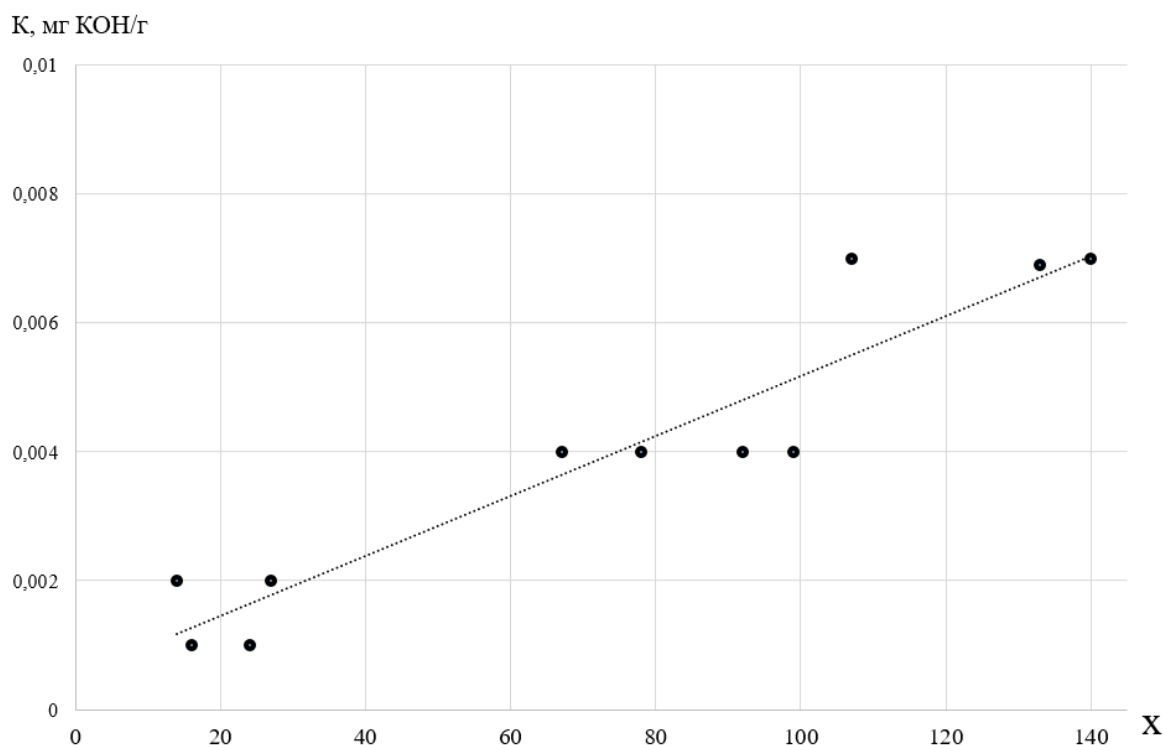


Рис. 3. Корреляционная зависимость кислотного числа от координаты цветности при пропускании через масло зеленого источника света:  $R=0,94528$

Как видно из графиков, исследуемых образцов трансформаторного масла кислотное число находится в пределах нормативных значений. Предельное максимальное значение кислотного числа для трансформаторов установлено равным не более 0,25 мг КОН/г. Таким образом, представлена возможность определения степени старения трансформаторного масла, а именно кислотного числа, по координатам цветности масла.

### Источники

1. Виды испытаний трансформаторного масла [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://leg.co.ua/info/transformatory/> (дата обращения 09.03.2022).
2. Валиуллина Д.М., Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К. Цвет как показатель качества изоляционных масел // Энергетика. Методы и средства диагностики масел. 2003. №4. С. 95–100.

## ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Анн Тамсир<sup>1</sup>, Лыу Куок Кыонг<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup> tamsirhanne8@gmail, <sup>2</sup> lquong.nute@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. Маклецов

В работе рассматривается влияние устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) электроснабжающей организацией на напряжения в узлах линии электропередачи (ЛЭП) 10 кВ и на потери активной мощности в этой линии. Показано, что перекомпенсация реактивной мощности может существенно повысить напряжение в конце линии, что позволяет обеспечить регламентированные показатели качества электроэнергии и ее отпуск потребителям. Однако при перекомпенсации возрастают потери мощности в ЛЭП.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, устройство компенсации реактивной мощности, потери электроэнергии, качество электроэнергии.

Регулирование перетоков реактивной мощности существенно влияет на напряжения в узлах сети и на потери активной мощности. В 2002 г. были отменены правила пользования электрической энергией, которые предусматривали надбавку к тарифам на электроэнергию за потребление потребителями реактивной мощности, что привело к отказу потребителей устанавливать новые и обслуживать имеющиеся компенсирующие устройства – батареи конденсаторов. При этом понизились напряжения в узлах сети и увеличились потери электроэнергии.

Приказом Минэнерго России от 23 июня 2015 г. [1] сделана попытка исправить ситуацию. Приказ регламентирует допустимые  $\text{tg}\varphi$  для сетей разных напряжений (например, для сетей 6–10 кВ  $\text{tg}\varphi_{\text{доп}} = 0,4$  для сети 0,4 кВ –  $\text{tg}\varphi_{\text{доп}} = 0,35$ ). Однако требования по компенсации реактивной мощности можно предъявлять потребителям только при заключении договоров на новые технологические присоединения. Поэтому представляется целесообразным оценить результаты применения УКРМ на трансформаторных подстанциях (ТП), находящихся на балансе энергоснабжающих организаций и за счет этих организаций по следующим причинам:

1. Необходимость повышения пропускной способности ЛЭП для обеспечения новых технологически присоединений вне зависимости от возможной в дальнейшем компенсации реактивной мощности потребителями.

2. Необходимость обеспечения качества электроэнергии за счет снижения потерь напряжения от перетоков реактивной мощности.

3. Необходимость снижения потерь электроэнергии.

4. Увеличение отпуска электроэнергии потребителям.

Мировая практика компенсации реактивной мощности предусматривает обеспечение нулевого перетока реактивной мощности через питающие сеть трансформаторы (с учетом более высоких тарифов на электроэнергию по сравнению с Россией).

Алгоритм выбора системы компенсации реактивной мощности базируется на методике расчета режимов электрической сети [2]. Результатом расчетов являются напряжения в узлах сети и потери электроэнергии при разной степени компенсации реактивной мощности

Данные по нагрузкам фидера №1 РП «Сакуры»

ТП	Тип транс.уст. на ТП	Значение тока в режиме мин. нагрузок, А	Значение тока в режиме максимальных нагрузок	Напряжение НН, кВ
6110	ТМ-100	27	36	0,4
6132	ТМ-100	15	19	
6579	ТМ-63	37	48	
6111	ТМ-25	15	19	
6118	ТМ-100	49	64	
6147	ТМ-100	13	17	
6112	ТМ-160	42	55	
6421	2*ТМ-250	367	477	
6113	ТМ-100	112	145	
6555	ТМ-63	16	21	
6586	ТМ-630	598	777	
6164	ТМ-250	288	360	
6585	ТМ-250	27	36	
6307	ТМ-63	77	100	
6604	ТМ-40	9	12	
6121	ТМ-160	183	225	



Ниже приводятся результаты расчетов режима работы ВЛ 10 кВ (фидер №1 РП «Сакуры», РТ). Схема фидера с компенсирующими устройствами на напряжении 0,4 кВ всех ТП приведена на рис. 1.

Исходные данные для расчета режимов представлены в таблице. Результаты расчетов показаны на рис. 2 и 3.

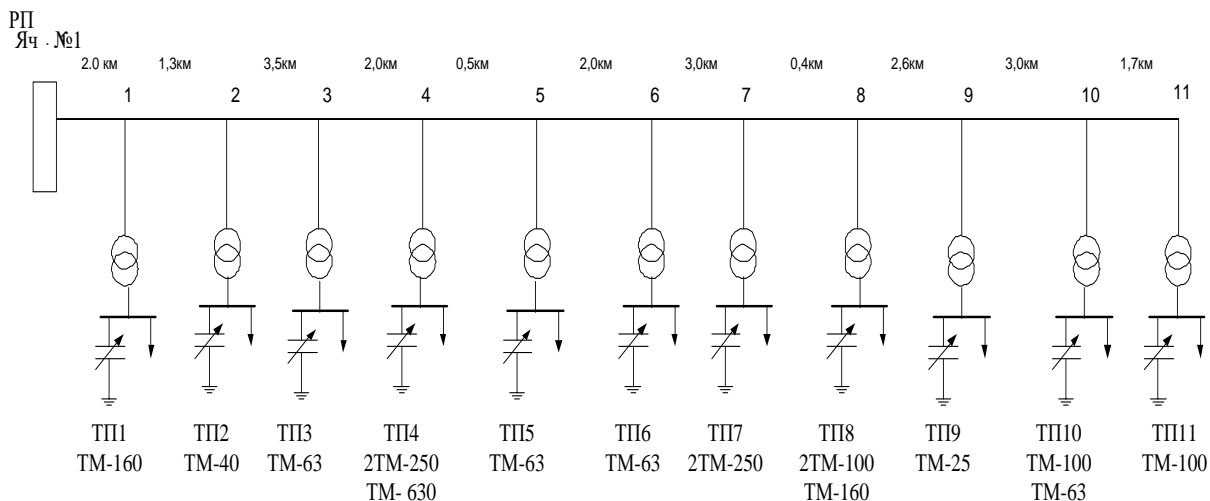


Рис. 1. Схема фидера №1 РП «Сакуры» с компенсирующими устройствами

Напряжение в голове фидера: в режиме минимальных нагрузок 10,4 кВ; в режиме максимальных нагрузок 10,2 кВ,  $\cos \varphi = 0,92$ .

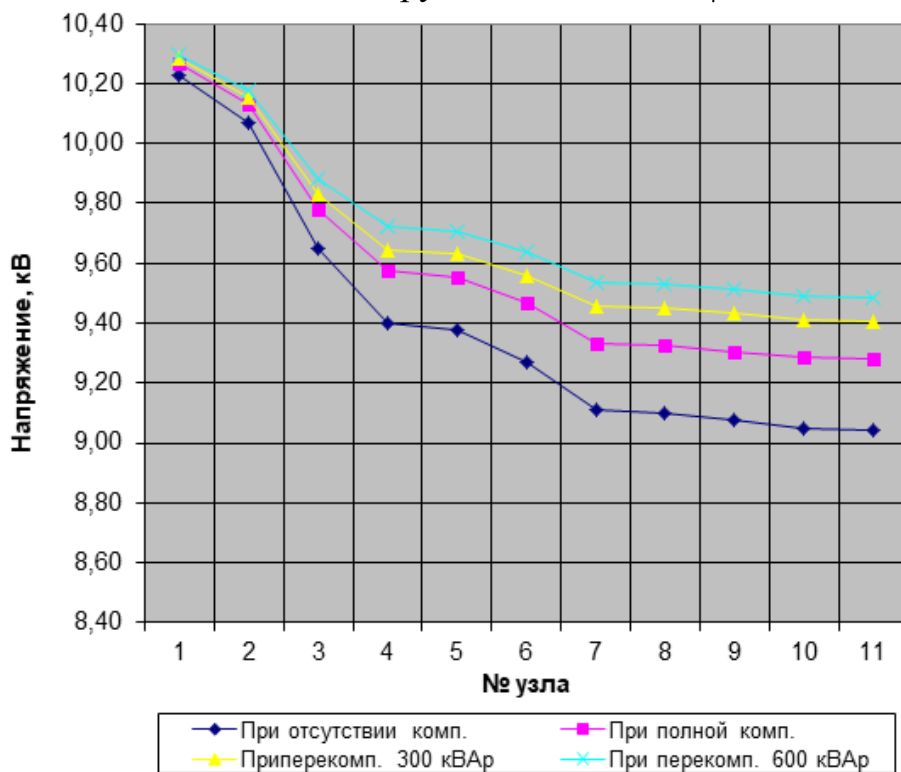


Рис. 2. Напряжения в узлах фидера №1 РП «Сакуры» в режиме максимальной нагрузки при разной степени компенсации реактивной мощности

Следует отметить, что при повышении напряжения в соответствии со статическими характеристиками нагрузки будет увеличиваться потребление электроэнергии, что положительно скажется на эффективности работы энергоснабжающей организации (увеличится передаваемая по сетям электроэнергия).

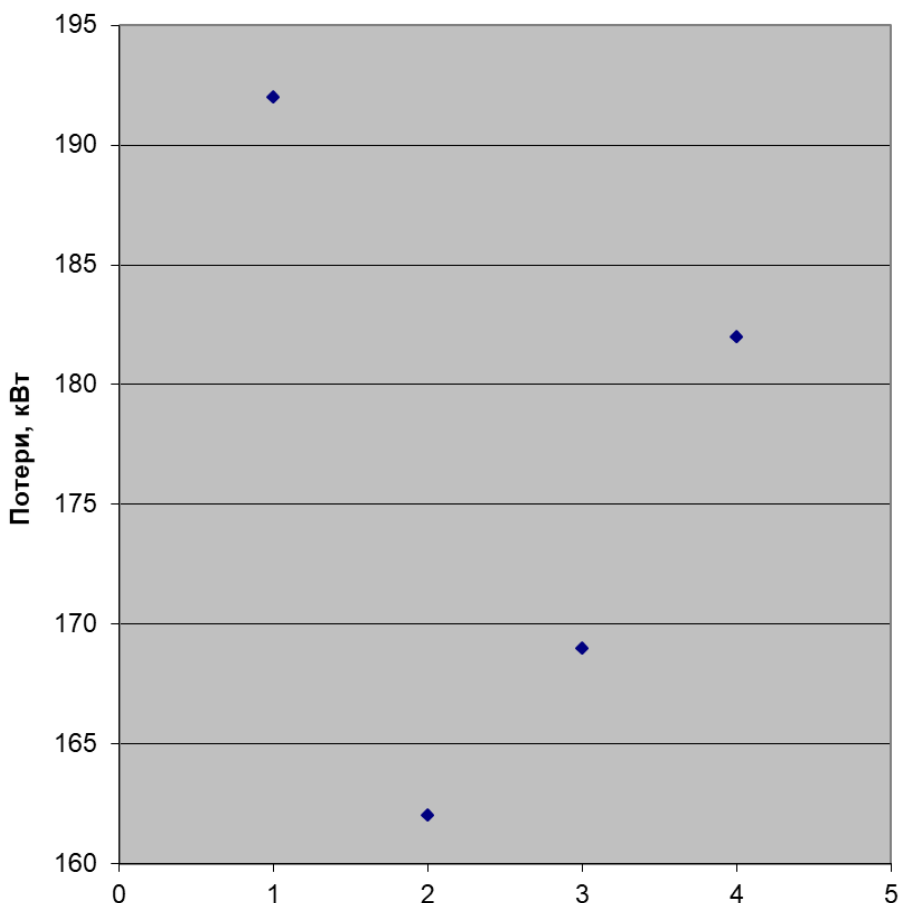


Рис. 3. Потери мощности в ЛЭП и трансформаторах ТП при разной степени компенсации в режиме максимальных нагрузок: 1 - отсутствие компенсации; 2 - полная компенсация (712 кВАр); 3 - перекомпенсация 300 кВАр; 4 - перекомпенсация 600 кВАр

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1. Задача выбора мест расположения и мощности УКРМ является оптимизационной и многокритериальной. Критерии:

- потери электроэнергии;
- повышение качества электроэнергии;
- величина отпущенной потребителям электроэнергии.

2. Математическая формулировка задачи и ее решение усложняется дискретностью исходных данных (точки расположения УКРМ, ступенчатое регулирование мощности УКРМ), что требует разработки специального программного обеспечения.

3. Выбор места, мощности и целесообразности установки УКРМ возможен при мониторинге нагрузок всех ТП (со стороны 0,4 кВ), что становится все более возможным по мере интеллектуализации электрических сетей.

### **Источники**

1. Приказ Минэнерго РФ от 23 июня 2015 г. №380. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств.

2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие. Ростов-н/Д.: Феникс, 2006, 718 с.

УДК 621.315.1

## **АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ**

Р.И. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

samarenata@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.М. Валиуллина

В тезисе представлены акустический метод определения повреждения кабельных линий, принцип его работы, преимущества и недостатки, техника, применимая для его осуществления и новые разработки.

**Ключевые слова:** кабельные линии, определение места повреждения, акустический метод, диагностика кабельных линий.

За последнее десятилетие обслуживания кабельных линий стало более затруднительно, так как количество эксплуатируемых трасс возросло, их средний возраст увеличился, а также возросло количество строительных работ. В условиях городской застройки присутствуют проблемы с тем, что кабели расположены под антропогенным твердым покрытием, а также присутствующим источникам электромагнитных помех с широким спектром. [1]. Акустический метод поиска повреждений кабеля позволяет находить как однофазные и междуфазные повреждения, так и «заплывающие» пробои, обрывы одной или нескольких жил. При этом полное замыкание с низким переходным сопротивлением не производит искрового разряда, а значит, его не получится обнаружить данным методом. В ряде случаев с помощью акустического метода поиска возможно найти несколько повреждений на одной кабельной линии [2].

Суть акустического метода обнаружения повреждений кабельных линий исходит из его названия. Ключевым индикатором здесь является мощность короткого звукового сигнала, который возникает одновременно с электрическим искровым или дуговым разрядом, который создается в месте повреждения (МП) кабельной линии, когда на него подаётся высоковольтный импульс электрического напряжения. Для приема сигнала используется акустический датчик с высокой чувствительностью, который преобразует звуковой сигнал в электрический. Микрофон присоединяется к переносному усилительному прибору, который снабжен звуковой и визуальной индикацией. Оператор передвигается по поверхности вдоль трассы кабельной линии с датчиком-микрофоном в направлении усиливающегося сигнала и находит точку, где сигнал наиболее сильный. Это и определяет место, где находится место повреждения кабеля. Ниже представлена схема реализации данного метода (рис. 1).

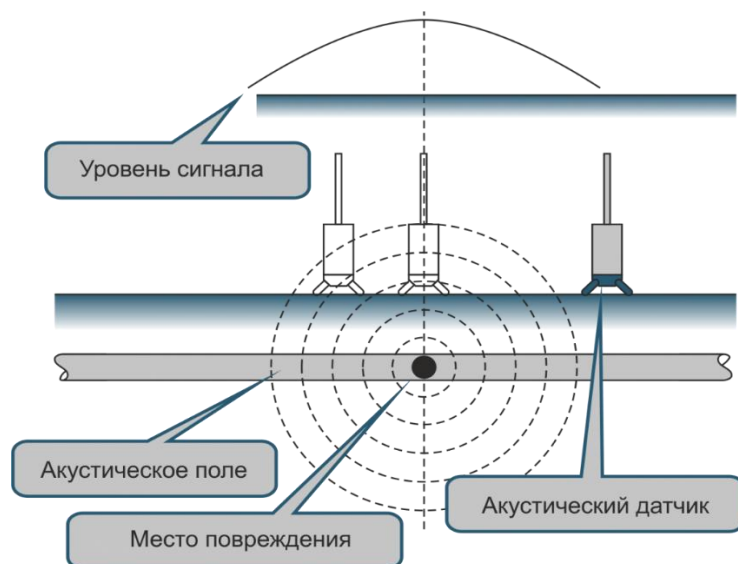


Рис. 1. Определение точного местонахождения повреждения в кабельной линии [2]

С увеличением городской застройки и появлением все более сложных подземных коммуникаций в настоящее время появились новые способы поиска места повреждения. Раньше приборы для поиска места повреждения были простыми, недорогими и состояли в основном из антенны с датчиком и встроенного приемника со звуковой индикацией. Фильтрация сигнала у подобных приборов была относительно низкой, и зачастую приемник представлял собой микрофон, усилитель низкой частоты и выдавал звук без обработки. Поколение новых приборов было усовершенствовано дополнительными модулями, для более точной работы.

Для уменьшения электромагнитных помех усложнили фильтрующий блок, а городские акустические шумы потребовали акустической отстройки. Из-за этого размеры и вес прибора увеличились, и пришлось разделить приемник и поисковую антенну для удобной работы персонала. Также произошло расширения сервисных возможностей приборов. Добавлены цифровая индикация глубины закладки кабеля и величина тока. Был введен второй горизонтальный датчик и предусмотрена возможность строго-вертикальной направленности антенны. Для поиска трассы по минимуму сигнала был встроен еще и вертикальный датчик. Совместная работа вертикального и горизонтального датчиков позволяет искать трассу не только по максимуму или минимуму, как это было в традиционных методах, но и по инвертируемому сигналу [2]. Данный способ ОМП получил название «супермаксимум» или «максимум+». Его достоинство заключается в том, что использует и минимальный и максимальный сигнал для определения МП. Принцип работы схематично показан на рис. 2.

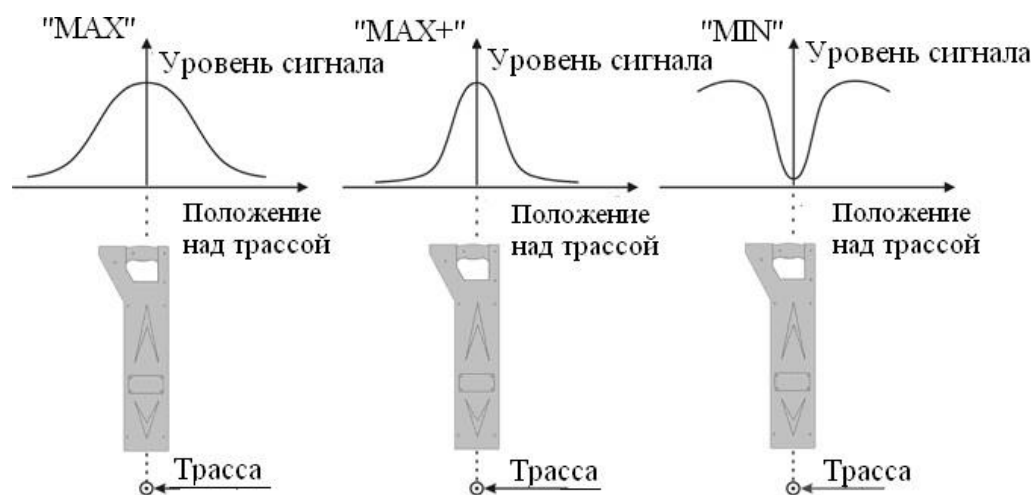


Рис. 2. Режим «супермаксимум» (в центре) объединяет удобство определения трассы по максимальному сигналу (слева) с точностью поиска по минимуму сигнала (справа) [3]

Датчики с различной ориентацией направления позволило включить в комплекс измерений фазовый анализ сигнала и получить дополнительные данные:

- определение места измерения справа или слева от кабельной линии благодаря использованию вертикального датчика;
- определение нужного кабеля среди всей кабельной трассы, благодаря определению направление тока в соседних трассах в зависимости от момента времени (анализ сдвига фаз). Это используют как признак, разделяющий кабели;

– определение глубины и направления кабеля, определяемое датчиками с различной ориентации, способствует точному определению топологии поля, сопровождая цифровыми показаниями уровня сигнала.

### **Источники**

1. Макаров Д.М. «Методы определения места повреждения кабеля» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://extxe.com/22726/metody-opredelenija-mesta-povrezhdenija-kabelja/> (дата обращения 02.03.2022).

2. Большаков С.В. «Акустический метод определения места повреждения кабельной линии» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://angstrem.tech/blog/akusticheskiy\\_metod\\_opredeleniya\\_mesta\\_povrezhdeniya/](https://angstrem.tech/blog/akusticheskiy_metod_opredeleniya_mesta_povrezhdeniya/) (дата обращения 02.03.2022).

3. Хэмптон Р.Н. Cable Diagnostic Focused Initiative [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.osti.gov/biblio/1004068> (дата обращения 02.03.2022).

УДК 621-311

## **ТЕПЛОЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Н.В. Бутусов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lloyoll3@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов

В статье рассмотрен метод теплового контроля высоковольтного электрооборудования как один из современных методов диагностики. Описаны преимущества и применение метода к обследованию электрооборудования электростанций и подстанций, линиям электропередач.

**Ключевые слова:** тепловой метод контроля, диагностика.

Большой практический опыт показывает, что, по всей вероятности, ненормальное рабочее состояние и ухудшение изоляции энергетического оборудования приводят к накоплению тепла, которое считается основной причиной ускоренного старения и даже выхода из строя всего оборудования. Соответственно, мониторинг повышения температуры широко применяется для раннего выявления повреждений изоляции, перегрузки, а также неэффективной работы передающего и преобразующего оборудования в энергосистеме.

Тепловой метод контроля (ТМК), как высокочувствительное, точное и бесконтактное измерение распределения температуры, стала одним из наиболее незаменимых инструментов мониторинга состояния и диагностики неисправностей электрооборудования, а также значительно позволила и улучшила мониторинг в режиме реального времени и контроль передачи электроэнергии на подстанции и линии электропередачи.

Температура является наиболее универсальным показателем работоспособности любого оборудования. Практически во всех режимах, при нормальной работе оборудования, изменение температуры является самым первым признаком неисправности. Температурные реакции протекают в разных режимах работы, что обусловлено их универсальностью на всех этапах эксплуатации электрооборудования [1].

Тепловизионный прибор регистрирует изменение интенсивности инфракрасного (ИК) излучения, которое возникает от практически всех видов дефектов электрооборудования.

ТМК для диагностики электрооборудования электростанций и подстанций может применяться для следующих видов оборудования:

- 1) силовые трансформаторы и их высоковольтные вводы;
- 2) коммутационные аппараты: выключатели, разъединители;
- 3) измерительные трансформаторы: трансформаторы тока и напряжения;
- 4) разрядники и ограничители перенапряжения (ОПН);
- 5) сборные шины КРУ (РУ);
- 6) изоляторы;
- 7) контактные соединения;
- 8) электропроводка (ЛЭП) и их конструктивные элементы (например, опоры ЛЭП) и др.

При проведении диагностики высоковольтного электрооборудования ТМК используется тепловизионный измерительный прибор (тепловизор). Тепловизор – оптико-электронный прибор, предназначенный для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственного / пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, путем формирования временной последовательности термограмм и определения температуры поверхности объекта по известным коэффициентам излучения и параметрам съемки (температура окружающей среды, пропускание атмосферы, дистанция наблюдения и т. п.). Таким образом, телекамера, снимающая объекты в ИК-излучении, позволяющая в реальном времени получить картину разницы температур на поверхности, называется тепловизором.

Измеряемые температуры могут колебаться от  $-50$  до  $+3000^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от тепловизора и марки.

Картина распределения ИК-излучения определяется неравномерным нагревом физического тела – принцип действия тепловизора. То есть работа основана на улавливании разности температур «объект/фон» и преобразовании полученной информации в видимое изображение (термограмму). Термограмма представляет собой двумерное изображение нескольких элементов, каждому элементу которого присвоен цвет (или градация цвета)/степень яркости экрана, согласно шкале условных температур (ГОСТ Р 8.619-2006). Совокупность значений температуры во всех точках какой-либо пространственной области в данный момент времени рассматриваются как цветное изображение, где градация цвета соответствует температурной градации.

Выбор цветовой палитры термограммы зависит от используемого температурного диапазона, а также может задаваться самим оператором. Изменение цветовой палитры используется для повышения контрастности и визуальной эффективности.

Также есть вариант использования установки тепловизионного оборудования со встроенной системой интеллектуального анализа распределения температурных полей для круглосуточного контроля энергетического оборудования. А при помощи системы автоматической сигнализации при достижении определенных значений или быстрого роста температуры оповестит предприятие о нарушении в работе оборудования.

По результатам тепловизионного обследования составляется протокол, который содержит описание дефектных участков, термограммы, фотографии, параметры дефектов и степень аварийности. Полученный отчет будет использоваться в будущем службами электриков при исправлении обнаруженных неисправностей. Устанавливаются четкие сроки, даются рекомендации по устранению дефектов, необходимости дальнейшего тестирования оборудования и его целесообразности.

ИК-диагностика перспективное и эффективное направление в диагностике электрооборудования. Она имеет ряд преимуществ и достоинств:

- 1) достоверность, объективность и точность полученной информации;
- 2) безопасность персонала при осмотре оборудования;
- 3) производить проверку можно в любое время, что самое важное не выводя оборудование из работы;
- 4) нет необходимости готовить рабочее место;



- 5) большой объем работы в единицу времени;
- 6) выявление дефектов на ранней стадии развития;
- 7) диагностика большинства видов электрооборудования подстанций;
- 8) низкие трудозатраты на производство замеров на единицу оборудования [2].

### **Источники**

1. Сидоренко М.Г. Тепловизионная диагностика как современное средство мониторинга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.centert.ru/articles/22/> (дата обращения 18.02.2022).

2. Хальясмаа А.И. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 64 с.

УДК 621.314.21

## **ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Э.Э. Гайнанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sadwoxy@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.В. Воркунов

В статье представлены методы мониторинга и диагностики силовых трансформаторов и оценка их эффективности.

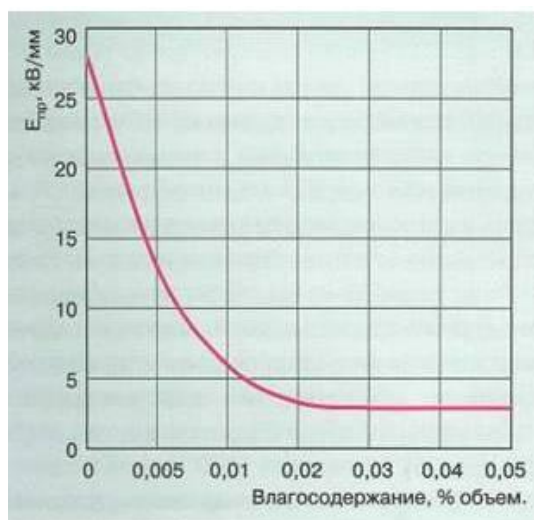
**Ключевые слова:** силовой трансформатор, диагностика, частотная характеристика, частичные разряды, сигналы вибрации.

Силовые трансформаторы являются наиболее сложными, важными и критическими компонентами систем передачи и распределения электроэнергии. Для снижения эксплуатационных затрат и надежного функционирования необходимо техническое обслуживание, основанное на условиях эксплуатации. Значение тестирования, мониторинга и диагностики трансформаторов растет с каждым годом вместе с ростом производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Целью работы является исследование методов диагностики силовых трансформаторов и оценка их эффективности.

Система изоляции трансформатора состоит в основном из масла и бумаги, которые подвержены старению. Естественное старение, тепловые и электрические сбои генерируют типичные неисправные газы, которые растворяются в изоляционном масле. Анализ растворенного газа в масле представляет собой процедуру, используемую для оценки состояния маслonaполненного трансформатора на основе анализа газов, растворенных в охлаждающей или изолирующей среде. Экстрагируя газ, растворенный в изоляционном масле трансформатора, можно обнаружить локальный перегрев или частичный электрический разряд [1]. На основе данных о текущем состоянии и происходящих изменениях возможно предотвращение незначительных неисправностей и крупных аварий. Онлайн - мониторинг содержания растворенных газов является мощным инструментом, позволяющим непрерывно контролировать развитие аварийного газа и, таким образом, гарантировать оптимальную передачу энергии.

Измерение частотной характеристики является широко применяемым методом обнаружения неисправности обмотки силового трансформатора после удара молнии, короткого замыкания или транспортировки. Анализ частотной характеристики заключается в измерении импеданса обмоток трансформатора в широком диапазоне частот и сравнении результатов этих измерений с эталонным набором. Отклонения между частотными характеристиками указывают на механические или электрические изменения. Частотная характеристика определяется многочисленными характерными резонансами, которые зависят от паразитных емкостей, индуктивностей, определяемых геометрией и расположением активной части и бака трансформатора [2]. Это единственный электрический метод для выявления коротких замыканий между параллельными обмотками и локального перегрева из-за чрезмерных потерь вихревого тока.

Влажность является критическим параметром изоляционной системы по нескольким причинам. Влажность оказывает сильное влияние на диэлектрическую прочность изолирующей жидкости, увеличивая риск возникновения частичных разрядов и испарения водяного пара в условиях высокой нагрузки (см. рисунок) [3]. Влага также опасна для изоляции на основе целлюлозы, поскольку ускоряет ее старение. Следовательно, срок службы целлюлозных изоляционных систем зависит не только от рабочей температуры, но и от содержания влаги в твердой изоляции. Именно по этой причине оценка влажности в сочетании с другими методами диагностики может помочь определить состояние трансформатора.



Зависимость диэлектрической прочности масла от влагосодержания

Частичные разряды в трансформаторе ухудшают изоляцию до степени разрушения. Импульсы частичных разрядов генерируют в точке своего возникновения электромагнитные волны, акустические волны, локальный нагрев и химические реакции. Известные методы локализации дефектов частичного разряда основаны на акустических методах, электрических методах или их комбинации. На основе электромагнитных экранирующих характеристик заземленного трансформаторного бака от внешних помех можно определить внутреннюю активность частичных разрядов тестируемого трансформатора [4].

Анализ сигналов вибрации служит для диагностики механической целостности обмотки трансформатора. Датчики вибрации представляют собой пьезоэлектрические акселерометры с магнитным креплением, закрепленные по бокам и сверху резервуаров трансформатора. Сигналы оптически изолированы для передачи данных на регистратор. Однако вибрация может быть вызвана первичным возбуждением, потоком утечки, механическим взаимодействием, включением и выключением нагрузки, что искажает результаты анализа.

Таким образом, в статье представлены наиболее важные методы контроля состояния и диагностики силовых трансформаторов, реально используемых в настоящее время. Своевременное выявление возникающего дефекта позволяет принять меры по предупреждению его развития и сохранению работоспособного состояния трансформатора.

## Источники

1. Анализ трансформаторного масла: основные методы испытаний [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://oils.globecore.ru/analiz-transformatornogo-masla.html> (дата обращения 03.03.2022).

2. Современные методы диагностики силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://energoboard.ru/post/411/> (дата обращения 04.03.2022).

3. Включение трансформаторов после монтажа и ремонта - методы контроля влажности изоляции трансформатора [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://leg.co.ua/transformatory/praktika/vklyuchenie-transformatorov-posle-montazha-i-remonta-2.html> (дата обращения 04.03.2022).

4. Измерение частичных разрядов в изоляции трансформаторного оборудования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dimrus.ru/texts/measpd.html> (дата обращения 04.03.2022).

УДК 621.314.21

## АНАЛИЗ РАСТВОРЕННОГО ГАЗА В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

А.А. Гайниев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[almaz-gainiev@mail.ru](mailto:almaz-gainiev@mail.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.Е. Куракина

В работе рассмотрен анализ растворенного в трансформаторном масле газа. Выявлены основные виды повреждений, возникающие при повышенной концентрации определенных газов.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, трансформаторное масло, газовая хроматография.

Безотказная работа силовых трансформаторов имеет важное экономическое значение и обеспечивает безопасность в системах электроснабжения. Для обеспечения надежности необходимо контролировать суммарный эффект тепловых, электрических и механических нагрузок, вызванных в процессе эксплуатации.

Анализ растворенных газов в диэлектрическом масле трансформатора часто является лучшим методом выявления определенных проблем, которые в конечном итоге могут привести к выходу трансформатора из строя. Все трансформаторы при нормальной работе выделяют различные газы [1]. Обнаружение и интерпретация определенных ключевых газов и их количественных соотношений позволяет оператору своевременно выявлять проблемы, способствуя увеличению срока службы трансформатора.

В процессе эксплуатации трансформатор подвергается тепловым и электрическим нагрузкам, из-за разложения трансформаторного масла образуются определенные газы. Для этого теста отбираются небольшие пробы масла с использованием чистого, не содержащего влаги, газонепроницаемого контейнера – обычно шприца из матового стекла объемом 50 мл. Образец масла должен оставаться герметичным, в противном случае в образец могут попасть внешние газы, что приведет к аннулированию результатов испытаний [2].

Для определения содержания этих газов в масле используются вакуумные газоэкстракционные аппараты и газовые хроматографы. В трансформаторном масле обычно встречаются такие газы, как водород ( $H_2$ ), метан ( $CH_4$ ), этан ( $C_2H_6$ ), этилен ( $C_2H_4$ ), ацетилен ( $C_2H_2$ ), окись углерода ( $CO$ ), диоксид углерода ( $CO_2$ ), азот ( $N_2$ ) и кислород ( $O_2$ ) [3]. Определенные количества и комбинация этих газов указывают на перегрузку, перегрев масла, частичный разряд или образование электрической дуги в трансформаторе.

Как правило, водород и метан образуются в большом количестве, если внутренняя температура силового трансформатора повышается до  $150-300^\circ C$  из-за тепловых перенапряжений. При температуре выше  $300^\circ C$  образуется этилен ( $C_2H_4$ ). Если во время анализа трансформаторного масла в большом количестве обнаружены окись углерода ( $CO$ ) и диоксид углерода ( $CO_2$ ), прогнозируется разложение изоляции.

Частичный разряд или дуга производит в основном водород с небольшими количествами метана и ацетилена. По мере увеличения интенсивности разряда концентрация ацетилена и этилена значительно возрастает.

Неисправности, возникающие в трансформаторном масле при обнаружении определенной концентрации газов, представлены в таблице.

## Интерпретация содержания газов в трансформаторном масле

Газ	Нормальная концентрация (<), промилле	Аномальная концентрация (>), промилле	Интерпретация
Водород	150	1500	Частичный разряд, электрическая дуга
Метан	25	80	Искрение
Этан	10	35	Локальный перегрев
Этилен	20	150	Перегрев
Ацетилен	15	70	Электрическая дуга
Окись углерода	500	1000	Перегрев
Диоксид углерода	10	15	Перегрев

Автором был сделан обзор, собраны статистические данные, проведена работа по корреляции присутствия различных газов и неисправностей, к которым они могут привести. Эта информация может использоваться для определения соответствующего плана эксплуатационных мероприятий в отношении конкретного трансформатора.

### Источники

1. Исследование неисправностей силовых трансформаторов на основе анализа растворенных в масле газов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itc-avikon.ru/materials/issledovaniya-neispravnostej-silovyh-transformatorov-na-osnove-analiza-rastvorenyh-v-masle-gazov/> (дата обращения 06.03.2022).

2. Пояснение методов анализа растворенных в масле газов и интерпретации результатов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://itc-avikon.ru/materials/poyasnenie-metodov-analiza-rastvorenyh-v-masle-gazov-i-interpretaczii-rezultatov/> (дата обращения 06.03.2022).

3. Хроматографический анализ растворенных газов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sibenedia.ru/blog/harg> (дата обращения 06.03.2022).

## **КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОБЛАСТИ 300-1000 НМ**

А.Р. Гизатуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

caff.tatap4uk@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.Е. Куракина

В тезисе продемонстрированы спектры оптической плотности образцов масел разных марок, получена корреляционная зависимость спектров оптической плотности от содержания ароматических углеводородов.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, контроль качества, ароматические углеводороды, оптическая спектроскопия.

Трансформаторы являются важными объектами подстанций. От их состояния зависит работоспособность всей электроэнергетической системы. Для контроля трансформаторов проводится их диагностика. Одним из важных составляющих при диагностике трансформатора является проверка состояния трансформаторного масла (ТМ). Масло в трансформаторе является изолирующей и охлаждающей средой. Качество трансформаторного масла строго регламентируется национальными стандартами и руководящими документами. Контроль содержания ароматических углеводородов в ТМ играет важную роль в обеспечении долговечности, а также надежности работы трансформатора.

ТМ получают в результате переработки нефти, при этом удаляются нежелательные компоненты, одними из которых являются и ароматические соединения, в избытке они уменьшают электрическую прочность [1].

Содержание ароматических углеводородов и структура ТМ зависят от температуры выкипания фракции, природы нефти, очистки на заводе-изготовителе. Увеличение содержания ароматических соединений отрицательно влияет на качество трансформаторного масла, в связи с этим необходимо контролировать их концентрацию [2].

В таблице приведены сведения о содержании ароматических углеводородов в рассмотренных марках трансформаторных масел [3].

Содержание ароматических соединений некоторых трансформаторных масел

Марка масла	Nytro 10X	ГК	T-1500	Ткп
Концентрация ароматических углеводородов, %	0,85	1,6	14,2	18,9

На рис. 1 показаны нормированные спектры оптической плотности масел с различным содержанием ароматических соединений.

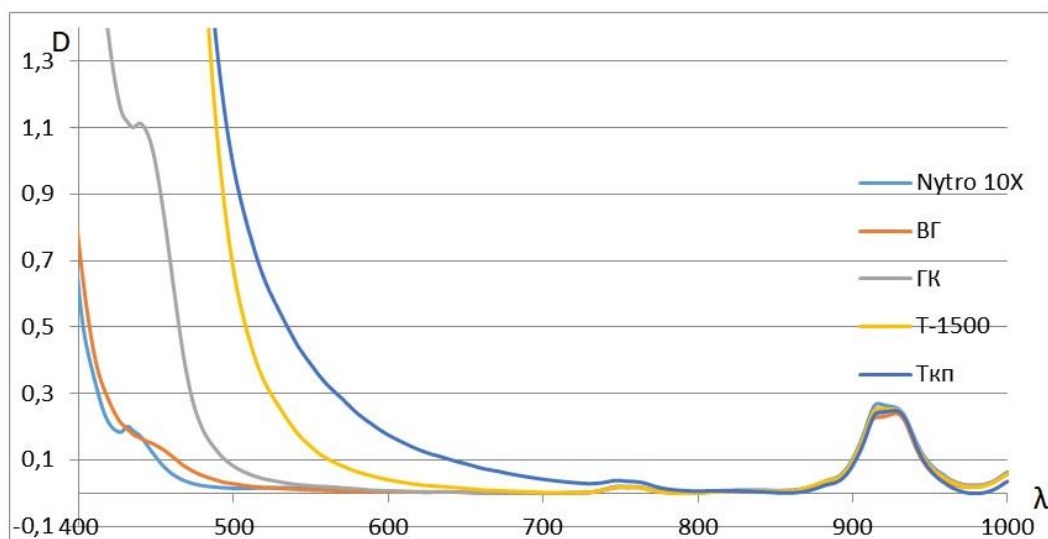


Рис. 1. Нормированные спектры оптической плотности ( $D$ ) трансформаторных масел марок Nytro 10X, ВГ, ГК, T-1500, Ткп

Далее была получена корреляционная зависимость значений оптической плотности от концентрации ароматических соединений в диапазоне 300–1000 нм (рис. 2).

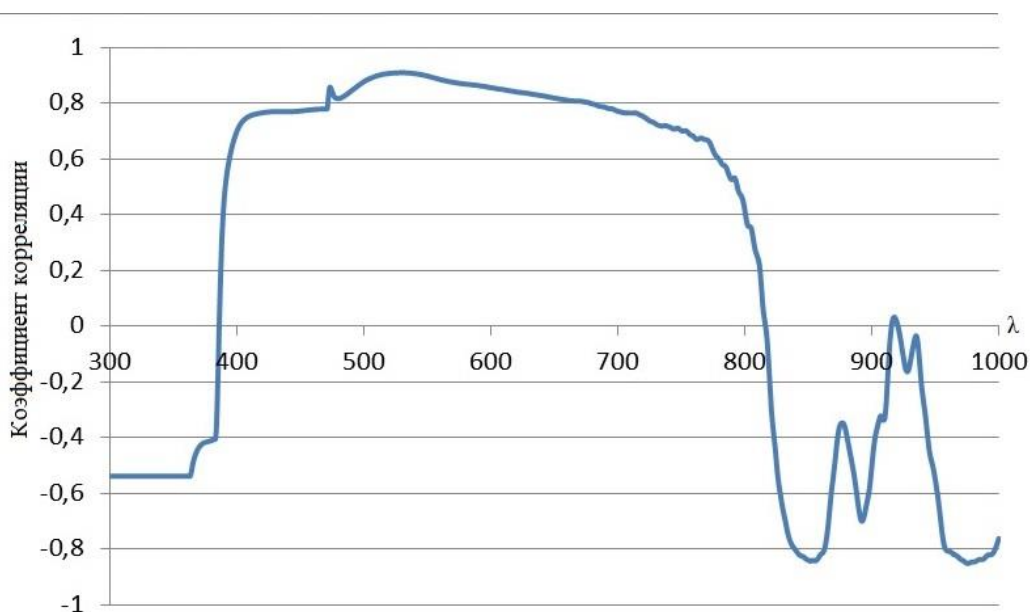


Рис. 2. Корреляционная зависимость оптической плотности от концентрации ароматических углеводородов



Можно заметить, что наибольшее значение коэффициента корреляции между данными параметрами наблюдается в области 530 нм.

Планируется на длине волны 530 нм построить линию тренда, провести линейную аппроксимацию и получить корреляционную прямую для определения количества ароматических углеводородов в трансформаторном масле.

### **Источники**

1. Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К. Особенности оптических характеристик трансформаторных масел различных марок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №11-12. С. 11-19.

2. Куракина О.Е. Контроль качества трансформаторного масла в процессе эксплуатации методами спектроскопии: дисс. ... канд. техн. наук: 05.11.13. Казань: КГЭУ, 2019. 116 с.

3. Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. Ч. 2; 5-е изд., перераб. и доп. М.: СПО ОРГРЭС, 2002. 160 с.

УДК 621.31

## **СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГИЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

М.В. Громовой<sup>1</sup>, Д.В. Лелеткин<sup>2</sup>

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

<sup>1</sup>m.gromowoy@yandex.ru, <sup>2</sup>Leletkin2000@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. С.А. Шунаев

В данной статье предлагается стратегия управления энергопотреблением для системы резервного питания, которая координирует потоки энергии между возобновляемыми источниками энергии в микросетях постоянного тока.

**Ключевые слова:** резервное питание, LiFePO<sub>4</sub> аккумулятор, микросети постоянного тока, водородный топливный элемент, возобновляемые источники энергии.

На данный момент в мире разрабатывается стратегия управления энергопотреблением для системы резервного питания, которая сможет эффективно координировать потоки энергии между возобновляемыми источниками энергии в микросетях постоянного тока. В качестве источника питания используется водородный топливный элемент, который представляет собой электрохимическое устройство, которое вырабатывает электричество посредством химической реакции между водородом и кислородом, а  $\text{LiFePO}_4$  аккумулятор используется для компенсации дисбаланса мощности.

Ископаемое топливо используется уже в течение длительного времени. Признание этого в качестве основной причины экологических проблем вынуждает искать альтернативные энергетические ресурсы. По сравнению с другими формами производства электроэнергии, большинство возобновляемых источников энергии, таких как солнечная энергия, энергия ветра и приливов, являются более экологически чистыми. Использование возобновляемых источников энергии в микросистемах постоянного тока показано на рис. 1.

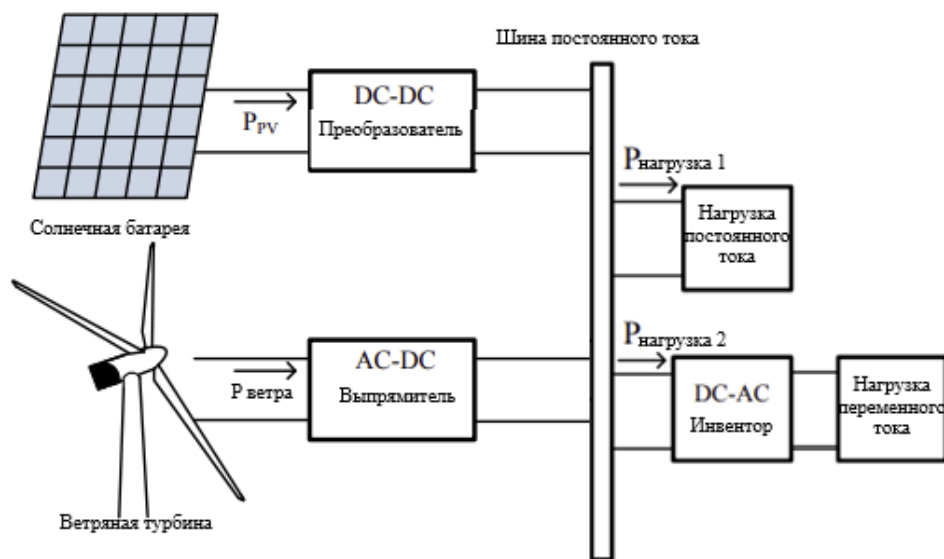


Рис. 1. Использование возобновляемых источников энергии в микросистемах постоянного тока

Нестабильные характеристики возобновляемых источников энергии могут привести к нестабильной работе сети. В связи с этим необходимо стабильное резервное питание. На рис. 2 показана структура возобновляемой генерации, которая дополняется резервным источником питания.

В последние годы водородный топливный элемент считается идеальным резервным источником питания в микросети постоянного тока из-за его стабильного питания [1]. Чтобы улучшить отклик системы топливных элементов, аккумуляторная батарея обычно взаимодействует с топливным элементом для устранения переходного дисбаланса мощности. По этой причине предлагается стратегия распределения мощности для правильной отправки команд питания как для водородных топливных элементов, так и для  $\text{LiFePO}_4$  аккумуляторных систем.

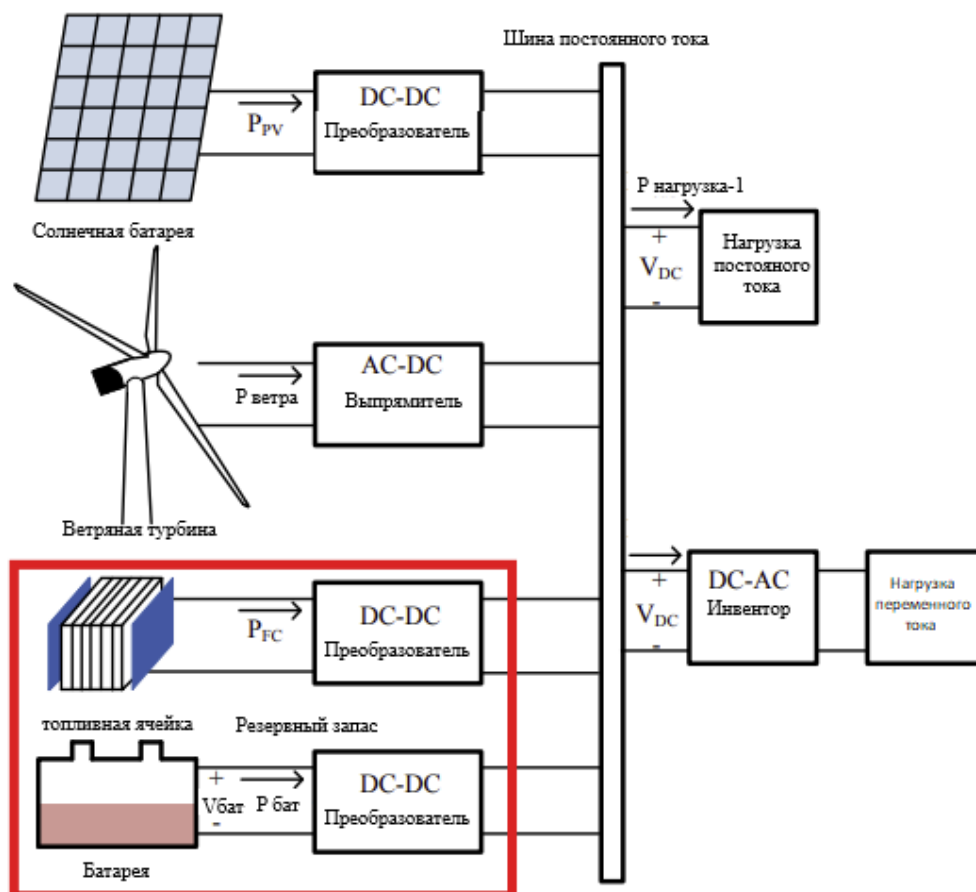


Рис. 2. Структура возобновляемой генерации

Для управления выходной мощностью водородного топливного элемента для микросети постоянного тока разработан полномостовой изолированный преобразователь тока [2]. Двухнаправленный преобразователь переменного тока в постоянный с двойным активным мостом (DAB), который является посредником для управления двухнаправленным потоком мощности для балансировки источника питания, также интегрирован в эту гибридную систему. Однако большая нагрузка может сократить время работы аккумулятора. К водородному топливному элементу применяется стратегия распределения мощности для снижения нагрузки на аккумулятор.

В то же время схема управления шиной постоянного тока также используется для управления выходной мощностью батареи для балансировки потребления. Управление гибридной системой резервного питания осуществляется с помощью связи по локальной сети контроллера (CAN) для распределенных систем выработки электроэнергии (DPGSs). Использование связи по шине CAN имеет ряд преимуществ, таких как топология с несколькими узлами, отсутствие циркулирующего тока, снижение электромагнитных помех. Источник постоянного тока и электронная нагрузка подключены параллельно к гибридной системе. Управляя источником постоянного тока в режиме управления током и изменяя значение сопротивления электронной нагрузки, он может имитировать изменение возобновляемого источника питания и нагрузок.

Для эффективного использования возобновляемых источников энергии и сбалансирования мощности между источником и нагрузкой предлагается схема управления шиной постоянного тока [3]. Когда общая генерируемая мощность превышает потребляемую, батарея накапливает энергию. В противном случае она разряжает энергию. Схема управления шиной постоянного тока балансирует мощность в режиме переключения аккумуляторной системы. Учитывая ограниченную емкость аккумуляторной системы, для поддержания SOC на должном уровне применяются режимы принудительной зарядки и принудительной разрядки [4].

1. Режим разрядки. Когда напряжение шины постоянного тока на шине постоянного тока ниже  $U_{\min}$ , преобразователь DAB переходит в режим разряда до тех пор, пока шина постоянного тока не достигнет  $U_{\max}$ . Если по какой-либо причине напряжение шины постоянного тока все еще увеличивается до значений более  $U_{\max}$ , преобразователь DAB переходит в режим покоя.

2. Режим зарядки. Когда напряжение шины постоянного тока превышает  $U_{\max}$ , преобразователь DAB переходит в режим зарядки. Далее напряжение DC-шины будет уменьшаться до тех пор, пока не достигнет  $U_{\min}$ . Если по какой-либо причине напряжение шины постоянного тока все еще увеличивается до уровня ниже  $U_{\max}$ , преобразователь DAB переходит в режим покоя.

3. Режим покоя. Когда напряжение шины постоянного тока превышает  $U_{\max}$  или ниже  $U_{\min}$ , аккумуляторная система переходит в режим покоя. В этом режиме DAB-конвертер не активен. Когда общая генерация больше (меньше), чем потребляемая нагрузка, а шина постоянного тока выше, чем  $U_{\max}$  (ниже  $U_{\min}$ ), аккумуляторная система переходит в режим зарядки (разрядки). Режим покоя – это буфер, предотвращающий скачкообразное переключение аккумуляторной системы между режимом зарядки и разрядки.

4. Режим принудительной разрядки. Когда напряжение аккумуляторной батареи  $U_{\text{бат}}$  превышает  $U_{\min}$ , преобразователь DAB переключается из режима зарядки в режим покоя. Однако, если напряжение шины постоянного тока ниже  $U_{\max}$ , аккумуляторная система переходит из режима покоя в режим принудительной разрядки.

5. Режим принудительной зарядки. Когда напряжение батареи  $U_{\text{бат}}$  ниже  $U_{\min}$ , аккумуляторная система переключается из режима разряда в режим покоя. Если напряжение шины постоянного тока одновременно превышает  $U_{\max}$ , батарея система переходит из режима покоя в режим принудительной зарядки. Это делается для предотвращения падения напряжения на шине постоянного тока и аккумуляторе.

В качестве запоминающего устройства используются  $\text{LiFePO}_4$  аккумуляторы. Для предотвращения чрезмерной зарядки и разрядки аккумуляторной батареи реализована схема регулирования SOC.

По сравнению с другими формами производства электроэнергии, большинство возобновляемых источников энергии трудно обеспечить стабильной энергией, даже несмотря на то, что они более устойчивы и безвредны для окружающей среды. Для решения проблемы нестабильного питания предлагается гибридная система резервного питания. Время работы аккумулятора может быть уменьшено из-за частого переключения между операциями зарядки и разрядки. По этой причине предлагается стратегия распределения мощности для установки выходной мощности водородного топливного элемента для снижения нагрузки на аккумулятор. Кроме того, схема управления шиной постоянного тока используется для управления батарейным блоком для балансировки генерации. Водородный топливный элемент интегрирован в  $\text{LiFePO}_4$  батарея. Экспериментальные результаты подтверждают эффективность контроля и стратегии управления энергопотреблением.

## Источники

1. Bagotsky V.S. Fuel Cells: Problems and Solutions. NJ: Wiley., 2009. 320 с.
2. Andreenkov E., Shunaev S., Hajrullo S.A. Prospect of using solar power generation in territory of Tajikistan / E. Andreenkov, S. Shunaev, A.H. Hajrullo // International Conference On Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, Icieam. 2019. Sochi, 25–29 марта 2019 г.
3. Andreenkov E., Shunaev S., Solopov R. The development a power source based on RES, for autonomous systems of technical means of protection (SCOPUS) // International Multi-Conference On Industrial Engineering and Modern Technologies, Fareastcon. 2018. Vladivostok, 03–04 октября 2018 г.
4. Андреенков Е.С., Шунаев С.А. Разработка источника электроэнергии для автономных систем технических средств охраны на базе возобновляемого источника энергии // Научные Инновационные Технологии и Экологическая Безопасность в Энергетике. Волжский, 15–17 мая 2018 г. С. 6-12.

УДК 621.316

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

П.А. Зудкин

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

pashazuda@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.А. Наволочный

Применение возобновляемых источников энергии в рамках современной энергетической политики значительно возросло во всем мире, чтобы реагировать на растущее потребление энергии и снизить воздействие производства электроэнергии на окружающую среду. Невысокий уровень распространения распределенной генерации не создает проблем, однако в будущем массовый рост внедрения местной электроэнергии может привести к новым проблемам связанных с надежностью и качеством электроснабжения. В данной статье осуществлена оценка влияния распределенной генерации на электрические сети.

**Ключевые слова:** распределительные сети, распределенная генерация, возобновляемые источники, надежность, качество электроснабжения.

Поначалу из-за низкого уровня проникновения, распределенная генерация может не вызывать проблем у операторов систем передачи и распределения электроэнергии (ОСПиРЭ), но дальнейшее массовое увеличение местной генерации может стать проблемой для ОСПиРЭ, вынужденных интегрировать новые источники энергии без ущерба для надежности и качества электроэнергии. Установки распределительные сети могут влиять на качество электроэнергии для других потребителей, подключенных к той же сети из-за таких причин как [1]: нестабильность напряжения (медленные или быстрые колебания), дисбаланс напряжения, колебания частоты, гармоник и интергармоник, доступность сети и нагрузки, поток реактивной мощности и т.д.

Согласно этой концепции, электроэнергия вырабатывается в небольших по объему установках, расположенных в большинстве случаев вблизи потребителей и подключенных к сетям среднего или низкого напряжения. Это представляет собой переход от пассивных распределительных сетей к активным распределительным сетям.

Ниже рассмотрены некоторые аспекты, влияющие на работу активных распределительных сетей низкого напряжения [2]:

а) изменение направления потока электроэнергии в сети. В активных распределительных сетях часть потребности в энергии покрывается классическими электростанциями, а остальное производится вблизи потребителей. Если местная генерация превысит потребление, энергия начнет циркулировать в направлении более высоких уровней напряжения;

б) качество электроэнергии. Установки распределенной генерации могут влиять на качество электроэнергии для других пользователей, подключенных к той же сети. Основные проблемы связаны со стабильностью напряжения, дисбалансом напряжения, колебаниями частоты, гармониками и интергармониками, доступностью сети и нагрузкой, потоком реактивной мощности и т.д.;

в) координация защиты [3]. В обычных распределительных сетях используется относительно простая система защиты, основанная на однонаправленном протекании тока мощности и тока повреждения. Распределенная генерация может изменить эту ситуацию, поскольку электрическая мощность и токи повреждения могут быть двунаправленными или иметь, по крайней мере, измененные амплитуды. Существует четыре категории проблем защиты:

– чувствительность: неспособность обнаружить дефекты или несвоевременное срабатывание. Это аспекты, которые могут привести к распространению дефектов или повреждений, а именно: нестабильность сети и срабатывание генераторных установок, подключенных к другим линиям сети;

– селективность: неправильное срабатывание некоторых линий питания распределенной генерации при возникновении неисправности в другом участке сети;

– автоматическое отключение: нарушения в последовательности автоматического отключения могут привести к увеличению частоты перерывов в электроснабжении для некоторых потребителей, а также к повреждениям генерирующих агрегатов;

– изоляция: любая непреднамеренная изоляция должна быть предотвращена, для обеспечения безопасности сети и качества электроэнергии;

г) стабильность сети подразумевает вклад агрегатов распределенной генерации в уровень стабильности сети, а также возможность функционирования в пределах дефекта генерирующего агрегата.

Текущая энергетическая политика и технические разработки ведут к значительному росту распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Интеграция распределенной генерации в сети общего пользования важна, поскольку они снижают воздействие на окружающую среду и позволяют внедрять ВИЭ в распределительные сети.

Использование установок распределенной генерации представляет собой переход от пассивных распределительных сетей к активным распределительным сетям. Низкий уровень проникновения не представляет проблемы для ОСПиРЭ, но массовое увеличение количества распределенной генерации может повлиять на надежность и качество электроэнергии в сети. В результате проведенной оценки определены главные недостатки более высокого уровня проникновения распределенной генерации:

– качество электроэнергии может пострадать, поскольку большинство систем распределенной генерации подключены к сети через электронные преобразователи;

– негативное влияние на работу систем защиты, существующих в электрической сети;

– увеличение потерь электроэнергии или даже изменение потока электроэнергии в сети.

### **Источники**

1. Федоров Д.В., Федорова А.С. Распределенная генерация электрической энергии: показатели качества и потери мощности // Наука и молодёжь в XXI веке: матер. 2-й Всерос. науч.-практ. конф. Омск: Омский государственный технический университет, 2016. С. 73-76.



2. Chindris M., Cziker A., Miron A. Small Distributed Renewable Energy Generation for Low Voltage Distribution Networks // Problemele energeticii regionale. 2016.

3. Zarei S.F., Parniani M. A Comprehensive Digital Protection Scheme for Low-Voltage Microgrids with Inverter-Based and Conventional Distributed Generations // IEEE Transactions on Power Delivery. 2017. Feb. Vol. 32. No. 1. Pp. 441-452.

УДК 621.3

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛЮБОМ УЗЛЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Н.И. Ибатуллин  
ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань  
niyaz810@mail.ru  
Науч. рук. ст. преп. А.В. Толмачева

В статье рассмотрены параметры надежности и качества электроснабжения. Проблемы снабжения электроэнергией современных промышленных предприятий, имеющих электроприемники первой категории и безостановочные технологические процессы. Задачи, которые могут быть частично или полностью решены с помощью суперконденсаторов.

**Ключевые слова:** электроснабжение, качество, надежность, суперконденсатор, электроприемник, электротехнология, энергосистема.

Основным параметром надежности электроснабжения является его непрерывность. Статистика учитывает перерывы более 300 мс, но на практике перерывов менее 25 мс в несколько раз больше. Чтобы устранить их, рекомендуется использовать источники бесперебойного питания различных типов [1].

Еще одним важным параметром качества питания является стабильность напряжения. Проблема поддержания его на должном уровне в каждом узле энергосистемы остается актуальной и сегодня.

Поставляя современным промышленным предприятиям первоклассную электроэнергию и непрерывные технологические процессы (в области добычи нефти и транспортировки нефти и нефтепродуктов, в химической, горнодобывающей и обрабатывающей *moderna*, в металлургии, бумажной промышленности и многих других), возникает общая проблема. Она заключается в том, что для таких предприятий отключение электроэнергии на несколько секунд или даже десятых долей секунды приводит к нарушению непрерывного технологического процесса и остановке производства, что означает, в лучшем случае, длительный (на часы) перерыв в работе предприятия, в худшем случае, происходит повреждение оборудования, возникает угроза окружающей среде и т.д.

В то же время кратковременные нарушения электроснабжения (КНЭ) в электрических сетях – короткие замыкания (КЗ), ликвидируемые защитами с восстановлением питания действием АПВ или АВР, – являются неизбежным атрибутом их работы и защитить электрическую сеть так, чтобы в ней вообще не возникали КЗ, практически невозможно.

Стабильность напряжения питания может быть понята только в ограниченном смысле. Таким образом, ни одно из существующих технических решений не способно гарантировать гарантированный нормальный уровень натяжения силовых шин. В общем, обеспечение электроснабжения можно понимать только как более или менее большую независимость напряжения на рассматриваемых шинах от операций, происходящих в электросети. В идеале гарантированная энергетическая шина должна быть полностью защищена от внешних помех.

Известно [2], что уровень напряжения в каждом узле энергосистемы постоянно меняется в зависимости от изменения нагрузки и конструкции сети. Значение уровня является одним из показателей качества электроэнергии, которые стандартизированы по ГОСТ 13109-87. После этого напряжение в сетях до 1 кВ в нормальном режиме не должно превышать допустимых значений (в сетях 6–10 кВ в нормальном режиме этот показатель не стандартизирован). В аварийном режиме в сетях до 1 кВ и 6–10 кВ дальнейшие отклонения не допускаются –  $U \% = \pm 10 \%$  (в сетях 35 кВ этот показатель не соответствует нормам). Допустимые отклонения напряжения, указанные в ГОСТ 13109-87, специально нормированы для нагрузок, для электродвигателей (высокого и низкого напряжения), осветительных, электротехнических, работающих всегда при напряжениях до 10 кВ. Помимо предельных значений, указанных в ГОСТ 13109-87, существует ограничение на максимальное рабочее напряжение устройства. Это ограничение продиктовано надежностью изоляции электроустановок, поскольку увеличение напряжения, превышающее наивысшее рабочее напряжение, вызывает ускоренное старение изоляции и ее выход из строя.

Значения высокого рабочего напряжения нормируются в ГОСТ 721-77, т. При повышении номинального напряжения в электроустановках допустимые значения напряжения снижаются с +20 до +5 %. Вероятно, это связано с тем, что затраты на изоляцию в высоковольтных установках составляют значительную часть стоимости оборудования, поэтому конструкция оборудования призвана минимизировать затраты на изоляцию и выполнять ее в нормальных условиях. Условия эксплуатации, близкие к номинальному напряжению. Следует отметить, что для высоковольтных двигателей с напряжением 6–10 кВ в сети максимальное рабочее напряжение сети должно быть не более чем на 10 % выше номинального напряжения.

Падение напряжения, допустимые в системе энергоснабжения определяются условия для устойчивости параллельной работы генераторов и устойчивость узлов нагрузки и составляют около 10–15 % в режиме после аварии.

Поэтому при изменении параметров схемы и того, как работает электрическая система, необходимо регулировать высоту напряжения техническими мерами.

Один из способов устранения противоречия между источниками и потребителями электроэнергии – включение в состав энергосистем накопителей энергии (НЭ), на основе суперконденсаторов обеспечивающих, выравнивание переменной части графика электропотребления.

Кроме того, существует ряд задач в области электроэнергетики, которые могут быть частично или полностью решены с помощью суперконденсаторов:

- увеличение пропускной способности межсистемных коммуникаций;
- стабилизация частоты и напряжения, повышение качества электроэнергии;
- повышение статической и динамической стабильности и, в конечном счете, общее повышение надежности EPS.

Причем выбор суперконденсаторов необходимо по следующим характеристикам, а именно с малым значением времени реверса и большой мощности (до 1 с), но рассчитанные на небольшую энергоемкости (до 109 Дж); рассчитанные на энергоемкость более 1014 Дж и т.д.

### Источники

1. Гурсвич Ю.Е., Фанбисович Д.Л., Хношмнская Ч.Г. О бесперебойности электроснабжения промышленных потребителей // Электричество. 1995. № 8.

2. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Иванов А.М. [и др.] Функциональные возможности накопителей электрической энергии в энергосистемах // Известия РАН. Электричество. 1983. №4.

УДК 621.315

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ СТАРЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ПО ТАНГЕНСУ УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Э.Р. Иксанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elviraiksanova@list.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.М. Валиуллина

Основным элементом электроэнергетики являются силовые трансформаторы, объемной составной частью которых является трансформаторное масло. Срок службы трансформаторов во многом зависит от химического состава и электроизоляционных свойств масла, из-за чего большое внимание уделяется контролю физико-химических показателей и эксплуатационных свойств масел. В данной работе представлены результаты исследования трансформаторных масел с определением их координат цветности по спектрам пропускания и отражения их в видимом диапазоне, также установлена связь с тангенсом угла диэлектрических потерь.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, тангенс угла диэлектрических потерь, корреляция, координаты цветности.

Трансформаторное масло – специфичный углеводородный продукт, который используется в электроэнергетике в качестве изолирующей среды в силовых и измерительных трансформаторах, выключателях и других высоковольтных устройствах [1, 2].

Тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) является показателем качества масла, который чувствителен к наличию в масле различных загрязнений. Определение  $\text{tg}\delta$  позволяет обнаружить изменения свойств масла даже при очень низких степенях загрязнения, которые невозможно определить химическими методами [3].

В данной работе для определения корреляции ( $R$ ) между координатой цветности масла и тангенсом угла диэлектрических потерь было проведено исследование нескольких образцов трансформаторных масел. Пропуская через масло три вида источника света: белый, синий, зеленый – определили координаты цветности исследуемых масел. После выявили корреляционную зависимость между координатами цветности и тангенсом угла диэлектрических потерь.

Данную зависимость можно определить по координате  $x$ , которая соответствует красному цвету (рис. 1–3).

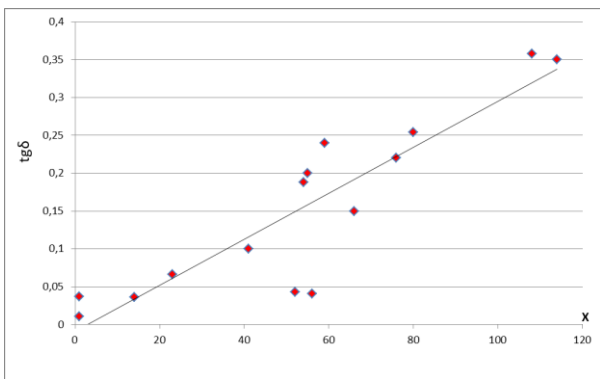


Рис. 1. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании белого цвета ( $R=0,88908$ )

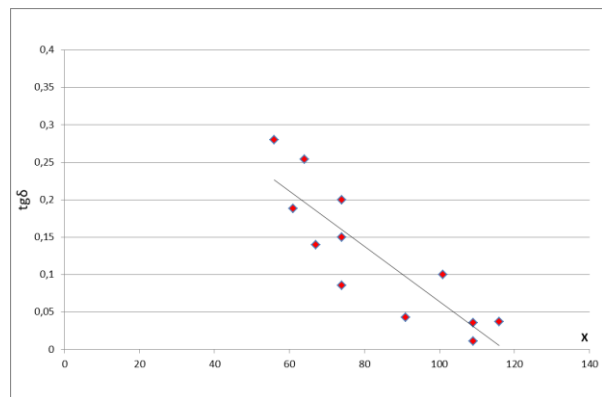


Рис. 2. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании синего цвета ( $R=-0,86852$ )

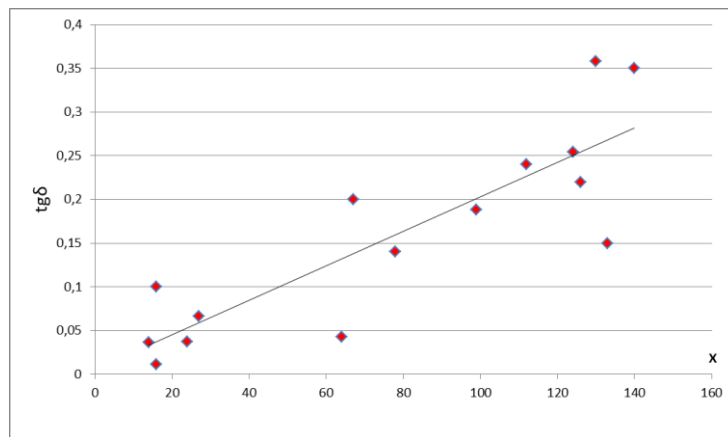


Рис. 3. Корреляционная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от координаты цветности при пропускании зеленого цвета ( $R=0,85799$ )

Как видно из графиков, наибольшая корреляционная зависимость получается при освещении трансформаторного масла белым светом. Также можно заметить, что при пропускании через трансформаторное масло белого и зеленого источников света координата цвета имеет тенденцию к возрастанию. При освещении синим цветом, возникает обратная корреляционная зависимость. Таким образом, установлена возможность определения степени старения трансформаторного масла, а именно тангенса угла диэлектрических потерь, по координатам цветности масла.

### **Источники**

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 1-2. С. 87-92. DOI:10.30724/1998-9903-2019-21-1-2-87-92.
3. Karthik R., Sree Renga Raja T. Investigations of transformer oil characteristics // IEEJ Trans Elec Electron Eng. 2012. Vol. 7. Pp. 369-374. DOI: 10.1002/tee.21742.

УДК 621.311

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ОДНОКОНТУРНОЙ RLC-СХЕМЕ**

И.И. Иркагалиева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
irkagalieva2001@mail.ru  
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Г. Хузяшев

В статье выявлены приближенные выражения для определения параметров сигнала переходного процесса в одноконтурной цепи на основе строгого решения.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, линия электропередач, аperiodический режим, колебательный режим.

При моделировании сигналов переходного процесса (СПП) в линиях электропередач (ЛЭП) применяется строгое решение, полученное в пакете PSCAD. Для визуализации механизма образования СПП используется однофазная модель ЛЭП. В трехфазных линиях схема замещения усложняется, переходя в многоконтурную. Сигнал переходного процесса становится многомодальным. Определение параметров сигналов переходного процесса становится затруднительным.

Найдем приближенные выражения для определения параметров СПП в одноконтурной цепи на основе строгого решения. Целью является его использование для нахождения параметров СПП в многоконтурной цепи.

Основными параметрами СПП являются величина максимального тока, частота свободных колебаний, длительность переднего фронта и длительность заднего фронта.

Проанализируем одноконтурную RLC-схему (рис. 1) с целью приближенного определения параметров СПП [1].

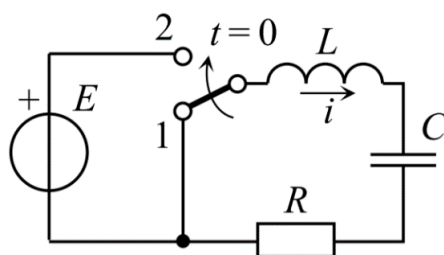


Рис. 1. Одноконтурная RLC-схема

При замыкании ключа, в зависимости от значения активного сопротивления могут возникнуть два режима: колебательный или апериодический. Апериодический режим возникает, если величина активного сопротивления превышает удвоенное волновое сопротивление контура:

$$R_{\text{крит}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Максимальное значение тока в колебательном режиме – это значение  $i(t)$  в момент времени, когда производная  $i(t)$  по времени равна нулю:

$$I_{\text{max}} = i(t)|_t = \frac{\arctg\left(\frac{\omega_{\text{св}}}{\delta}\right)}{\omega_{\text{св}}} = E\sqrt{\frac{C}{L}} e^{-\frac{\arctg\left(\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}\right)}{\sqrt{\frac{4L}{CR^2}-1}}}.$$

Максимальное значение тока в апериодическом режиме также определяется из равенства нулю производной по времени:

$$I_{\max} = i(t)|_t = \frac{\ln\left(\sqrt{\frac{\delta+\omega}{\delta-\omega}}\right)}{\omega} = \frac{E}{2L\omega} e^{-\delta \frac{\ln\left(\sqrt{\frac{\delta+\omega}{\delta-\omega}}\right)}{\omega}} \left[ \sqrt{\frac{\delta+\omega}{\delta-\omega}} - \sqrt{\frac{\delta-\omega}{\delta+\omega}} \right].$$

Рассмотрим 2 вида приближенных решений для максимальной величины тока. Первое решение вычисляется как отношение ЭДС к активному сопротивлению:

$$I_{\max} = \frac{E}{R}.$$

Второе решение вычисляется как отношение ЭДС к волновому сопротивлению:

$$I_{\max} = \frac{E}{\sqrt{\frac{L}{C}}}.$$

Результаты применения перечисленных подходов для одноконтурной RLC-схемы при изменяющемся активном сопротивлении (рис. 2) сведены в таблицу. Параметры контура:  $E = 100000$  В,  $L = 0,1$  Гн,  $C = 1$  мкФ, волновое сопротивление  $316,23$  Ом.

#### Определение величины максимального тока СПП

R, Ом	Приближенные решения		I <sub>max</sub> строгое, А	Относительная ошибка, %
	I <sub>max</sub> (1 решение), А	I <sub>max</sub> (2 решение), А		
1	100000	316,23	315,44	0,25
4	25000	316,23	313,11	0,99
8	12500	316,23	310,06	1,99
32	3125	316,23	292,79	8,01
64	1562,5	316,23	272,33	16,12
128	781,25	316,23	238,40	32,65
316,23	316,23	316,23	172,75	83,05
512	195,31	316,23	133,12	46,72
632,46	158,11	316,23	116,33	35,91
1024	97,66	316,23	81,94	19,18
8192	12,21	316,23	12,11	0,83



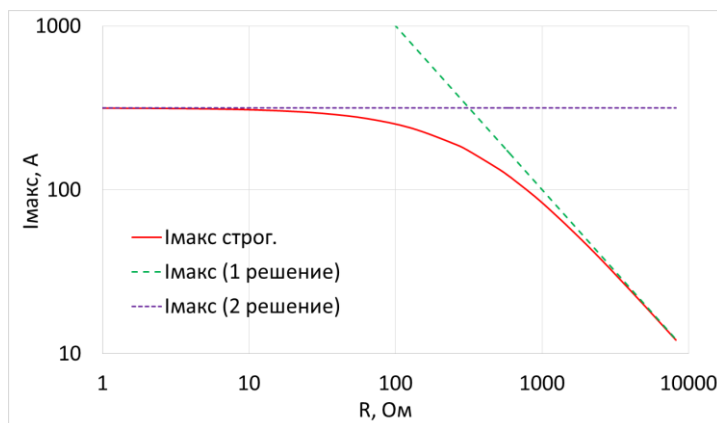


Рис. 2. Зависимость максимального тока от активного сопротивления

Из рис. 2 видно, что строгое решение асимптотически стремится к приближенным 1-му и 2-му приближенным решениям. В точке перегиба (при  $R = 316,23$  Ом), когда активное сопротивление равно волновому, максимальная относительная ошибка составляет 83,05 %.

### Источники

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В. Основы теории цепей: учебник для вузов. М.: Энергия, 1975. 148 с.

УДК 621.316

## РАСШИРЕННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

С.О. Каминский

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

wolf19980202@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.Ш. Гарифуллин

В работе рассмотрена система расширенного управления распределением электроэнергии в современных интеллектуальных энергетических сетях.

**Ключевые слова:** ADMS, сети, распределенная генерация, искусственный интеллект, хранение данных, энергетика.

Исторически сложилось так, что западные энергетические компании использовали сочетание своей системы управления отключениями (OMS) и системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA) в качестве центра операций по надежной доставке электроэнергии потребителям.

Но растущее количество распределенной генерации, электромобилей, и быстрое эволюционирование архитектуры сетей, сделали на сегодня систему управления отключениями устаревшей и не столь эффективной по сравнению с системой расширенного управления распределением (ADMS) [1].

Расширенная система управления распределением (ADMS) – это программная платформа, которая поддерживает полный набор функций управления и оптимизации распределением. Система ADMS, разрабатываемая для электроэнергетических компаний, включает в себя следующие функции:

- 1) моделирование работы и анализа распределения в реальном времени;
- 2) поиск, изоляция неисправностей, и восстановление работоспособности сети;
- 3) оптимизация вольт/вар характеристик;
- 4) анализ аварийных ситуаций в сети;
- 5) реконфигурация многоуровневых фидеров;
- 6) повторная координация релейной защиты;
- 7) предварительная подготовка восстановительных мероприятий;
- 8) координация аварийных действий и восстановительных работ;
- 9) интеллектуальная обработка аварийных сигналов [2].

Основные причины перехода с системы управления отключениями на расширенную систему управления распределением заключается в следующих факторах:

- 1) возможность размещения большего количества распределенных энергетических систем;
- 2) способность противостоять стихийным бедствиям или быстро восстанавливаться после них;
- 3) возможность дополнить устаревшие системы, которые не могут интегрироваться с новыми технологиями, и, которые больше не обслуживаются;
- 4) способность приспособиться к изменениям, которые способствуют повышению надежности и эффективности [3].

С учетом того, что принята международная дорожная карта развития распределенной генерации электроэнергии, в России также будет увеличиваться количество распределенной генерации. При этом современная концепция развития распределительных сетей, предусматривающая широкое внедрение реклоузеров, окажется неготовой работать в современных реалиях. Поэтому в России также необходимо развивать систему ADMS, начиная с пилотных проектов, а затем осуществлять масштабное внедрение в существующую сеть [4].

Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что система ADMS создана для реализации прогрессивной энергетической инфраструктуры посредством выполнения следующих долгосрочных задач:

- 1) увеличение экономической выгоды;
- 2) повышение надежности – сокращение средней длительности прерывания энергоснабжения;
- 3) расширение возможностей восстановительных мероприятий;
- 4) повышение уровня энергетической безопасности;
- 5) достижение соответствия требованиям международных стандартов о чистой электроэнергии [5].

### **Источники**

1. Drivers for Advanced Distribution Management Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.powermag.com/drivers-for-advanced-distribution-management-systems/> (дата обращения 04.03.2022).

2. Advanced Distribution Management System Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022-2027 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.imarcgroup.com/advanced-distribution-management-system-market> (дата обращения 04.03.2022).

3. Advanced Distribution Management System [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etap.com/es/solutions/advanced-distribution-management-system> (дата обращения 04.03.2022).

4. Касюк С.Т. Политика энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Европейском союзе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №9-10. С. 95-98.

5. Бирюлин В.И., Куделина Д.В., Горлов А.Н. Повышение эффективности работы солнечной электростанции // Вестник КГЭУ. 2020. № 3. С. 28-39.

## ОБЗОР УСТРОЙСТВ ОТБОРА МОЩНОСТИ С ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.И. Канев

КТИ (филиал) ФГБОУ ВО «ВолгГТУ», г. Камышин

kaneff.anton@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук О.И. Елфимова

Были рассмотрены существующие устройства отбора мощности с воздушной линии электропередачи, проведен сравнительный анализ возможных вариантов отборов мощности с линии электропередачи.

**Ключевые слова:** отборы мощности от линий, автономный источник питания, емкостной источник питания.

Воздушные линии электропередачи из-за территориальной протяженности и подверженности влиянию климатических воздействий имеют высокую аварийность. Более 50 % всех нарушений подачи электрической энергии обусловлено форс-мажорными обстоятельствами на ЛЭП. Существенного снижения случаев аварийности можно добиться при использовании автоматизированных информационных систем контроля параметров ВЛЭП. Измерительные блоки распределены вдоль трассы ЛЭП и монтируются на опорах либо непосредственно на высоковольтных проводах [1]. Разработка источников электропитания для измерительной аппаратуры имеет высокий экономический потенциал.

Для питания измерительных блоков систем мониторинга воздушных линий используются следующие виды устройств:

1. Индуктивного отбора мощности.
2. Антенный емкостный отбор энергии от линии электропередачи.
3. Питание от аккумуляторов с обеспечением подзаряда от солнечных панелей.

Устройство бесконтактного отбора мощности с индуктивной связью представляет собой трансформатора тока с замкнутой на нагрузку вторичной обмоткой [2]. Токовый трансформатор преобразует энергию непосредственно из провода ЛЭП. В качестве источника возбуждения используется токонесущий провод ЛЭП. Устройство устанавливается на верхний фазный провод первой цепи с наибольшей нагрузкой минимум по одному на пролет.

Недостаток индуктивных устройств отбора мощности является то, что при определенном минимальном значении тока в сети, отбор мощности становится невозможным. Поэтому необходим аккумулятор для обеспечения автономной работы измерительных устройств в условиях отсутствия токовой нагрузки в фазном проводе (рис. 1).

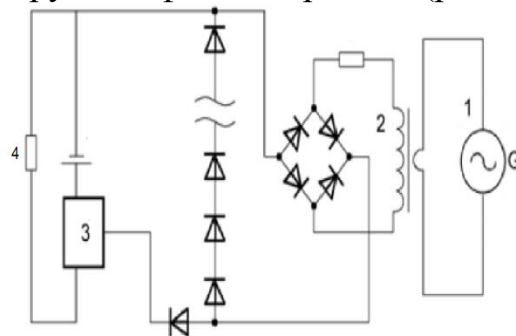


Рис. 1. Схема устройства бесконтактного отбора мощности с индуктивной связью:  
1 – источник энергии, 2 – трансформатор тока, 3 – аккумулятор, 4 – нагрузка

Сущность антенного способа отбора мощности состоит в том, что в электрическом поле проводов ЛЭП параллельно им помещается изолированный провод (антенна), в котором наводится напряжение. Воздух между проводами выполняет роль диэлектрика. Емкость такого конденсатора зависит от протяженности антенны и ВЛЭП и расстояния между ними. Напряжение с помощью трансформатора понижается до напряжения нагрузки (рис. 2). Цепь трансформатора и нагрузки работает в режиме, близком к резонансу тока. В 50-е годы прошлого века в СССР эксплуатировались устройства емкостного отбора, использующие в качестве антенны грозотрос.

Мощность, получаемая от 1 км антенны, в установках на двухцепных линиях электропередачи 110 кВ составляла 150...160 Вт и могла быть повышена расщеплением антенны [4, 5].

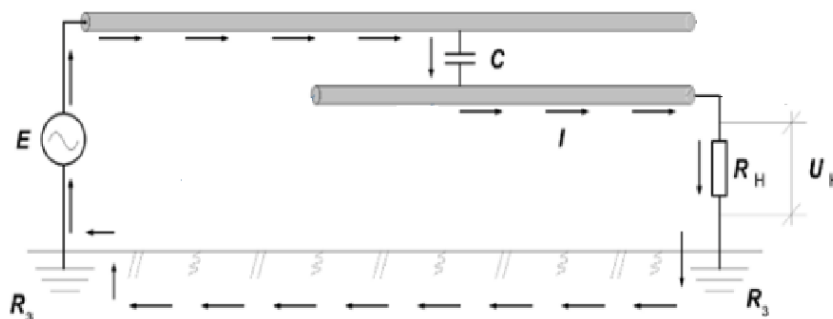


Рис. 2. Устройство антенного способа отбора мощности

Устройства емкостного отбора мощности не получили должного распространения в мире по разным причинам, прежде всего техническим. Отбираемая мощность может упасть до нуля вследствие изменения емкостного сопротивления антенны, выхода из режима резонанса тока. Также необходима разработка технических решений для реагирования устройства на изменение внешних параметров, влияющих на емкость антенны.

В дополнение к рассмотренным вариантам организации схемы питания также существует альтернативный вариант с обеспечением подзаряда аккумуляторных батарей от солнечной панели. Солнечные панели подвержены загрязнению и обледенению, поэтому необходимо предусмотреть реализацию очистки поверхности от снега и льда.

Если измерительные блоки расположены на опорах, то необходимо использовать емкостной отбор мощности с помощью проводника натянутого ниже точки подвеса проводов на нижней траверсе опор ВЛ или вариант с подзарядкой аккумуляторов от солнечной панели на теле опоры. При непосредственном размещении аппаратуры на высоковольтных проводах применяется индуктивный отбор мощности.

Наименее затратные варианты отбора мощности индуктивного типа и солнечной панелью. Наименее рискованными являются организация питания от солнечной панели и индуктивный отбор мощности устройством со стальным сердечником. На основании технико-экономического сравнения вариантов наиболее эффективным получился вариант с зарядом аккумуляторов от солнечных панелей.

### **Источники**

1. Системы мониторинга состояния воздушных ЛЭП, требования к ним, возможные реализации, практические результаты [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rusov.com/downloads/rusov\\_air\\_2013.pdf](https://rusov.com/downloads/rusov_air_2013.pdf).

2. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л. Блок питания на основе трансформатора тока с микропроцессорным управлением // Электротехника. М.: Знак, 2009. С. 28–34.

3. Булашевич Д.Н., Юренков В.Д. Емкостный отбор мощности от линий электропередачи. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 136 с.

4. Юренков В.Д. Антенный емкостный отбор энергии от линий электропередачи // Электричество. 1952. Июль. С. 32-41.

5. Бурянина Н.С., Королук Ю.Ф., Лесных Е.В., Малеева Е.И., Рожина М.А. Емкостные отборы мощности от линий электропередачи 110–220 кВ // Вестник КРСУ. 2017. Том 17. № 12.

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ПО ПРОГРАММНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА

Д.В. Купцова<sup>1</sup>, Р.Б. Абеуов<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО НИ «ТПУ», г. Томск

<sup>1</sup>dasha\_glushenko@mail.ru, <sup>2</sup>Abeuov\_rb@list.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. С.Г. Обухов

Исследуется возможность применения способа управления по программным траекториям движения технических объектов для автоматического включения резерва на объектах распределенной генерации. Оцениваются результаты моделирования процесса управления на цифровой расчетной модели.

**Ключевые слова:** автоматическое включение резерва, программная траектория движения, генератор, управление.

В последние годы Россия демонстрирует высокие темпы развития распределенной энергетики. При этом в качестве источников электрической энергии, наиболее часто, используются газопоршневые и газотурбинные электростанции, а также возобновляемые источники энергии, которые обозначаются общим термином объекты распределенной генерации (РГ) [1].

На практике объекты распределенной генерации эксплуатируются в электрических сетях напряжением 6 (10) кВ, для которых используется раздельный режим работы секций шин (рис. 1). Недостатком такого режима работы являются перерывы питания потребителей, обусловленные действием устройств автоматического включения резерва (АВР).

Наличие у потребителей собственных объектов РГ приводит к невозможности использования традиционных схем АВР, поскольку бесконтрольная работа АВР может привести к возникновению аварийных ситуаций вследствие несинхронного включения генераторов, подключенных к шинам подстанций [2].

АВР с контролем синхронизма является эффективным средством решения задачи несинхронного включения секций шин подстанций с генераторами. Принцип работы этой автоматики основан на использовании органа, контролирующего момент совпадения фаз напряжений на потерявшей питание и резервной секции шин, после чего подается команда на включение секционного выключателя.

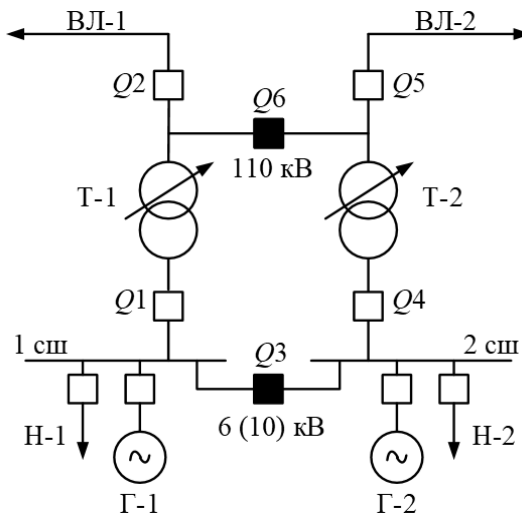


Рис. 1. Схема подстанции с объектами распределенной генерации

Поскольку ожидание совпадения фаз является недостаточно эффективным способом управления, то для АВР с контролем синхронизма предлагается использование способа управления по программным траекториям движения (ПТД), который подразумевает решение двух подзадач [3]:

1. Построение ПТД.
2. Формирование управляющих воздействий, обеспечивающих движение по ПТД.

В качестве управляемых параметров режима приняты небаланс мощностей на валу генератора  $\Delta P_y(t)$ , угол  $\delta_y(t)$  и относительная скорость  $v_y(t)$  ротора генератора с постоянной инерции  $T_j$ . Связь параметров описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\delta}_y(t) = v_y(t); \\ \dot{v}_y(t) = \frac{\omega_0}{T_j} \Delta P_y(t). \end{cases}$$

Среди преимуществ данного способа можно выделить возможность управления процессом автоматического включения резерва с высокой точностью контроля синхронизма и отсутствие необходимости в расчете времени и угла опережения.

Оценка возможности использования способа управления по ПТД для АВР с контролем синхронизма выполнялась на трехфазной модели электроэнергетической системы, фрагмент которой представлен на рис. 1.



Пример построения ПТД управляемого генератора Г-1 представлен на рис. 2.

Процесс управления автоматическим включением резерва начинается при аварийном отключении трансформатора Г-1, отделением 1СШ с генератором Г-1 от сети и снижением частоты Г-1 до значения  $f = 49$  Гц. Весь интервал управления, принят равным 7 секундам и разбит на три подынтервала.

На первом подынтервале управления  $[t_1=0 \text{ с}, t_2= 3 \text{ с}]$  происходит уменьшение кинетической энергии ротора управляемого генератора Г-1 до нулевого значения.

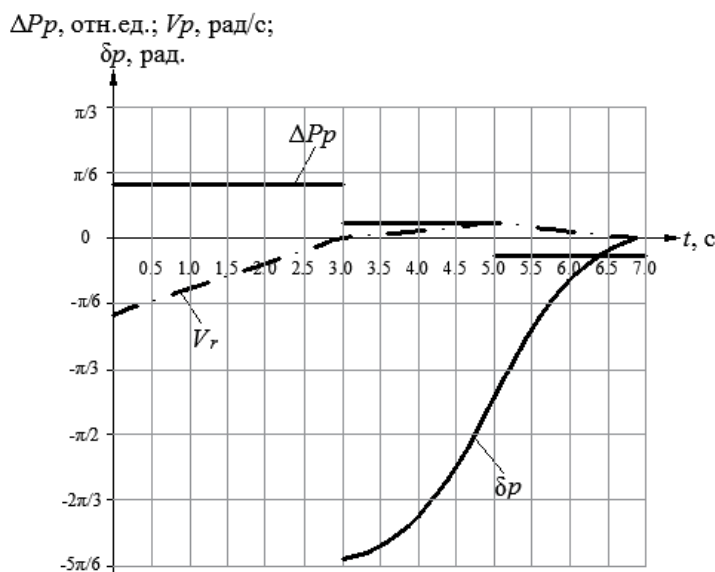


Рис. 2. Пример построения ПТД управляемого генератора Г-1

Согласно принятому закону управления, на втором  $[t_2= 3 \text{ с}, t_3= 5 \text{ с}]$  и третьем  $[t_3= 5 \text{ с}, t_7=7 \text{ с}]$  подынтервалах  $\delta_p$  генератора Г-1 снижается до нулевого значения, при этом вынужденно изменяется и  $v_p$  управляемого генератора Г-1, которая в конце управления также становится равной нулю. В момент времени  $t_7= 7 \text{ с}$ , когда вектора напряжений генератора Г-1 и сети полностью синхронизированы по частоте и углу АВР подается сигнал на включение выключателя  $Q_3$ .

На рис. 3 приведена ПТД изменения угла ротора генератора и осциллограмма изменения угла ротора генератора Г-1 в процессе управления.

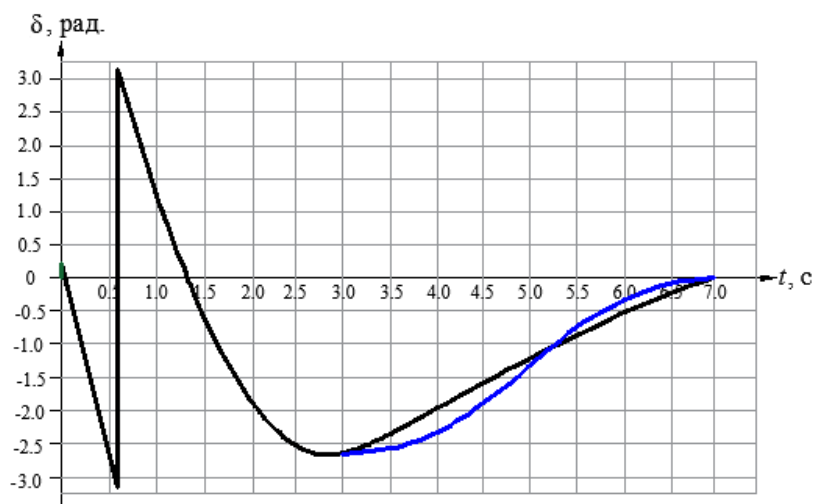


Рис. 3. ПТД изменения угла ротора генератора и осциллограмма изменения угла ротора генератора Г-1 в процессе управления (начальная частота 49 Гц)

Анализ результатов моделирования АВР с контролем синхронизма на цифровой модели энергосистемы показал:

1. Цифровая модель отрабатывает заложенный в нее закон управления, так как изменение угла ротора управляемого генератора практически полностью повторяет программную траекторию движения.

2. Процесс управления формируется с достаточной точностью и в заданное время.

3. Принцип управления по ПТД может быть принят в качестве способа управления для АВР с контролем синхронизма.

### Источники

1. Гуревич Ю.Е., Илюшин П.В. Особенности расчетов режимов в энергорайонах с распределенной генерацией: монография. Н. Новгород: НИУ РАНХиГС, 2018. 280 с.

2. Шабанов В.А., Юсупов Р.З., Алексеев В.Ю. Устройство адаптивного автоматического включения резерва на нефтеперекачивающих станциях // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2016. №2.

3. Хрущев Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. Томск: STT, 2001. 310 с.

## ОСОБЕННОСТИ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ТАРИФООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М.И. Лашманова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

marina\_lashmanovaa@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.Ш. Гарифуллин

В тезисе рассматриваются особенности формирования цен для потребителей электроэнергии, в частности для малого и среднего бизнеса, на рынке электроэнергии в России в связи с сформировавшейся политикой в данной сфере. Также приводятся предполагаемые методы для снижения платежей за электроэнергию для данного круга потребителей и проблемы их внедрения в практику.

**Ключевые слова:** рынок электроэнергии и мощности, перекрестное субсидирование, рост цен на электроэнергию.

Отрасль электроэнергетики проникает во все сферы экономики страны и обладает множеством особенностей, соответственно и область сбыта электрической энергии потребителям также имеет значительные отличия от продажи привычных для нас товаров [1].

На сегодняшний день в Российской Федерации на рынке электроэнергии и мощности сложилась двухуровневая система: оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ) и розничный рынок [2]. Следует упомянуть, что рынок электроэнергии делится на несколько зон, которые отличаются по принципу ценообразования: ценовые зоны (1 и 2 зона), неценовые зоны, технологически изолированные территориальные электроэнергетические системы. В 1 и 2 ценовых зонах продажа электроэнергии и мощности осуществляется по рыночным законам, за исключением продажи электроэнергии для бытовых потребителей [2]. В остальных зонах цены регулируются государством как и для бытовых потребителей. В данной работе рассматриваются ценовые зоны.

Большинство промышленных предприятий приобретает электроэнергию на розничном рынке у сбытовых компаний. Цена электроэнергии на розничном рынке формируется из следующих составляющих: цена покупки электроэнергии на ОРЭМ, тариф за услуги по передаче электроэнергии и мощности, сбытовая надбавка, плата за иные услуги, являющиеся неотъемлемой частью процесса поставки электроэнергии [3]. Технические параметры присоединения потребителя электроэнергии, а также характер потребления оказывают влияние на величину перечисленных составляющих цены.

Рост цен значительно ограничивает развитие предпринимательства, препятствуют расширению промышленности и неблагоприятно влияют на всё народное хозяйство страны в целом. В связи с этим снижение величины тарифов становится важнейшим фактором для повышения конкурентоспособности предприятий, и как следствие, снижение цен на продукцию.

Основной причиной высоких цен на электроэнергию для малых предприятий в России, в первую очередь, является перекрестное субсидирование [4]. Следующей причиной, которая влияет на формирование конечной цены, является оплата промышленными предприятиями и бизнесом излишних мощностей по программе ДПМ [4]. Кроме того, на увеличение тарифов также оказывает влияние вынужденная оплата строительства возобновляемых источников энергии [4].

Отдельно следует отметить слаборботающие рыночные механизмы в электроэнергетике [4]. К примеру, в условиях пандемии спрос на электроэнергию существенно снизился за счёт введения карантинных мер, но тарифы увеличились, что противоречит базовым законам рынка.

Выход на ОРЭМ является одним из самых известных способов снижения стоимости электроэнергии [5, 6]. Для малого и среднего бизнеса выходить на ОРЭМ проблематично. Так как одним из условий выхода является суммарная присоединенная мощность оборудования энергообъекта больше 20 МВА, и в каждой группе точек поставке превышающая 750 кВА. Малый и средний бизнес редко набирает мощность таких объёмов. Кроме того, необходимо учитывать высокую величину вступительных и членских взносов в Ассоциацию НП «Совет рынка», а также значительных затрат на строительство АИИС КУЭ, соответствующее требованиям ОРЭМ [7].

Также вариантом снижения платежей является строительство собственной генерации (к примеру, ГПУ или ДГУ). Но и в данном случае затраты на осуществление мероприятий могут быть очень высоки, что будет невыгодно для малых предприятий. Стоит учитывать риски, появляющиеся при изолированном питании от централизованной системы в моменты аварий на собственной генерации.

Из вышеприведенных рассуждений, можно сделать следующий вывод: предприятия малого и среднего бизнеса находятся в непростой ситуации, так как имеют наиболее высокие цены на электроэнергию и ограниченные способы для снижения своих платежей.

Один из проектов совмещения микрогенерации и централизованной системы электроснабжения был предложен в экспертно-аналитическом докладе «Активные энергетические комплексы – первый шаг к промышленным микрогридам в России» [8], но пока не внедрен в практику из-за сложности структуры энергетики России. В следствие этого развитие и разработка концепций, соответствующих особенностям рынка электроэнергетики в России, по надежному и экономически целесообразному электроснабжению малых предприятий является актуальной задачей на сегодняшний день.

### Источники

1. Система рыночных отношений в электроэнергетической отрасли [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studopedia.ru/19\\_103855\\_sistema-rinocnih-otnosheniy-v-elektroenergeticheskoy-otrasli.html](https://studopedia.ru/19_103855_sistema-rinocnih-otnosheniy-v-elektroenergeticheskoy-otrasli.html) (дата обращения 12.03.2022).

2. Кейлин И.А. Рынок электроэнергетики в России: особенности формирования, текущая оценка и перспективы развития // Образование и право. 2021. №4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-elektroenergetiki-v-rossii-osobennosti-formirovaniya-tekuschaya-otsenka-i-perspektivy-razvitiya> (дата обращения 12.03.2022).

3. Наумкин Р.Б. Ценообразование на розничном рынке электроэнергии и мощности // Вестник КузГТУ. 2014. №6 (106). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsenoobrazovanie-na-roznichnom-rynke-elektroenergii-i-moschnosti> (дата обращения 12.03.2022).

4. Почему тарифы на электроэнергию для предприятий постоянно растут [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.energo-konsultant.ru/sovets/electrosnabgenie/yuridicheskim\\_licam/cena\\_na\\_elektroenergiyu\\_dlya\\_uridicheskix\\_lic\\_i\\_pr/pochemu\\_tarify\\_na\\_elektroenergiyu\\_dlya\\_predpriyatiy\\_postoyanno\\_rastut/](https://www.energo-konsultant.ru/sovets/electrosnabgenie/yuridicheskim_licam/cena_na_elektroenergiyu_dlya_uridicheskix_lic_i_pr/pochemu_tarify_na_elektroenergiyu_dlya_predpriyatiy_postoyanno_rastut/) (дата обращения 12.03.2022).

5. Как предприятию снизить стоимость электроэнергии до 30%: пошаговая инструкция [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.energo-konsultant.ru/sovets/electrosnabgenie/yuridicheskim\\_licam/kak\\_ekonomit/kak\\_predpriyatiyu\\_snizit\\_stoimost\\_elektroenergii\\_do\\_30\\_poshagovaya\\_instrukciya/](https://www.energo-konsultant.ru/sovets/electrosnabgenie/yuridicheskim_licam/kak_ekonomit/kak_predpriyatiyu_snizit_stoimost_elektroenergii_do_30_poshagovaya_instrukciya/) (дата обращения 12.03.2022).

6. Вывод на ОРЭМ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://enholding.ru/services/orem> (дата обращения 12.03.2022).

7. Оптовый рынок электроэнергии и мощности (ОРЭМ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kes-krd.ru/spravochnaya-informatsiya/21/> (дата обращения 13.03.2022).

8. Активные энергетические комплексы – первый шаг к промышленным микрогридам в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.np-sr.ru/ru/content/50156-aktivnye-energeticheskie-kompleksy-pervyy-shag-k-promyshlennym-mikrogridam-v-rossii> (дата обращения 13.03.2022).

УДК 621.31

## РАСЧЕТ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНОЙ СЕТИ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МАТЛАБА

Льгу Куок Кьонг<sup>1</sup>, Анн Тамсир<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>lquong.nute@gmail.com, <sup>2</sup>tamsirhanne8@gmail

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. Маклецов

В трехфазных четырехпроводных распределительных сетях низкого напряжения 0,4 кВ обычно встречается асимметрия, вызванная однофазными нагрузками. Потери в распределительной сети могут изменить свойства электрической сети из-за этого дисбаланса и, конечно же, повлиять на надежность и безопасность элементов сети. Методы снижения потерь в системах распределения были в центре внимания исследований в последние десятилетия. В данной работе, прежде чем перейти к расчету потерь активной мощности, нам предстоит рассчитать напряжение узлов в 3-фазной 4-проводной электрической сети 0,4 кВ методом узловых потенциалов при поддержке программного обеспечения Matlab.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, однофазная нагрузка, несимметрия, метод узловых потенциалов, потери активной мощности.

Несимметрия трехфазного напряжения возникает, когда линейное или линейное напряжение отклоняется от номинального баланса. Несимметрия напряжения на клеммах вызывает сильную асимметрию тока в трехфазных четырехпроводных системах низкого напряжения. Это может снизить эффективность и срок службы трехфазных трансформаторов, двигателей и других нагрузок. Кроме того, могут увеличиться потери мощности в системе, поскольку в нейтральной линии будут протекать несимметричные токи. Несимметрия напряжения возникает из-за распределения больших или неравномерных однофазных нагрузок по фазам. Ниже приведен чертеж типовой 3-х фазной 4-х проводной электрической сети с типовым напряжением 0,4 кВ:

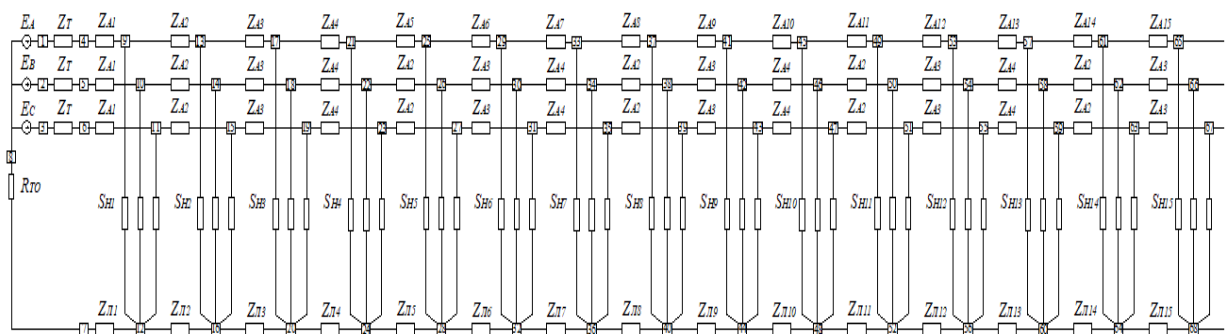


Рис. 1. Схема 4х проводной сети несимметрий

Это схема низковольтной 3-проводной 4-проводной сети 0,4 кВ со всеми нагрузками, являющимися однофазными, поэтому она фактически асимметрична, поскольку сумма нагрузок в каждой фазе А, В и С в каждый момент времени, точка несимметрична. Система уравнений записывается по методу узловых потенциалов для каждого узла на схеме (рис. 1) с 15 опорами. Для того, чтобы определить напряжение в узлах на простой схеме, мы должны сравнить его с нейтралью в катушке трансформатора в форме Y, выбираем напряжение в точке 8 равным нулю ( $V_8 = 0В$ ). Запишем уравнения по методу узловых потенциалов для узлов 9, 10 и 11 на первой опоре к узлам на последней опоре стойке, узлам 66, 67, 68 [1]. Приведенная система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + \dots + Y_{1k}V_k = I_{11} \\ Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + \dots + Y_{2k}V_k = I_{22} \\ Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + \dots + Y_{3k}V_k = I_{33} \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ Y_{k1}V_1 + Y_{k2}V_2 + Y_{k3}V_3 + \dots + Y_{kk}V_k = I_{kk} \end{cases}$$

в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & \dots & Y_{1k} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & \dots & Y_{2k} \\ Y_{31} & Y_{31} & Y_{33} & \dots & Y_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{k1} & Y_{k2} & Y_{k3} & \dots & Y_{kk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \dots \\ V_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \\ \dots \\ I_{kk} \end{bmatrix}$$

$Y \cdot V = I$ , поэтому  $V = I / Y$ .

Выше приведена приведенная матричная форма, преобразованная из системы уравнений, записанной методом узловых потенциалов по схеме электрической сети на рис. 1.

Здесь мы заносим матрицу индуктивностей  $Y$  в программу Matlab для расчета, первый параметр рассчитывается как потенциал в узлах на опорах, то есть на фазах А, В, С и нейтрали  $N$ :

Параметры электрической сети: количество опоры  $n=16$ , количество расстояний между опорами  $m=15$ , расстояние между 2 опор  $d=40$ м, для выполнения расчетов на компьютерной системе используется вычислительное программирование на Matlab R2019b, компьютер HP с 8 ГБ ОЗУ и процессором Intel(R) Core(TM) i7-7200U (2,5 ГГц).

Ввести в программу на Matlab входные параметры 3-х фазной 4-х проводной электросети напряжением 0,4 кВ со всеми параметрами таких компонентов, как трансформаторы, линии и несимметричные нагрузки по разным уровням [2, 3]. Результатом расчета на рис. 2 являются потенциалы узлов на каждой опоре.

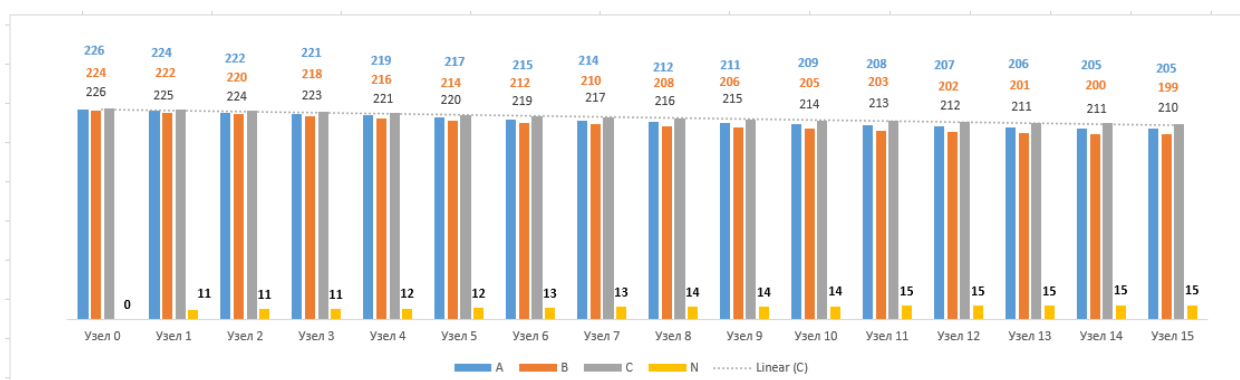


Рис. 2. Напряжение узлов при несимметричной нагрузке 30 %

Для электрических сетей с 30 % несимметричными значениями нагрузки падение напряжения в узлах на опорах, наиболее удаленных от номинального напряжения в фазах А, В и С, составляет 15В; 21В; 10В соответственно, то есть напряжение падает на 7; 9,5; 5 % от номинального напряжения, и при этом резко возрастает смещение нейтрали по сравнению с вышестоящими 15 В.

Анализ результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

Когда несимметричное смещение нагрузки превышает 10–30 %, а нагрузки имеют коэффициент мощности  $\cos\varphi = 90$  %, напряжение на конечных узлах питания уменьшается с увеличением величины.



При несимметричной нагрузке с несимметрией 30 % напряжение на конечной шине в фазе В составляет всего 199 В, этот показатель регламентируется ГОСТ-32144-2013 [4], т.е. падение напряжения в узле на концевой скобе должно быть меньше или равно 10 % от номинального напряжения.

### Источники

1. Лыкин А.В. Распределительные электрические сети. Новосибирск: НГТУ, 2018.
2. Graham I., Britton N. Matlab manual and introductory tutorials. University of Bath. 2005. Feb. 9.
3. MATLAB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/matlab> (дата обращения 12.03.22).
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014.

УДК 621.311.25

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕВЕРА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Н.П. Местников<sup>1</sup>, А.М-Н. Альзаккар<sup>2</sup>, П.Ф. Васильев<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», г. Якутск

<sup>1,3</sup>ФГБУН ФИЦ «ИФТПС СО РАН им. В.П. Ларионова», г. Якутск

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>sakhacase@bk.ru, <sup>2</sup>ahmadalzakkar86@gmail.com, <sup>3</sup>kb-8@mail.ru

Статья посвящена вопросам изучения функционирования гибридной системы электроснабжения с фотоэлектрическими установками в условиях климатических особенностей Севера. Применен метод оценки влияния климатических особенностей на работу гибридной системы электроснабжения с фотоэлектрическими панелями с выведением результатов оценки работы системы. Определено, что в случае применения системы накопления энергии внутри гибридной системы электроснабжения возможно влияние климатических особенностей Севера на коэффициент отдачи аккумуляторных батарей. Полученные результаты исследований могут быть применены в моделировании функционирования гибридной системы электроснабжения, учитывающее климатические особенности Севера.

**Ключевые слова:** гибридная система электроснабжения, фотоэлектрическая установка, климатические особенности, коэффициент отдачи, Север.

Эксплуатация гибридных систем электроснабжения на территории Северо-Востока России является одним из главных направлений развития децентрализованных систем электроснабжения на территории Севера и Арктики. Известно, что в применяемых гибридных системах электроснабжения на территории Севера, как правило, применяются дизель-генераторные, газотурбинные, ветроэнергетические (вдоль морского побережья глубиной до 150 км) и фотоэлектрические установки [1].

Климат Северо-Востока России имеет резко-континентальный и холодный характер со следующими показателями: летний температурный максимум  $+40^{\circ}\text{C}$ , зимний температурных минимум  $-72^{\circ}\text{C}$ , кол-во годовых осадков до 200–300 мм и т.д. [2]. Известны климатические особенности, такие как: снеговой покров, облачность, ветровые нагрузки, высокая загрязненность воздушной среды мелкими фракциями пыли и дыма вследствие сезонных лесных пожаров и др.

В соответствии со Схемой и программой развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2020–2024 гг. и Программой инновационного развития ПАО «РусГидро» на 2020–2024 гг. с перспективой до 2029 г. планируется строительство 60 новых ветровых и солнечных электростанции в гибридном исполнении с существующими локальными системами электроснабжения [3].

В этой связи является актуальным проведение исследований по изучению влияния климатических особенностей Севера на функционирование гибридных систем электроснабжения с фотоэлектрическими установками.

На рисунке представлена общая схема функционирования гибридной системы электроснабжения с фотоэлектрическими установками.

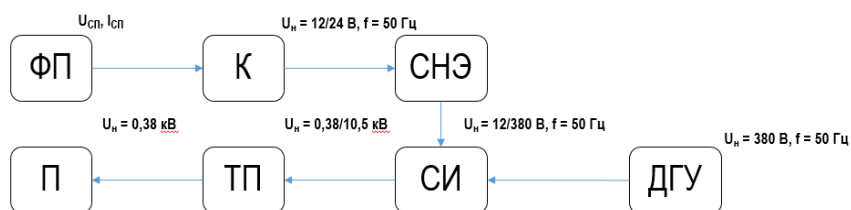


Рис. 1. Общая схема гибридной системы электроснабжения

ФП – фотоэлектрические панели; К – контроллер заряда; СНЭ – система накопления энергии; СИ – сетевой инвертор; ДГУ – дизель-генераторная установка; ТП – трансформаторная подстанция; П – потребитель.

На вышеуказанной схеме видно, что в случае отрицательного влияния климатических особенностей Севера на функционирование фотоэлектрических панелей производится снижение производства электроэнергии в условиях относительно постоянной нагрузки со стороны потребителей. Снижение генерации негативно влияет на работу СНЭ (секции аккумуляторных батарей), снижая их срок службы и коэффициент отдачи.

Нормированный показатель коэффициента отдачи составляет не менее 0,85, вычисляемый по формуле:

$$K_{\text{отдачи}} = \frac{\Sigma P_{\text{потреб}} \cdot t}{\Sigma P_{\text{генер}} \cdot t},$$

где  $K_{\text{отдачи}}$  – коэффициент отдачи, о.е.;  $P_{\text{потреб}}$  – мощность потребления электроэнергии, кВт;  $P_{\text{генер}}$  – генерирующая мощность источника, кВт;  $t$  – исследуемый промежуток времени, ч.

Вследствие влияния фракций пыли и снегового покрова, образующее поверхностное загрязнение фотоэлектрических панелей, фиксируется значительное снижение генерирующей мощности [4, 5].

В связи с этим учет влияния климатических особенностей Севера на функционирование гибридных систем электроснабжения с фотоэлектрическими установками является востребованным для проведения имитационных расчетов и процедур моделирования.

### **Источники**

1. Местников Н.П., Васильев П.Ф., Альхадж Ф.Х. Разработка гибридных систем электроснабжения для энергоснабжения удаленных потребителей в условиях Севера и Арктики // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 1. С. 47-56.

2. Васильев П.Ф., Местников Н.П. Исследование влияния резко-континентального климата Якутии на функционирование солнечных панелей // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 1. С. 57-64.

3. Местников Н.П., Бурянина Н.С., Корольок Ю.Ф., Васильев П.Ф. Исследование эксплуатации комбинированной системы электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии на Дальнем Востоке России // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 68-81.

4. Местников Н.П. Разработка способа защиты фотоэлектрических солнечных установок от поверхностного загрязнения в условиях Севера // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 4. С. 16-24.

5. Васильев П.Ф., Местников Н.П. Исследование функционирования фотоэлектрической солнечной установки в условиях лесных пожаров на территории Северной части Дальнего Востока России // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 4. С. 25-34.

УДК 621.3.06

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЛИНИИ С ОТПАЙКОЙ**

И.А. Минаев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

enhtane@gmail.com

Науч. рук. канд. физ-мат. наук, доц. Р.Г. Хузяшев

В данной работе было проведено исследование и сравнение сигналов напряжения переходного процесса, сгенерированных в модели линии электропередач с отпайкой в программной среде PSCAD.

**Ключевые слова:** переходные процессы, PSCAD, отпайка, моделирование.

Целью работы является исследование и сравнение сигналов переходного процесса (СПП), при генерации плановой коммутации (ПК) в начале модели ВЛ 10 кВ с отпайкой различной длины и различным расположением.

Генерация сигнала проводилась в модели линии электропередач в программной среде PSCAD. Модель ВЛ (рис. 1) представляла собой десять последовательно соединенных блоков однофазной линии из провода АС-95/16 длиной 10 км. Начиная с нулевого километра, были установлены вольтметры через каждые 10 км. Для ЭДС использовался источник постоянного напряжения 10 кВ с внутренним сопротивлением 1 Ом и индуктивностью 1 мГн. К основной линии также была подсоединена отпайка, состоящая из блоков однофазной линии из провода АС-95/16, в которой изменялась длина и место соединения.

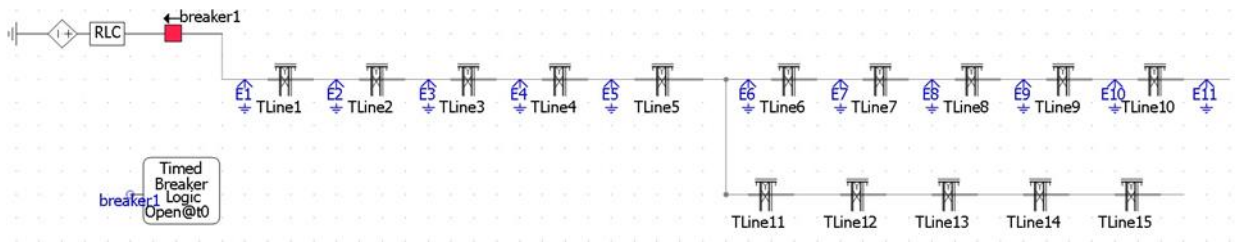


Рис. 1. Модель в PSCAD

Рассмотрим схему замещения с распределенными параметрами при плановой коммутации в программном комплексе PSCAD (рис. 2). Длина линии  $L$  составляет 100 км. Длина отпайки равна  $n$ . Отпайка присоединена на удалении  $X$  км от начала линии.

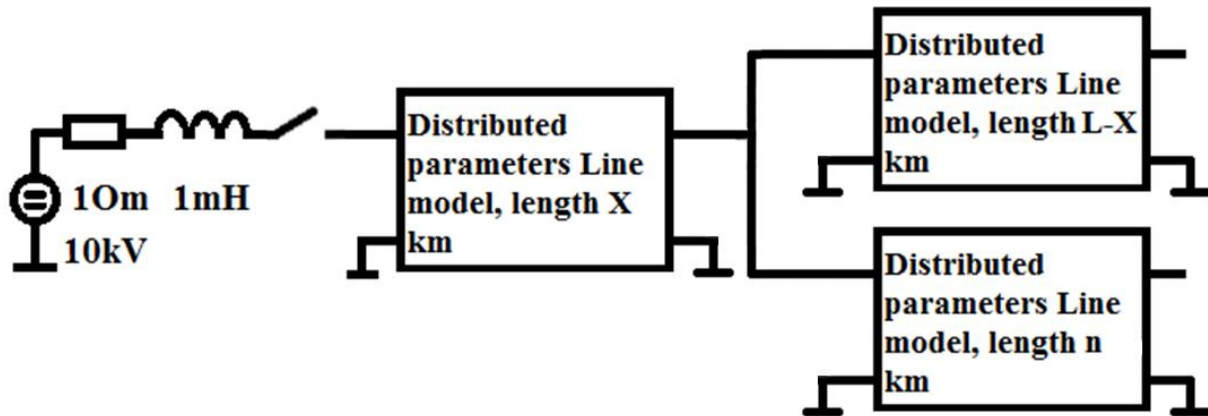


Рис. 2. Схема замещения

При ПК линии с отпайкой, происходит генерация ступени напряжения направленного от начала линии к месту соединения с отпайкой. Если в линии имеется узел с отпайкой (рис. 3), то этот узел следует рассматривать как неоднородность. Неоднородность будет иметь свое сопротивление  $r$  равное:

$$r = \frac{z_1 \cdot z_2}{z_1 + z_2},$$

где  $z_1$  - волновое сопротивление линии после отпайки,  $z_2$  - волновое сопротивление отпайки [1].

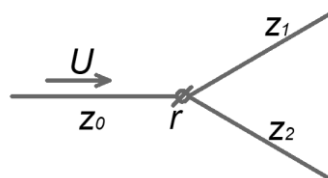


Рис. 3. Узел с отпайкой

Волна частично отразится, когда дойдет до сопротивления в виде неоднородности. Это видно на осциллограмме в виде отрицательного сигнала напряжения, бегущего к началу линии (рис. 4). При расположении отпайки на 50-м км и длине 50 км коэффициент отражения будет равен  $K = \frac{(r/2 - r)}{(r/2 + r)} = -1/3$ , что подтверждается представленной ниже осциллограммой.

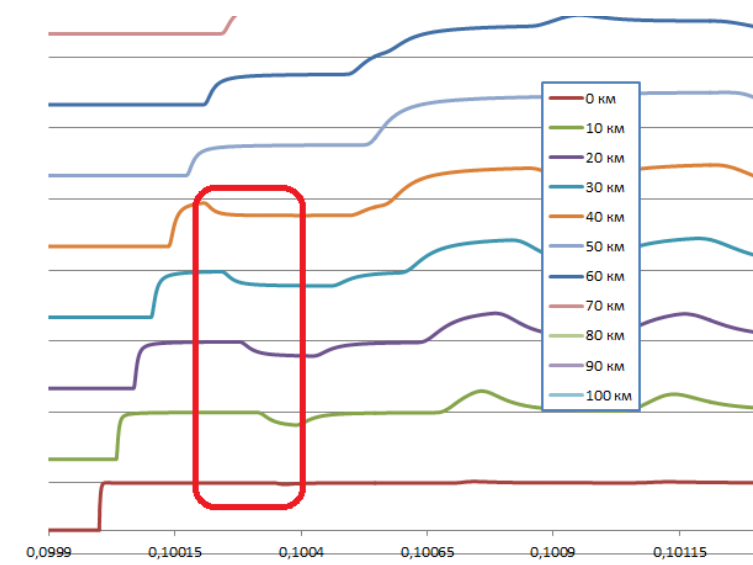


Рис. 4. Временная зависимость напряжения СПП наблюдаемых в разных точках ЛЭП при расположении отпайки длиной 50 км на 50-м км линии

В ходе работы были получены осциллограммы и построена таблица, которые показали, что по сравнению с ПК линии без отпайки период низкочастотных колебаний (НЧ) увеличился.

Период НЧ колебания и амплитуда СПП (числитель и знаменатель дроби), мкс/В

Расположение отпайки, км Длина отпайки, км	30	50	70
0	1600/19		
25	1600/23	1800/14	2000/22
50	1800/14,1	2000/10,5	2200/13
70	1900/11,7	2300/9,8	2600/10,3
90	2100/8,8	2500/7,2	2700/10,4

Период НЧ колебания увеличивается прямо пропорционально увеличению длины отпайки и приближению ее к концу линии, а амплитуда обратно пропорциональна увеличению длины отпайки. Высокочастотные модовые колебания формируются в основном лишь слева от отпайки. Они быстро затухают вследствие механизма дисперсии.

Проведённая работа позволила проанализировать влияние отпайки в линии на поведение сигналов переходного процесса. Эти данные в дальнейшем можно будет применить при разработке алгоритмов работы комплексов волнового определения места повреждения для увеличения надёжности их функционирования и увеличения информативности отображаемой информации.

### **Источники**

1. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей: учебник для вузов; 5-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.

УДК 621.315.615.2

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ**

И.М. Минегалиев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

minegaliev.1998@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.Е. Куракина

Проведены измерения оптических спектров пропускания трансформаторных масел в диапазоне 600-1150 нм. Представлен метод определения влагосодержания трансформаторного масла на основе данных спектра в ближней инфракрасной области.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, контроль качества, влагосодержание, инфракрасная спектроскопия.

Маслонаполненное электрооборудование включает в себя, такие элементы как генераторы, реакторы, силовые трансформаторы, выключатели, конденсаторы и многое другое. Наиболее дорогим и ответственным из них является силовое трансформаторное оборудование, повреждения которого влечет за собой значительный материальный ущерб, а также вероятность отключения большого количества потребителей электроэнергии [1].

Надежность работы маслонаполненного оборудования во многом определяется состоянием его изоляции. В силовом масляном трансформаторе изоляция подразделяется на два вида: внешнюю и внутреннюю. Внешней изоляцией является воздушная изоляция вне бака трансформатора. К внутренней изоляции относится изоляция, находящаяся внутри бака трансформатора, которая большую часть времени взаимодействует с изоляционным маслом.

Электроизоляционные свойства трансформаторных масел в значительной степени определяются содержанием воды, которая может присутствовать как в растворенном, так и в эмульгированном состоянии [2].

Содержание влаги в масле нормируется действующим отраслевым стандартом РД 34.45-51.300-97 [3]. Согласно данному стандарту допускается присутствие влаги порядка 10 г воды на 1 т масла. При больших концентрациях воды возникает риск выхода из строя оборудования. Поскольку величина очень мала, то существующими на сегодняшний день методами определить ее очень сложно. Поэтому разрабатываются новые и совершенствуются действующие методы определения влагосодержания [4, 5].

В данной работе предлагается метод обнаружения воды в трансформаторных маслах с различными концентрациями влаги и кислотного числа спектральным методом.

Для записи спектров использовался волоконно-оптический спектрометр AvaSpec-2048XL. Длина оптического пути (50 мм) была выбрана такой же, что и в работах [6, 7], где авторы проводили исследования в ближней инфракрасной области спектра. При такой длине оптического пути коэффициент пропускания отличен от нуля, тем самым представляется возможным произвести корректные измерения спектров пропускания. Ширина щели и спектральное разрешение были равны 1 нм.

Для исследования были отобраны шесть образцов трансформаторного масла с различными значениями влагосодержания, определенными в лаборатории: образец 1 (влагосодержание – 5,3 г/т, кислотное число – 0,035 мг/КОН); образец 2 (влагосодержание – 8,94 г/т, кислотное число – 0,064 мг/КОН); образец 3 (влагосодержание – 12,9 г/т, кислотное число – 0,016 мг/КОН); образец 4 (влагосодержание – 15,08 г/т, кислотное число – 0,073 мг/КОН); образец 5 (влагосодержание – 17,53 г/т, кислотное число – 0,057 мг/КОН); образец 6 (влагосодержание – 20,25 г/т, кислотное число – 0,12 мг/КОН); образец 7 (вода).



Для каждого образца масла, помещенного в кварцевую кювету и освещаемого узконаправленным источником света различной длины волны, были записаны спектры пропускания в интервале 600÷1150 нм. Источником освещения являлся прибор Ocean Optics LS-1. Температура окружающей среды – 20 °С.

В ближнем инфракрасном диапазоне жидкая вода имеет полосы поглощения около 1950, 1450, 1200, 970 нм [8]. В качестве подтверждения данного факта были записаны спектры пропускания воды и спирта (который присутствует в состаренных маслах и присутствие ОН-группы которого проявляется в ближнем инфракрасном диапазоне) на длине волны 600÷1150 нм с длиной оптического пути 50 мм.

Полученные спектры пропускания были пронормированы. В районе 980 нм четко проявляется полоса воды. Используя полученные данные, с помощью формулы  $D = -\lg T$  были найдены значения оптической плотности.

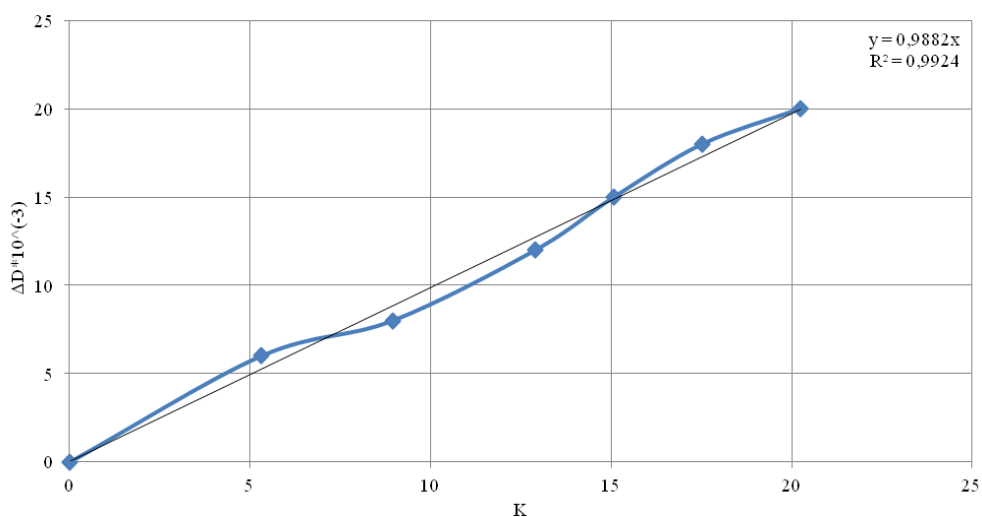
Далее согласно методу базовой линии [9] для всех образцов масла найдена разница между значениями базовой линии и линии спектра в районе длин волн 980 нм.

В таблице приведены полученные значения  $\Delta D_{\max}$  для каждого из образцов трансформаторного масла.

Зависимость значений оптической плотности от концентрации влагосодержания всех образцов

Номер образца	Влагосодержание $C$ , г/г	$\Delta D_{\max} \cdot 10^3$
1	5,3	6
2	8,94	8
3	12,9	12
4	15,08	15
5	17,53	18
6	20,25	20

Согласно данным таблицы была построена линия тренда и проведена линейная аппроксимация и получена корреляционная прямая для определения количества воды в трансформаторном масле.



Зависимость концентрации полосы воды в максимуме в районе 980 нм от оптической плотности

Данный метод позволяет с высокой точностью, без использования дополнительных реагентов и сложных вычислений при помощи полученной корреляционной прямой определить влагосодержание трансформаторного масла. Распространенность и доступность оптических спектрометров делает данный метод общедоступным.

Таким образом, установлена корреляционная зависимость между оптической плотностью трансформаторного масла в области 980 нм и концентрации воды в масле. Предложен метод определения влагосодержания трансформаторного масла для решения актуальной задачи электроэнергетики.

### Источники

1. Гарифуллин М.Ш. Контроль технического состояния маслonaполненного трансформаторного электрооборудования методами оптической спектроскопии: дис. ... д-р техн. наук: 05.11.13. Казань: КГЭУ, 2014. 290 с.
2. Golovan' G.D., Zhilyaev T.B., Panchenko A.I., Kriven'kaya V.S. Water solubility in transformer oils with various hydrocarbon compositions // Chem Tech Fuels Oil+. 1984. V. 20. Pp. 387–391.
3. Объем и нормы испытаний электрооборудования; под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца; 6-е изд., с изм. и доп. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 256 с.
4. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.

5. Силовые трансформаторы (Справочная книга); под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. 616 с.

6. Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К. Прибор для спектральных исследований изоляционных масел в диапазоне 600-1100 нм // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2001. №9-10. С. 114-116.

7. Митрофанов Г.А., Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К. Применение спектроскопии в видимой и ближней ИК-области спектра для анализа изоляционных масел // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2001. №9-10. С. 133-135.

8. Крищенко В.П. Ближняя инфракрасная спектроскопия. М.: КРОН-пресс, 1997. 638 с.

9. Коровкин М.В., Ананьева Л.Г. Инфракрасная спектроскопия карбонатных пород и минералов. Томск: ТПУ, 2017. 87 с.

УДК 621-313.3

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ SMART GRID В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Э.И. Мухамадеев<sup>1,2</sup>, А.А. Едиханов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», <sup>2</sup>ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань,

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

<sup>1</sup>muhamadeevi@energo-razvitie.ru

Науч. рук. зам. дир. ДСО АО «Сетевая Компания» С.Р. Шагеев,

канд. техн. наук, доц. Э.Ф. Хакимзянов

В статье обоснована необходимость предварительного исследования различных сценариев модернизации схемы электроснабжения отдельной территории, рассмотрены методы выбора оптимального и экономически выгодного плана развития системы электроснабжения потребителей, с помощью программного комплекса PSS Sincal. Результаты исследования показали, что предложенные варианты модернизации в сетях 6–10 кВ позволяют повысить надёжность электроснабжения потребителей и качество поставляемой электроэнергии, оптимизировать режим электроснабжения, повысить пропускную способность и уменьшить пиковую нагрузку сети.

**Ключевые слова:** моделирование систем электроснабжения, цифровой двойник, качество электрической энергии, программный комплекс, модернизация электрических сетей 6–10 кВ, PSS Sincal.

Интеллектуальная распределительная электрическая сеть (РС) в последние годы одна из самых развивающихся и востребованных технологий. Именно в России чрезмерное внимание уделяется развитию и модернизации существующей электрической сети, поскольку интеллектуальная сеть дает преимущества как для предприятий, так и для потребителей, тем самым делая ее более надежной и безопасной.

С 2016 г. на объектах пилотных участков сети внедряется система автоматического восстановления сети (САВС). САВС – высокоэффективный программно-аппаратный комплекс для определения и автоматического восстановления питания потребителей аварийных участков в сетях 6–20 кВ. САВС входит в состав комплексной системы *Smart Grid* («Умные сети») и предназначен для автоматизации и диспетчерского управления РС в нормальных и аварийных режимах. Система определяет поврежденный участок схемы, изолирует его и восстанавливает электроснабжение потребителей в течение одной минуты. В состав системы вошли контроллеры сбора информации на уровне присоединений РП/ТП, контроллеры обработки и передачи информации, а также оборудование для сбора, хранения и управления уровнем присоединения.

Для решения задач по надежности энергоснабжения, расширения сложных РС, увеличения нагрузок в перспективе, используется программный комплекс *PSS@SINCAL* (ПК). ПК является современным средством для решения ключевых вопросов надежности энергосистем, включающий комплексный анализ последствий аварийных нарушений, расчет каскадных аварий, расчеты вероятностных показателей надежности и пропускной способности, анализ устойчивости по напряжению, необходимые ресурсы реактивной мощности, а также оценку воздействия на энергосистему, анализ предельных ситуаций.

Комплексный расчет РС в ПК проводится в следующей последовательности:

- 1) расчет установившегося режима электрической сети. Задача расчета установившегося режима заключается в определении следующих параметров: токов в ветвях сети, напряжений в узлах сети, мощностей в начале и конце элемента сети, потерь электроэнергии в элементах сети. Данный расчет необходим для выбора оборудования, обеспечения надлежащего качества передаваемой и трансформируемой электроэнергии, оптимизации режимов работы электрической сети. Расчет установившегося режима проводится при условии текущей загрузки и увеличения мощности потребления в максимальном режиме на 10 % в течение пятилетнего периода времени. Расчет перспективного роста нагрузок проводится с целью выявления потенциально «узких мест» сети и выработки технических решений для их устранения;

2) расчет технологических потерь. Величины расчетного уровня технологических потерь на участках сети сравниваются с нормативными величинами [1], что определяет необходимость проведения мероприятий по снижению потерь;

3) расчет аварийных режимов электрической сети. Расчет токов симметричных и несимметричных КЗ в ПК выполняется согласно ГОСТ Р 52735/2007. ПК выполняет расчет токов ОЗЗ с учетом существующего типа заземления нейтрали путем расчета емкостного тока. На большинстве цифровых подстанций организована компенсация емкостных токов. Необходимость организации систем компенсации токов ОЗЗ на подстанциях подтверждается соответствующими расчетами;

4) расчет показателей надежности. Расчетными показателями качества услуг по передаче электрической энергии являются показатели *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index* – показатель средней продолжительности прекращений передачи электрической энергии) и *SAIFI* (*System Average Interruption Frequency Index* – показатель средней частоты прекращений передачи электрической энергии);

5) расчет координации защит. В модуле «Координация защит» ПК анализируется поведение измерительных органов терминалов защит при повреждениях в указанных точках сети. Проверка координации защит осуществляется в режиме срабатывания защит при трехфазном коротком замыкании. По результатам расчетов выявляется неселективное срабатывание терминалов релейной защиты и автоматики, вносятся необходимые корректировки в уставки защит модели распределительной сети.

На основании полученных расчетов проводится анализ параметров электрической сети и выявление «узких мест», то есть тех участков РС, где отклонение расчетных значений параметров не соответствует номинальным значениям. Далее выбирается наиболее оптимальный вариант модернизации сети, где особое внимание уделяется «узким местам», техническому состоянию оборудования объектов РС, наличию элементов автоматизации (телесигнализации и телеуправления), и предлагаются технические решения для формирования необходимого уровня автоматизации для оснащения объектов РС.

Практика внедрения автоматизации на объектах РС в Республике Татарстан показала, что благодаря внедрению *Smart Grid* наблюдается улучшение показателей надежности *SAIFI* и *SAIDI*. В таблице представлены результаты расчета показателей надежности одного из филиалов АО «Сетевая компания» по состоянию на 2020 г.

Исходя из проведенного анализа показателей надежности, наибольший индекс SAIDI выявлен в РЭС-5 и составляет 430,1 мин/год. Минимальное значение индекса SAIDI по анализируемой сети 6-10 кВ составляет 127,6 мин/год и приходится на РЭС-2.

Результаты расчета показателей надежности 2020 года

Наименование РЭС	SAIFI, откл./год	SAIDI, мин/год
РЭС-1	2,0	386,7
РЭС-2	1,3	127,6
РЭС-3	1,4	352,3
РЭС-4	2,2	298,3
РЭС-5	3,2	430,1
Среднее значение	2,0	319,0

Наибольшее значение индекса SAIFI, равное 3,2 откл./год, наблюдается в РЭС-5. Среднее значение индекса SAIFI по анализируемой сети 6–10 кВ составляет 2,0 откл./год, SAIDI – 319,0 мин/год.

Благодаря внедрению «умных сетей» в распределительной сети филиала АО «Сетевая компания» в 2021 г., в сравнении с 2020 г., наблюдается улучшение показателей надежности SAIFI на 9 %, (SAIFI – 2,2 откл/год) и SAIDI на 5,8 % (SAIDI – 338,7 мин/год).

Для реализации программы по внедрению технологии САВС на объектах электрической сети в 2020 г. были произведены работы на 146 электросетевых объектах: реконструкция распределительных пунктов (РП) – 4 шт., реконструкция трансформаторных подстанций (ТП) – 103 шт. и строительство 39 участков кабельных линий электропередачи (КЛ) 6/10 кВ общей протяженностью 18 км. По расчетным данным, в результате внедрения САВС, на данных участках сети, улучшился коэффициент надежности SAIDI на 39 % и SAIFI на 18 %.

Практика внедрения интеллектуальных электрических сетей доказала актуальность и необходимость применения технологий *Smart Grid*, где необходимость создания математической модели электрической сети играет основополагающую роль в осуществлении перехода к «умным сетям». Такой подход к развитию распределительных сетей соответствует требованиям национальной политики в сфере цифровизации энергетической отрасли Российской Федерации [2].

## Источники

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».

2. Приказ Минэнерго России от 13 января 2003 г. № 6 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей».

УДК 621.316.11

## МЕТОД РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ СРЕДНЕГО ТОКА

Нгуен Дык Хоан  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ndh.sfy@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Г. Хузяшев

В содержании статьи представлена методика расчета потерь электрической энергии в сети среднего напряжения по среднему току. Хотя потери электрической энергии исследовались и предлагались многими авторами, применение этих методов в конкретных условиях сети среднего напряжения все еще имеет недостатки. Применяя теорию статистической вероятности и основываясь на конкретных условиях энергосистемы, ниже представлен метод расчета потерь электрической энергии, чтобы удовлетворить требованиям удобства при сборе расчетных данных и обеспечить точность.

**Ключевые слова:** среднее напряжение сети, средний квадрат тока, средний ток, потери электрической энергии, отклонение тока.

В отличие от расчета конструкции сети, при расчете потерь электрической энергии в действующей сети необходимо выбрать такой метод расчета, чтобы сбор данных был простым, с высокой точностью и с учетом всех факторов энергосистемы.

Основа для расчета потерь электрической энергии на 1 участке линии среднего напряжения согласно выражению [1]:

$$\Delta W = 3r \int_0^1 i^2 dt = 3r I_{\max}^2 \tau = 3r \sum_{k=1}^n i_k^2 \Delta t_i = 3e I_{\text{cp}}^2 t, \text{ (Вт/ч)},$$

где  $r$  – активное сопротивление линии (Ом);  $I, I_{\max}$  – ток и максимальный ток передачи по линии (А);  $\tau$  – максимальное время потери мощности (ч);  $\Delta t_i$  – период времени, соответствующий значению постоянного тока  $i_i$  (ч);  $I_{\text{cp}}$  – средний ток (А).

Метод определения потерь мощности по среднему току изучался многими авторами, поэтому они могут дать точный и подходящий расчет для текущей сети [2].

$$\text{С участием } \Delta W = 3e I_{\text{cp}}^2 t, \text{ Вт/ч; где } I_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{1}{t} \int_0^t i^2 dt} = \sqrt{\frac{I_{\max}^2 \tau}{t}}.$$

Параметры  $r, t$  полностью определены, проблема в том, чтобы найти способ точно и удобно определить значение  $I_{\text{cp}}$ .

Мы можем считать, что ток нагрузки изменяется в соответствии с законом случайности и следует нормальному распределению (Гаусс) с функцией плотности вида [3]:

$$f(i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(i-i_{\text{cp}})^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < i < \infty,$$

где  $\sigma$  – стандартное отклонение (дисперсия) тока согласно статистической теории вероятностей;  $i_{\text{cp}}$  – среднее значение тока за время  $t$ .

Мы можем рассматривать  $i_{\text{cp}}$  как постоянное значение во времени [4], у нас есть:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= \frac{1}{t} \int_0^t (i - i_{\text{cp}})^2 dt = \frac{1}{t} \int_0^t i^2 dt - \frac{1}{t} \int_0^t 2i_{\text{cp}} i dt + \frac{1}{t} \int_0^t i_{\text{cp}}^2 dt = I_{\text{cp}}^2 - 2i_{\text{cp}}^2 + i_{\text{cp}}^2 = I_{\text{cp}}^2 - i_{\text{cp}}^2 \\ &\rightarrow \sigma^2 = I_{\text{cp}}^2 - i_{\text{cp}}^2 \rightarrow I_{\text{cp}}^2 = \sigma^2 + i_{\text{cp}}^2. \end{aligned}$$

Чтобы вычислить ток  $I_{\text{cp}}$ , мы должны найти способ определить значение  $\sigma^2$  и  $i_{\text{cp}}^2$  сети. Выбираем метод расчета и определяем параметры с помощью имеющихся измерительных приборов, установленных в сети среднего напряжения [5].



Благодаря методу расчета, основанному на среднем токе (определяемом счетчиками сбора, расположенными на подстанции) и времени работы сети, метод расчета становится удобным и простым. Метод исключает трудности, когда необходимо точно построить график нагрузки подстанций для расчета правильного значения максимального времени потери мощности ответвлений  $\tau_j$  и основных магистральных линий  $\tau_i$  при расчете потерь мощности.

Для удобства и простоты описанного выше метода расчета мы можем построить расчет по среднему току на главной сборной шине промежуточной подстанции (определяемому через общий счетчик, расположенный на сборной шине подстанции) и изометрическое сопротивление всей сети. Этот метод основан на среднем токе, но мы рассматриваем всю сеть среднего напряжения только с одним значением сопротивления, называемым изометрическим сопротивлением, эквивалентным реальной сети с точки зрения потерь мощности. Значение изометрического сопротивления всей сети является условным значением и определяется посредством значений, полученных от линий электропередачи и подстанций во время обследования.

### **Источники**

1. Грачева Е.И., Алимова А.Н. Возможные погрешности расчетов потерь электроэнергии в цеховых промышленных сетях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. 20(11-12). С. 81-92.

2. Карчин В.В., Сидорова В.Т., Федотов А.И. Компенсация реактивной мощности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ для улучшения качества электроэнергии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №5-6. С. 101-106.

3. Мусаев Т.А., Валеев И.М. Алгоритм оптимизации режима работы городской распределительной сети напряжением 6(10) кВ // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. №7-8. С. 128–132.

4. Валеев И.М., Нгуен Х.Д. Разработка методики расчета потерь мощности и уровня напряжения в сложных распределительных сетях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №19(1-2). С. 75-85.

5. Грачева Е.И., Шакурова З.М., Абдуллазянов Р.Э. Сравнительный анализ наиболее распространенных детерминированных методов определения потерь электроэнергии в цеховых сетях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №21(5). С. 87-96.

## СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С N УЗЛАМИ

Нгуен Дык Хоан

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ndh.sfy@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Г. Хузяшев

В данной статье представлены исследования и разработка оптимальной программы для расчета параметров распределительной энергосистемы с n узлами методом Ньютона-Рафсона на основе задачи потоков мощностей. Результаты задачи используются при проектировании, эксплуатации и управлении электрическими сетями. Результаты программы проверены для 21-узловой распределенной энергосистемы.

**Ключевые слова:** энергосистема, распределительная энергосистема, поток мощности, метод Ньютона-Рафсона, вычислительная оптимизация.

Расчет потока мощности позволит найти потери мощности в ветвях и всей сети, тем самым определив потери мощности, как основу для оценки экономико-технических критериев [1]. Расчет распределения напряжения в узлах распределительной сети позволит определить потери напряжения на ответвлениях и напряжение в узлах нагрузки. Результаты расчетов используются при проектировании и эксплуатации электросети [2]. Кроме того, расчет потока мощности также определяет распределение тока по ветвям. Ток ответвления также является важным параметром, используемым для проверки проводов и оборудования в аварийных условиях [3].

Рассматривая простую электрическую сеть с 4 узлами, применяя к узлам закон Кирхгофа 1, после преобразования мы получаем:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{Y}_{11}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{12}\dot{U}_2 + \dot{Y}_{13}\dot{U}_3 + \dot{Y}_{14}\dot{U}_4 \\ \dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{U}_2 + \dot{Y}_{23}\dot{U}_3 + \dot{Y}_{24}\dot{U}_4 \\ \dot{I}_3 = \dot{Y}_{31}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{32}\dot{U}_2 + \dot{Y}_{33}\dot{U}_3 + \dot{Y}_{34}\dot{U}_4 \\ \dot{I}_4 = \dot{Y}_{41}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{42}\dot{U}_2 + \dot{Y}_{43}\dot{U}_3 + \dot{Y}_{44}\dot{U}_4 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_3 \\ \dot{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \dot{Y}_{13} & \dot{Y}_{14} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} & \dot{Y}_{23} & \dot{Y}_{24} \\ \dot{Y}_{31} & \dot{Y}_{32} & \dot{Y}_{33} & \dot{Y}_{34} \\ \dot{Y}_{41} & \dot{Y}_{42} & \dot{Y}_{43} & \dot{Y}_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 \end{bmatrix},$$

где  $\dot{Y}_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{R_{ij} + jX_{ij}}$

В общем: если сеть имеет  $n$  узлов, система узловых уравнений имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{Y}_{11} & \dot{Y}_{12} & \cdots & \cdot & \dot{Y}_{1n} \\ \dot{Y}_{21} & \dot{Y}_{22} & \cdots & \cdot & \dot{Y}_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \dot{Y}_{n1} & \dot{Y}_{n2} & \cdots & \cdot & \dot{Y}_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \dot{U}_n \end{bmatrix}$$

или  $\dot{I}_{\text{шин}} = \dot{Y}_{\text{шин}} \cdot \dot{U}_{\text{шин}}$  (1)

Если мы знаем вектор  $I_{\text{шин}}$ , когда  $Y_{\text{шин}}$  уже присутствует, мы рассчитаем напряжение в узлах методом инверсии матрицы [4]:

$$\dot{U}_{\text{шин}} = [\dot{Y}_{\text{шин}}]^{-1} \cdot \dot{I}_{\text{шин}}. \quad (2)$$

Для энергосистемы ток  $\dot{I}_{\text{шин}}$  в (1) также является неизвестной переменной и связан с напряжением в узлах ( $\dot{S} = \dot{U} \cdot \dot{I}$ ), поэтому невозможно определить решение  $\dot{U}_{\text{шин}}$  согласно (2). Использование итерационных методов решит проблему поиска  $\dot{U}_{\text{шин}}$  решений системы [5]. Итерационный метод, который использует программа - это метод Ньютона-Рафсона.

Создание программы оптимизации для расчета системы распределения электроэнергии имеет следующие характеристики:

Входные данные программы подразделяются на два типа:

- параметры в узлах: допустимая нагрузка ( $S$ -кВА), коэффициент мощности  $\cos\phi$ , сопротивление (Ом), реактивное сопротивление (Ом), коэффициент трансформации трансформатора, потери холостого хода трансформатора (кВт, кВАр), номинальное напряжение электрической сети  $U_{\text{ном}}$  (кВ);

- параметры линии: положение начального узла, положение конечного узла ответвления, длина линии (в м), единицы сопротивления и реактивного сопротивления (Ом/км).

Это программа позволяет реализовать расчет и оптимизировать распределительную сеть энергосистемы с произвольным количеством узлов и исходными входными параметрами, результатом будут выходные параметры расчет, описанные выше. Эти результаты можно использовать для проектирования, эксплуатации и управлениями распределительными сетями. Время расчета занимает очень малый временной промежуток, что значительно может облегчить задачу сравнения вариантов на этапе проектирования.

### **Источники**

1. Шатова Ю.А., Бростилова Т.Ю. Передача и распределение электроэнергии: учеб. пособие. Пенза: Изд-во ПГУ, 2017. 97 с.
2. Горячев В.Я., Бростилова Т.Ю., Голобоков С.В., Шатова Ю.А. Электрические системы и сети. Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. 134 с.
3. Ушаков В.Я. Электроэнергетические системы и сети: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. М.: Юрайт, 2016. 446 с.
4. Медведева С.Н. Математические задачи в электроэнергетике. Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. 56 с.
5. Любченко В.Я., Родыгина С.В. Применение математического моделирования в задачах электроэнергетики: учеб. пособие. Пенза: Изд-во НГТУ, 2018. 72 с.

УДК 676.254

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Г.Ф. Нигматуллина<sup>1</sup>, Р.А. Саляхутдинов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>1</sup>fandamovna@mail.ru, <sup>2</sup>Hard\_modes@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов

В работе рассматривается изменение надмолекулярной структуры целлюлозы в зависимости от ее степени полимеризации (СП). Была изучена зависимость положения максимума в спектре отражения от СП.

**Ключевые слова:** твердая (целлюлозная) изоляция трансформатора, степень полимеризации, электронный микроскоп Carl Zeiss Auriga Crossbeam, коэффициент отражения, аморфно-кристаллическая структура целлюлозы, фибриллы.

На сегодняшний день более половины силовых трансформаторов, эксплуатируемых в электрических сетях, отработали срок службы, соответствующий нормативной документации. В условиях ограничения материально-финансовых средств энергетики переходят от регламентных профилактических работ к ремонту по фактическому состоянию трансформатора. Срок службы трансформатора, регламентированный нормативно-технической документацией, должен составлять 25–30 лет. Такой срок определяется тепловым износом витковой изоляции обмоток за указанный период. Основной причиной, способствующей выходу из строя силового трансформатора, является ухудшение жидкой и твердой (бумажной) изоляции [1]. Для того чтобы оценить состояние бумажной изоляции, согласно нормативно-технической документации, требуется проводить исследование растворенных в масле фурановых соединений. Также требуется определять степень полимеризации бумажной изоляции (СП)  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Исследование растворенных в масле фурановых соединений является неэффективным методом, поскольку фурановые соединения разлагаются под действием кислой среды и адсорбируются термосифонным фильтром. Существующие методы определения степени полимеризации бумажной изоляции относятся к химическим. Недостатком при определении состояния твердой изоляции трансформатора химическим методом является обязательный отбор проб изоляции. Чаще всего это приводит к определенному разрушению витковой или барьерной изоляции трансформатора. Кроме того, далеко не каждая лаборатория способна качественно провести подобное исследование [3].

Целью данных исследований является определение экспериментальным путем степени полимеризации бумажной изоляции силовых трансформаторов в видимой области спектра излучения.

В ходе работы выяснили, что степень полимеризации исходной (новой) изоляции должна быть не менее 1250 ед. В нормальном состоянии степень полимеризации бумаги должна находиться в пределах 600–800 ед. Если степень полимеризации бумаги снижается до значения 250 ед. и менее, то ресурс бумажной изоляции обмотки считается исчерпанным [2].

Для эксперимента подготовили 3 образца бумаги с различной степенью полимеризации 584, 410, 223 ед.

При помощи сканирующего электронного микроскопа Carl Zeiss Auriga Crossbeam изучили надмолекулярную структуру волокна (рис. 1). Наблюдаются две резко отличающиеся по скорости стадии гидролитической реакции: первая, на которой происходит гидролиз аморфных участков структуры, и вторая, со значительно более низкой скоростью, на которой реакция идет за счет расщепления гликозидных связей, находящихся на концах кристаллитов.

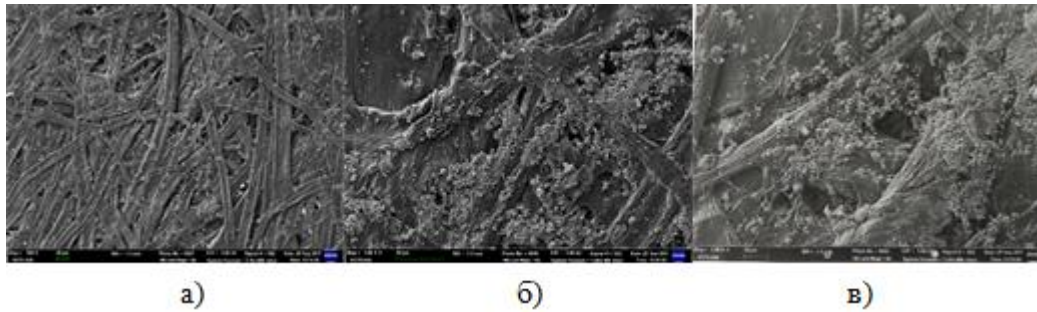


Рис. 1. Снимки СП: а) снимок исходного образца СП = 584 ед.; б) снимок промежуточного образца СП = 410 ед.; в) снимок результирующего образца СП = 223 ед.

При помощи высокочувствительного оптоволоконного спектрофотометра AvaSpec-2048XL измерили спектр отражения света от трансформаторной бумаги с различными СП (рис. 2). Как видно, на графике в спектре рассеивания проявляется максимум, который смещается в зависимости от степени полимеризации.

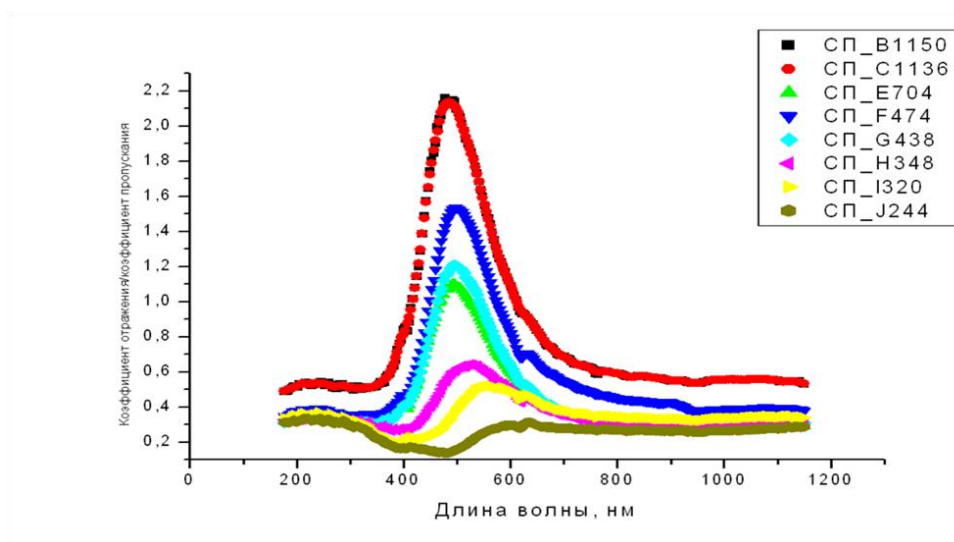


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от длины волны

При помощи результатов исследований, полученных в процессе данной работы, можно определить качество бумажной изоляции трансформатора, а именно степень полимеризации бумажной изоляции в видимой области (400–760 нм).

### Источники

1. Сабитов А.Х., Козлов В.К. Метод и устройство для контроля состояния бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов. Казань: КГЭУ, 2018. 134 с.

2. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объемы и нормы испытаний электрооборудования. ПАО «Россети», 2017. 262 с.

3. Ванин Б.В., Львов Ю.Н., Львов М.Ю., Шифрин Л.Н. Эксплуатация силовых трансформаторов при достижении предельно допустимых показателей износа изоляции обмоток // Электрические станции. 2004. № 2. С. 63-65.

УДК 621.317

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОТОКОЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ПОДВЕСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Н.С. Питерский<sup>1</sup>, Д.А. Иванов<sup>2</sup>

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

<sup>1</sup>9pitpit9@gmail.com, <sup>2</sup>dimas\_2572@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. С.А. Шунаев

В данной статье рассматривается несколько видов протоколов передачи данных, с целью определения наиболее подходящего в условиях эксплуатации непосредственно на опорах ЛЭП.

**Ключевые слова:** протоколы передачи данных, LoRa, ZigBee, XNB, ЛЭП, контроль подвесной изоляции.

В рамках разработки системы телеметрического контроля подвесной изоляции [1], в основе которой лежит идея, оснащения каждой гирлянды изоляторов собственным устройством контроля (датчиком) напряжения на емкостном сопротивлении, включенном последовательно с гирляндой, при этом данные устройства по беспроводному каналу передаются в единую сеть с центром сбора данных, где по изменению напряжения делается вывод о наличии повреждения в изоляции, одним из ключевых вопросов является задача выбора протокола передачи данных.

Телеметрический контроль подразумевает собой бесперебойный процесс снятия показаний с передатчиков, поскольку своевременное обнаружение повреждения целостности изоляторов может существенно снизить дальнейшие затраты на ремонт и обслуживание, однако осуществление перманентного контроля в условиях полей высокой напряженности, больших помех, а также быстро меняющихся погодных условий могут обеспечивать не все протоколы передачи данных.

К тому же, помимо требований к возможности работать в полях высокой напряженности и помехозащищенности, передатчики должны обладать большой скоростью, надежностью и безопасностью передачи данных, низким энергопотреблением, кроме этого предъявляется требование к высокой проникающей способности, поскольку на пути распространения сигнала может стоять городская застройка или лесополоса.

Целью данной работы является определение по вышеуказанным критериям наиболее подходящего протокола передачи данных с точки зрения характеристик, заявляемых производителем.

Из множества существующих протоколов передачи данных, специализирующихся на мониторинге данных, по мнению авторов, наиболее подходящими для сравнения являются следующие технологии:

*LoRa* (от «большого радиуса действия») – это запатентованный метод частотной модуляции маломощной глобальной сети. Он основан на методах модуляции с расширением спектра, основанных на технологии расширения спектра ЛЧМ (CSS). В свою очередь *LoRaWAN* – сетевой протокол с низким энергопотреблением, который использует на физическом уровне широкополосную модуляцию *LoRa*. Данный протокол нашел применение в интеллектуальных приборах учета, трекерах, сенсорах систем микроклимата и др.

*Zigbee* – стандарт для набора высокоуровневых протоколов связи, использующих небольшие маломощные цифровые трансиверы, основанный на стандарте *IEEE 802.15.4-2006* для беспроводных персональных сетей, таких как, например, беспроводные наушники, соединённые с мобильными телефонами посредством радиоволн коротковолнового диапазона. *ZigBee* представляет собой беспроводную ячеистую сеть, широко используемую в автоматизации зданий, освещении, умном городе, медицине и отслеживании активов.

*XNB (Extended Narrowband)* – беспроводной узкополосный *LPWAN*-протокол, разработанный командой «СТРИЖ». *XNB* разработан для обмена данными устройств на больших распределенных территориях с минимальными затратами энергии. Идеально подходит для построения беспроводных масштабных *LPWAN*-сетей. Подтвержденный радиус действия – до 10 км в условиях городской застройки и до 50 км на открытой местности. Базовую станцию «СТРИЖ» отличает высокий бюджет канала связи в 174 дБм.



*NB-IoT* – это стандарт связи для Интернета вещей (IoT), ориентированный на передачу небольших объемов данных, таких как датчики. Пропускная способность низкая при скорости исходящего потока 62,50 Кбит/с и нисходящего потока 26,15 Кбит/с, но поскольку восходящая связь быстрее, чем нисходящая, она подходит для приложений, которые регулярно загружают небольшие объемы информации, собранной датчиками. Имеющихся 200 кбит/с вполне достаточно для работы устройств, которые периодически передают небольшой объем однотипных данных. В то же время стандарт с указанным выше набором частот может использоваться для зон с большим покрытием.

Для сравнения характеристик протоколов данных сведем данные в таблицу. При этом стоит отметить, что данные взяты с официальных сайтов производителей.

Сводная таблица характеристик протоколов связи

	<i>LoRaWAN</i>	<i>ZigBee</i>	<i>СТРИЖ.XNB</i>	<i>NB-IoT</i>
Страна производитель	США	Китай	Россия	Китай
Частоты	от 863 до 870 МГц, от 902 до 928 МГц, от 779 до 787 МГц	868 МГц, 915 МГц, 2450 МГц	868,8 МГц	890-915 МГц, 935-960 МГц
Дальность	До 20 км	До 100 м	До 50 км	До 15 км
Помехозащищённость	Средняя	Высокая	Высокая	Средняя
Скорость	Невысокая	Невысокая	Средняя	Средняя
Проникающая способность	Высокая	Невысокая	Высокая	Высокая
Шифрование	Да	Да	Да	Нет
Энергоэффективность	Среднее	Низкое	Высокое	Низкое
Доступность оборудования в РФ	Доступно	Доступно	Доступно	Средней доступности

Несмотря на большую дальность и высокую проникающую способность *LoRaWAN* обладает небольшой скоростью и средней помехозащищённостью, что в условиях работы на линиях электропередачи может привести к искажению передаваемых данных, схожие характеристики имеет технология *NB-IoT*, однако кроме этого в данной технологии отсутствует шифрование и она имеет низкую энергоэффективность. Основным же недостатком технологии *ZigBee* является ее малый радиус действия и невысокая скорость передачи данных.

Исходя из данных представленных в таблице, наиболее перспективной технологией для внедрения, по мнению авторов, является технология *СТРИЖ.ХНВ*, поскольку ключевые преимущества данного протокола заключаются в наибольшей дальности, высокой энергоэффективности по сравнению с аналогами, кроме того показатели помехозащищённости и проникающей способности сопоставимы или даже несколько выше по отношению к другим технологиями.

### **Источники**

1. Андреенков Е.С., Шунаев С.А. Разработка конструкции датчика напряжения для системы диагностики подвесной изоляции линий электропередач 110 кВ // Вестник МЭИ. 2017. № 6. С. 54-59.

УДК 621.315.615.2

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ МАСЛА**

А.А. Платонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

platonovaanje@yandex.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов

В данной работе приведены значения для формирования методики определения марки трансформаторного масла, согласно колометрическому методу.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, колометрический метод.

Трансформаторным маслом заполняются баки силовых трансформаторов и реакторов, масляных выключателей, измерительные трансформаторы и вводы [1]. Масло используется в качестве изолирующей и охлаждающей среды. Для нормальной работы перечисленных устройств должна регулярно проводиться диагностика трансформаторного масла

Диагностика обусловлена способностью трансформаторного масла изменять свои электрофизические и химические свойства из-за воздействия различных факторов, возникающих во время эксплуатации. Эти изменения в свою очередь приводят к старению масла и к ухудшению ее электроизоляционных свойств, что приводит к пробоям и плохому охлаждению оборудования [2].

Чтобы проводить адекватную диагностику, нам необходимо знать марку масла. На основе RGB (Red, Green, Blue – красный, зелёный, синий) планируется разработать методику определения марки трансформаторного масла колометрическим методом.

Для достижения данной задачи были проведены исследования следующих образцов изоляционных масел (табл. 1)

Таблица 1

Образцы изоляционных масел

№	№ пробы	Марка масла	Кислотное число мг КОН/г	Дата включения в работу, год	Марка трансформатора
1	1	ГК(ВГ)	0,002	2005 г.	ТРДН-63000/110 У1
2	2	ГК(ВГ)	0,002	2005 г.	ТРДН-63000/110 У1
3	3	Т-1500	0,0069	1988 г.	ТРНДЦН- 40000/25000/110
4	5	ГК	0,001	2011 г.	ТРДН-40000/110 У1
5	6	ГК	0,001	2011 г.	ТРДН-40000/110 У1
6	8	Т-1500	0,009	1995 г.	ТДН-16000/110
7	9	ТКп	0,0014	1988 г.	ТДН-10000/110
8	10	ГК	0,007	2000 г.	ТРНДЦН- 40000/25000/110
9	11	ГК	0,006	1999 г.	ТРНДЦН- 40000/25000/110
10	12	Т-1500	0,004	1992 г.	ТДН-16000/110
11	13	ГК	0,004	2018 г.	ТДН-16000/110
12	14	Т-1500	0,002	1988 г.	ТРНДЦН-40000/110
13	15	Т-1500	0,0021	1987 г.	ТРНДЦН- 40000/25000/110
14	16	ГК	0,001	2002 г.	ТРДН-40000/110 У1
15	17	ГК	0,004	2003 г.	ТРДН-40000/110 У1
16	19	ТСп	0,003	1993 г.	АТДЦТН-125000/220

При освещении указанных в табл. 1 образцов масел белым, фиолетовым и зелёным цветом, прошедшее излучение изменяется от светло-голубого до желтого оттенка. При исследовании получены следующие RGB значения в середине прошедшего излучения (табл. 2).

Таблица 2

RGB значения в середине прошедшего излучения у образцов масел

№	№ пробы	Освещение белым цветом			Освещение фиолетовым цветом			Освещение зелёным цветом		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	1	2	94	255	0	175	253	5	103	3
2	2	1	96	220	0	155	253	47	120	1
3	3	118	126	44	26	45	51	151	180	7
4	5	1	179	254	0	161	254	38	92	4
5	6	2	206	255	0	248	238	53	105	4
6	8	106	159	100	7	48	56	185	197	6
7	9	110	165	124	2	115	161	173	198	8
8	10	119	101	1	43	57	68	206	185	8
9	11	1	151	248	1	141	254	60	113	7
10	12	1	131	162	0	130	237	130	155	6
11	13	1	221	253	3	167	254	113	141	4
12	14	114	61	25	17	22	60	167	95	0
13	15	139	88	1	16	28	81	214	143	5
14	16	1	164	253	3	248	248	84	167	4
15	17	2	196	254	1	124	255	102	138	5
16	19	0	141	200	0	103	154	116	156	1

Очень часто мы не знаем марки трансформаторного масла, однако это является важным фактором при определении качества масла, поэтому планируется сформировать методику определения марки трансформаторного масла, согласно колориметрическому методу.

### Источники

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. Козлов В.К., Валиуллина Д.М., Гарифуллин М.Ш. Аналитический обзор. Методы и средства диагностики изоляционных масел. Казань: ООО «Энергопрогресс», 2003. 144с.

## СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ш.Ф. Рахманкулов<sup>1</sup>, В.О. Садыков<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>shamil74000@mail.ru, <sup>2</sup>svo-1999@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.Ш. Гарифуллин

В тезисе предложена система диагностики неисправностей силовых трансформаторов на базе их акустических характеристик и нейронных сетей. Трансформатору присуще большое количество эмиссий акустического характера, благодаря которым можно сделать определенные выводы о состоянии электрооборудования в целом. Вибрации, которые возникают в результате работы внутренних вибрационных источников в обмотках и сердечниках, можно проанализировать на предмет возникновения частичных разрядов, локализации их местоположения и их интенсивности. Глубину девиации звуковых волн можно оценить с помощью применения нейронных сетей.

**Ключевые слова:** акустические эмиссии, нейронные сети, вибрации трансформатора.

Вибрация емкости трансформатора связана с акустическими эмиссиями трансформатора и его эксплуатационным состоянием, т.е. степенью его износа. Поэтому важно понимать, как происходит передача вибрации от внутренних вибрационных источников в обмотках и сердечниках к трансформаторному резервуару. Характеристики этой передачи определяются по особенностям соединения между внутренними конструкциями и емкостью, а также воздействие через взаимодействие жидкости и структуры, вызванное охлаждающим маслом трансформатора [1]. Передача вибрации экспериментально рассматривается в трансформаторе напряжением 110 кВ с охлаждающим маслом и без него. При соответствующем механическом и электрическом возбуждении одновременно можно измерить вибрацию внутренних конструкций и бака трансформатора, т. е. внешней части его конструкции. Полученные результаты позволяют оценить эффективность передачи вибрации от внутренних конструкций к баку, а также влияние сцепления текучей структуры на трансмиссию аудиосигналов [2].

Внутри больших масляных трансформаторов есть многослойные среды, а взаимодействие между ними и отражением/проекцией звуковых волн в среде, когда звуковая волна распространяется между различными веществами. Таким образом, требуется определить общее воздействие среднего импеданса, разницы в жесткости и средних параметров на звук распространение в общем контексте при анализе распространения звукового поля для системы в сложных условиях среды [3].

Установка датчиков соответствует следующей концепции, показанной на рис. 1.

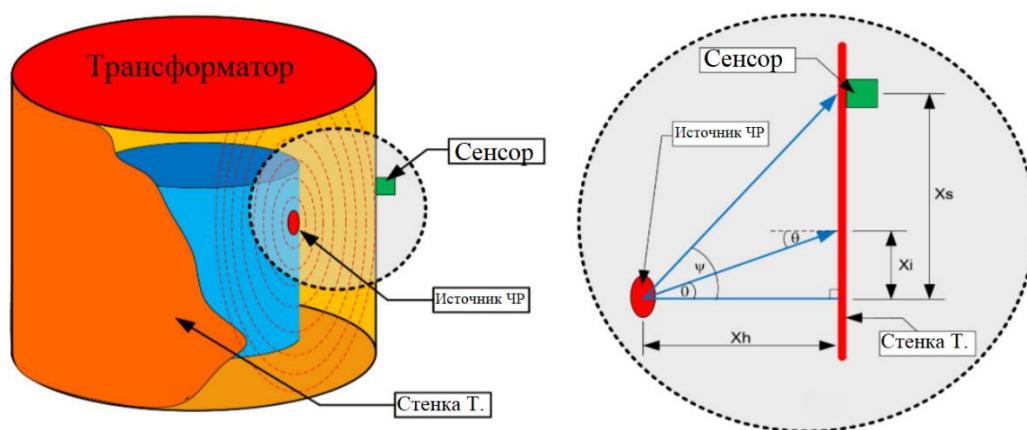


Рис. 1. Технология получения сигнала с бака трансформатора

Для более точного получения расположения аудиосигналов и локализации источника акустических эмиссий необходимо соблюдать определенную геометрию расположения датчиков для соблюдения метода триангуляции, как показано на рисунке 2 [4].

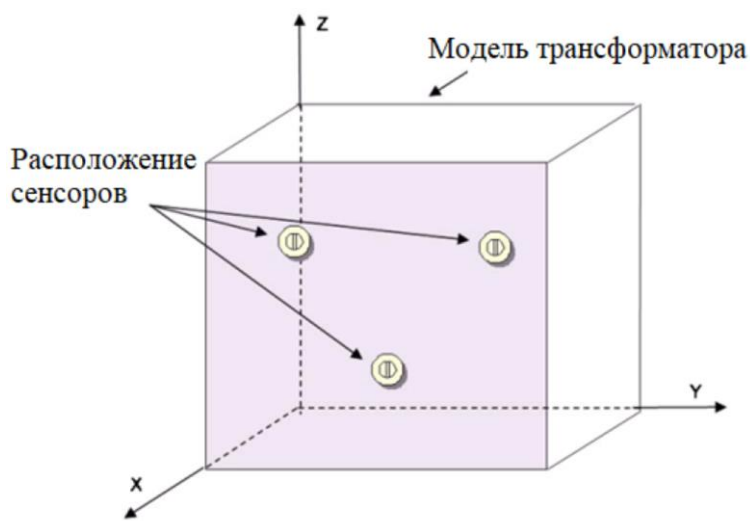


Рис. 2. Геометрия расположения датчиков на баке трансформатора

Благодаря 3-м датчикам можем составить следующие уравнения, которые описывают метод триангуляции для получения местоположения сигнала:

$$\begin{aligned}(x - x_{s1})^2 + (y - y_{s1})^2 + (z - z_{s1})^2 - (A + VS * Ta_{s1})^2 &= 0, \\(x - x_{s2})^2 + (y - y_{s2})^2 + (z - z_{s2})^2 - (A + VS * Ta_{s2})^2 &= 0, \\(x - x_{s3})^2 + (y - y_{s3})^2 + (z - z_{s3})^2 - (A + VS * Ta_{s3})^2 &= 0,\end{aligned}$$

где  $x, y, z$  – это координаты возникновения акустической аномалии, координаты с  $x_{sn}, y_{sn}, z_{sn}$  и это координаты расположения датчиков на баке трансформатора;  $V_s$  – константа, которая отвечает за среднюю скорость распространения звука в среде;  $Ta_{sn}$  – время регистрации акустической аномалии в соответствующем датчике.

Можно провести эффективную интеграцию нейронных сетей в систему акустического контроля. Задача определения аномалий решается за счет мел-кепстральных коэффициентов, которые позволяют разбить частотную характеристику звуковой волны на квадранты, которые могут отсеивать аномальные проявления. Дефрагментация, к примеру, частичных разрядов в изоляции сопровождается затухающими колебаниями порядка 5 миллисекунд [5].

### Источники

1. Guozhi, Z.; Xiaoxing, Z.; Ju, T.; Hongtu, C. Study on localization of transformer partial discharge source with planar arrangement UHF sensors based on singular value elimination // AIP Adv. 2018. №8. Pp. 105232–105243.
2. Junhyuck S., Hui M., Tapan K.S. An Improved Spatial Intersectional Method for Partial Discharge (PD) Source Localization in Power Transformer // In Proceedings of the IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials. Xi'an. China, 20–24 May 2018.
3. Plueksawan W., Apiratikul P., Fuangsoongnern U. Partial Discharge Analysis for Power Distribution Transformer Model // In Proceedings of the EECOM-31. 31st Electrical Engineering Conference, Nakornayok, Thailand, 29–31 October 2008. P. 299–302.
4. Rutgers, W.R.; Fu, Y.H. UHF PD-Detection in a Power Transformer // In Proceedings of the 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, QC, Canada, 24–30 August, 1997. Pp. 219–222.

5. Tikakosol, K.; Tanitteerapa, T.; Mungkung, N. Application of the integrated AE and HFCT sensors for online Dry-type Transformer Partial Discharge Monitoring // Prz. Elektrotech. 2021. 97. P. 105–111.

УДК 676.254

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Р.А. Саляхутдинов<sup>1</sup>, Г.Ф. Нигматуллина<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Hard\_modes@mail.ru, <sup>2</sup>fandamovna@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов

В работе рассматривается влияние влаги и масла на свойства бумажной изоляции маслонаполненного трансформатора. При помощи высокочувствительного оптоволоконного спектрофотометра был измерен спектр отражения света от трансформаторной бумаги.

**Ключевые слова:** твердая изоляция трансформатора, влагосодержание, полоса поглощения, спектрофотометр AvaSpec-2048XL, спектр отражения.

Твердая изоляция трансформатора, после утраты части своих первоначальных свойств, не всегда может быть подвергнута регенерации. Если влага из бумажной изоляции может быть устранена в процессе её сушки тем или иным образом, то утрата механических свойств бумажной изоляции не подлежит восстановлению в процессе эксплуатации. Влажность бумаги увеличивает скорость термического старения, способствует разрушению молекул целлюлозы, ухудшает механические характеристики. При содержании воды 1,5 % в изоляции начинают появляться признаки старения, и снижается электрическая прочность [1]. Процесс старения и процесс окисления изоляции становятся опасными для эксплуатации при содержании влаги в бумажной изоляции более 3,3 %. Значение содержания влаги целлюлозной изоляции эксплуатируемых трансформаторов не должно превышать 2 % по массе, а трансформаторов после капитального ремонта и трансформаторов, вновь вводимых в эксплуатацию не должно превышать 1 %. Содержание влаги твердой изоляции для эксплуатируемых трансформаторов, отработавших срок службы, установленный технической документацией, допускается до 4 % по массе, а для трансформаторов, прошедших капитальный ремонт допускается значение 2 % [2].



Целью данных исследований является определение экспериментальным путем влияния влаги и масла на свойства бумажной изоляции с целью дальнейшего определения концентрации в твердой изоляции трансформатора.

Скорость разложения бумаги, при содержании влаги в ней, увеличивается пропорционально процентному содержанию воды в бумажной изоляции. Это явление работает при содержании влаги в диапазоне 0,3–7 %. При влагосодержании 2 % старение бумаги происходит в 6–16 раз быстрее, а при 4 % происходит в 12–45 раз, чем при 0,3 % [3].

У новых трансформаторов влагосодержание изоляции составляет не более 0,5%. При эксплуатации трансформатора в зависимости от нагрузочных условий влагосодержание может увеличиться до 5 %. Срок службы трансформатора при таких условиях составляет от 25 до 30 лет, а степень полимеризации при этом не менее 360.

Для эксперимента подготовили 1 образец сухой трансформаторной бумаги и 4 образца с различной концентрацией воды 10, 15, 20, 30 %.

При помощи высокочувствительного оптоволоконного спектрофотометра AvaSpec-2048XL был измерен спектр отражения света от трансформаторной бумаги. Нашли соотношение спектра отражения сухой трансформаторной бумаги на спектры отражения трансформаторной бумаги, пропитанные водой (рис. 1). В видимой области (400–760 нм) прослеживается большой провал, объясняется тем, что вода забивается в поры между волокнами и меняется коэффициент отражения бумаги. Обнаружили на отрезках графика провалы на длине волны 980 нм, характеризующие поглощение воды. По этим отрезкам можно определить концентрацию воды.

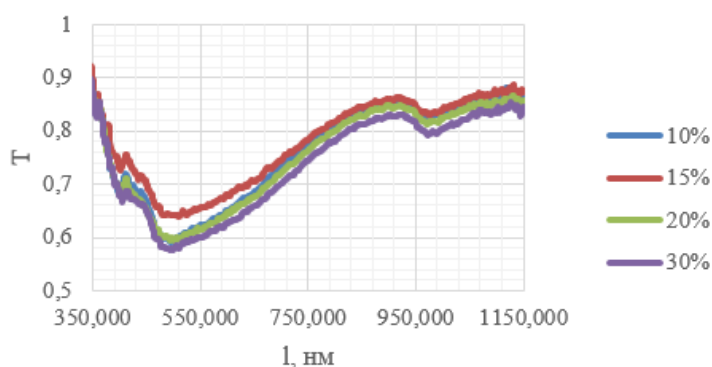


Рис. 1. Нормированные спектры отражения ( $\tau$ ) образцов трансформаторной бумаги, пропитанных водой

Подготовили образцы трансформаторной бумаги с различным содержанием воды и масла, измерили интенсивность и нашли коэффициент отражения. На графиках видно, что у образцов, пропитанных маслом, на длине волны 980 нм график не проседает (рис. 2). Значения влажности масла лежат в пределах 0,001–0,01 %.

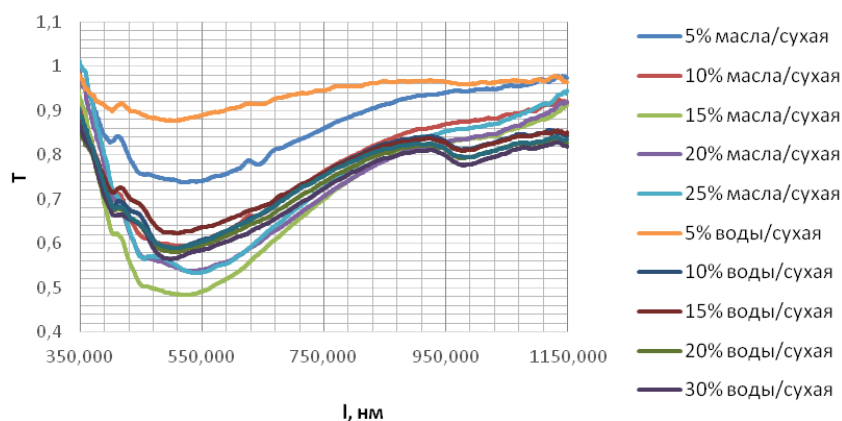


Рис. 2. Нормированные спектры отражения ( $\tau$ ) образцов трансформаторной бумаги, пропитанных водой и маслом

Провал графика на полосе поглощения воды, соответствующей 980 нм, увеличивается в зависимости от концентрации воды; по величине провала можно определить концентрацию воды в трансформаторной бумаге.

### Источники

1. Сабитов А.Х., Козлов В.К. Метод и устройство для контроля состояния бумажной изоляции маслонаполненных трансформаторов. Казань: КГЭУ, 2018. 134 с.
2. СТО 34.01-23.1-002-2019 Методические указания по отбору проб и определению влагосодержания целлюлозной изоляции маслонаполненных трансформаторов. ПАО «Россети», 2019. 49 с.
3. Басманов В.Г. Высоковольтная изоляция. Учеб. пособие для вузов. Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. 155 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ РАСЩЕПЛЕННЫХ ФАЗНЫХ ПРОВОДОВ В ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Р.Е. Саттаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dotov291299@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Максимов

В статье рассмотрены преимущества применения расщепленных фазных проводов в линиях сверхвысокого напряжения, выявлены экономические недостатки.

**Ключевые слова:** линия электропередач, коронный разряд, расщепление проводов.

Линии сверхвысокого напряжения являются системообразующими, выход из строя хотя бы одной линии приводит к тяжелым авариям в энергосистеме. Для повышения надежности и экономической эффективности в линиях применяют расщепление фазных проводов [1].

Расщепленные провода формируются из двух или более многожильных проводов одной фазы, находящихся друг от друга на расстоянии нескольких десятков сантиметров. Их применение обусловлено увеличением пропускной способности, снижением потерь на «корону», снижением напряженности и уменьшением генерации помех для высокочастотной связи.

Рассмотрим влияние расщепления проводов на параметры и качество электроэнергии.

Расщепление проводов эквивалентно увеличению диаметра провода. Поэтому в случае применения расщепленных проводов индуктивность уменьшается, что приводит к уменьшению падения напряжения в линии.

Погонное индуктивное сопротивление линии равно:

$$x_0 = 0,144 \cdot \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{ЭКВ}}} + 0,0157,$$

где  $D_{\text{ср}}$  – среднегеометрическое расстояние между фазами,  
 $r_{\text{ЭКВ}}$  – эквивалентный радиус провода.

Из-за уменьшения значения индуктивности уменьшается значение реактивного сопротивления, которое увеличивает максимальный поток мощности.

При использовании расщепленных проводов увеличивается значение емкости по сравнению одиночными линиями.

Погонная емкостная проводимость линии равна:

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{экв}}}}.$$

Таким образом, увеличиваются зарядные токи, что способствует повышению коэффициента мощности [2].

Применение одного провода большого сечения неэффективно из-за поверхностного эффекта. Это объясняется тем, что плотность тока смещается к поверхности провода, а средняя часть не используется. Расщепление проводов позволяет увеличить общее сечение путем суммирования сечений отдельных проводов, что улучшает пропускную способность линии.

Наиболее важным свойством расщепленных проводов является их способность уменьшать коронный разряд. Коронный разряд представляет собой тип локализованного излучения, возникающего в результате ионизации воздуха в системе изоляции, когда напряжение превышает критическое значение. Использование расщепленных проводов приводит к уменьшению градиента напряжения и, следовательно, снижает вероятность возникновения коронного разряда.

Уменьшение образования коронного разряда приводит к меньшим потерям мощности и, следовательно, повышению эффективности передачи линии.

Расщепление проводов является эффективным мероприятием для снижения уровня радиопомех. Обеспечивается возможность применения на линиях сверхвысокого напряжения конструкции фазы, состоящей из нескольких проводов относительно небольшого диаметра, которые при одинаковой напряженности электрического поля слабее генерируют радиопомехи, чем линии с проводами большого сечения [3].

Поскольку расщепленные провода имеют более эффективную площадь поверхности, подверженную воздействию воздуха, они обеспечивают лучшее и эффективное охлаждение и, следовательно, лучшую производительность по сравнению с одним проводом.

Применение расщепленных фазных проводов в линиях электропередач позволяет снизить потери и избежать крупных аварий. Но следует учитывать, что увеличение некоторых параметров линии требует компенсации и, следовательно, способствуют дополнительным затратам. Так, при увеличении емкости линии возрастает напряженность электрического поля. Для ее снижения требуется увеличить габариты линии, т.е. высоту опор, что приводит к дополнительным капиталовложениям в строительство линии электропередач.

### **Источники**

1. Расщепленная фаза в линиях электропередач сверхвысокого напряжения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://forum220.ru/split-phase.php> (дата обращения 11.02.2022).

2. Влияние расщепления проводов воздушных линий на параметры схем замещения [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studopedia.ru/4\\_18521\\_vliyanie-rasshchepleniya-provodov-vozdushnih-linij-na-parametri-shem-zameshcheniya.html](https://studopedia.ru/4_18521_vliyanie-rasshchepleniya-provodov-vozdushnih-linij-na-parametri-shem-zameshcheniya.html) (дата обращения 12.02.2022).

3. Расщепленные провода, их преимущества и область применения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://phonepress.ru/prj-kakom-napryazhenii-rasshcheplyayut-provoda/> (дата обращения 12.02.2022).

УДК 621.315

## **ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Р.Е. Саттаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[dotov291299@gmail.com](mailto:dotov291299@gmail.com)

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Максимов

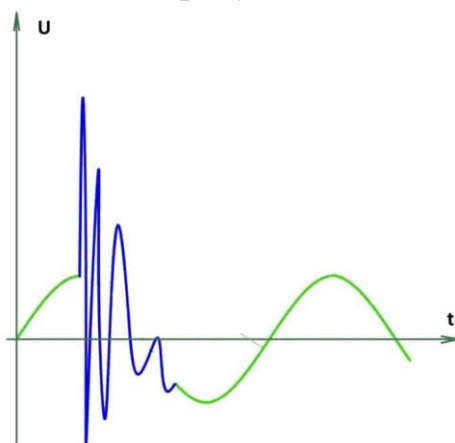
В работе представлены виды перенапряжений, возникающие в электрических сетях. Рассмотрены основные способы защиты от перенапряжений.

**Ключевые слова:** электрические сети, защита от перенапряжений, грозозащитный трос, вентильные разрядники, искровые промежутки.

Всегда есть вероятность того, что система электроснабжения пострадает от ненормального перенапряжения. Перенапряжения - это напряжения, превышающие нормальные или номинальные значения. Они вызывают повреждение изоляции электроприборов и приводят к короткому замыканию [1].

Перенапряжения могут быть вызваны различными причинами, такими как изменение нагрузки, включение и отключение линии, атмосферное электричество, молния и т.д. Для обеспечения бесперебойной работы системы электроснабжения все типы перенапряжений устраняются из системы с помощью защиты от перенапряжения.

Перенапряжения, возникающие в энергосистеме, как правило, носят переходный характер, т.е. достигают максимального значения за короткое время и существуют недолго (см. рисунок).



Перенапряжение в электрической сети

Основной причиной этих скачков напряжения в энергосистеме являются импульсы молнии и импульсы переключения системы. Скачки напряжения, возникающие в системе электроснабжения из-за коммутационных перенапряжений, отказа изоляции, заземления дуги и резонанса, невелики по величине и едва ли превышают вдвое нормальный уровень напряжения. Как правило, надлежащей изоляции различного оборудования энергосистемы достаточно для предотвращения любых повреждений, вызванных этими перенапряжениями. Но перенапряжения, возникающие в энергосистеме из-за молний, отличаются высокой амплитудой и носят разрушительный характер. Следовательно, необходимо избегать воздействия молниевых импульсов для защиты энергосистемы от перенапряжения.

Для защиты от молний используются грозозащитные тросы, вентильные разрядники и искровые промежутки.

Грозозащитные тросы защищают воздушные линии от прямых ударов молний (стальные канаты или сталеалюминевые скрученные провода) [2].

Для отвода разрядов молнии в землю грозозащитные тросы присоединяются к заземляющему устройству и обеспечивают очень низкий импеданс для бегущих волн высокого напряжения. Сопротивление уменьшается с увеличением напряжения волны и, наоборот, увеличивается с уменьшением напряжения бегущей волны.

Принцип работы грозозащитного троса:

1. При нормальном уровне напряжения эти устройства легко выдерживают системное напряжение в качестве электрического изолятора и не проводят ток к заземлителю.

2. При возникновении скачка напряжения в системе грозозащитные тросы обеспечивают очень низкий импеданс для избыточного разряда от скачка напряжения на землю.

3. После выполнения своей защитной функции напряжение нормализуется, и грозозащитный трос выступает в качестве изолятора.

Вентильные разрядники предназначены для ограничения коммутационных и атмосферных перенапряжений, возникающих в электрических сетях. Они предотвращают пробой изоляции, повреждения оборудования и другие негативные последствия. Для защиты используется их способность «открываться» и «закрываться» подобно вентилю [3]. При возникновении высокого напряжения сопротивление становится ничтожно малым, и разрядник «открывается», а ток через рабочие резисторы уходит на землю.

Искровые промежутки являются самым простым и дешевым устройством защиты от перенапряжений. Искровой промежуток устанавливается параллельно изоляции. При набегании импульса перенапряжения, происходит пробой искрового промежутка с последующим резким падением напряжения [4].

Наличие защиты от перенапряжений является обязательным условием для бесперебойной работы вновь проектируемых и функционирующих электрических сетей.

### **Источники**

1. Перенапряжения в электрических сетях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1277-perenaprjazhenija-v-jelektricheskikh.html> (дата обращения 12.02.2022).

2. Грозозащитные тросы для воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.060.50.015-2008.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.060.50.015-2008.pdf) (дата обращения 12.02.2022).

3. Вентильные разрядники - назначение, устройство, типы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://forum220.ru/valve-arresters.php> (дата обращения 13.02.2022).

4. Искровые промежутки и роговые разрядники [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studopedia.su/10\\_163516\\_iskrovie-promezhutki-i-rogovie-razryadniki.html](https://studopedia.su/10_163516_iskrovie-promezhutki-i-rogovie-razryadniki.html) (дата обращения 13.02.2022).

УДК 621.315.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛЭП НА СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Д.А. Смирнов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

99daniil1999@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Г. Хузяшев

В статье предложена модель линии электропередачи для проведения плановой коммутации с целью измерения сигналов переходного процесса и выявления их зависимости от параметров линии в программе PS CAD. Представлены результаты моделирования в виде осциллограмм напряжения.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, плановая коммутация, грозозащитный трос.

Целью работы является выявление зависимости характеристических особенностей сигнала переходного процесса от изменения параметров линии электропередач.

В материальной среде, каковыми являются провода ЛЭП, скорость распространения электромагнитного поля значительно меньше 300000 км/с. Следовательно, и длина волны на частоте основной гармонической составляющей электромагнитного поля, распространяемого по линейным проводам ЛЭП, меньше 6000 км [1].

Для проведения теоретических исследований влияния параметров ЛЭП на скорость распространения сигнала переходного процесса (ПП) была составлена однофазная модель 100-километровой линии без нагрузки, изображенная на рис. 1.



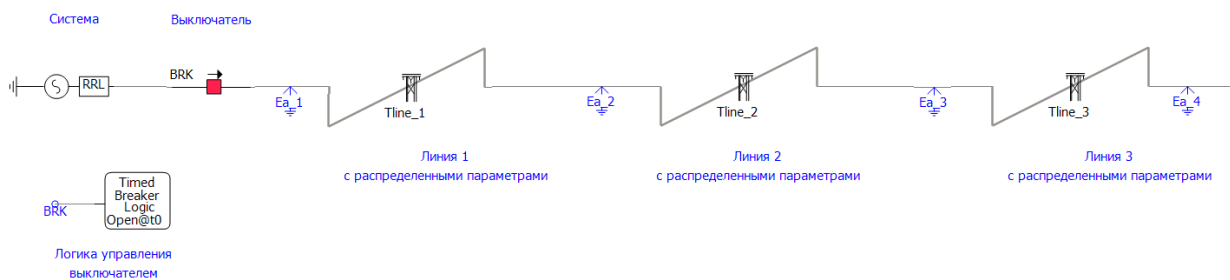


Рис. 1. Модель ЛЭП без нагрузки

Воздушная линия длиной 100 км, подключенная к системе с параметрами  $E=230$  кВ,  $f=50$  Гц,  $R(\text{последовательное})=R(\text{параллельное})=1$  Ом,  $L=1$  Гн разделена на участки ЛЭП по 33,333 км с распределенными параметрами (Tline\_1 – Tline\_3). Параметры ЛЭП указаны на рис. 2. На каждом участке ЛЭП установлены вольтметры (Ea\_1 — Ea\_3) для регистрации сигнала переходного процесса в момент включения выключателя.

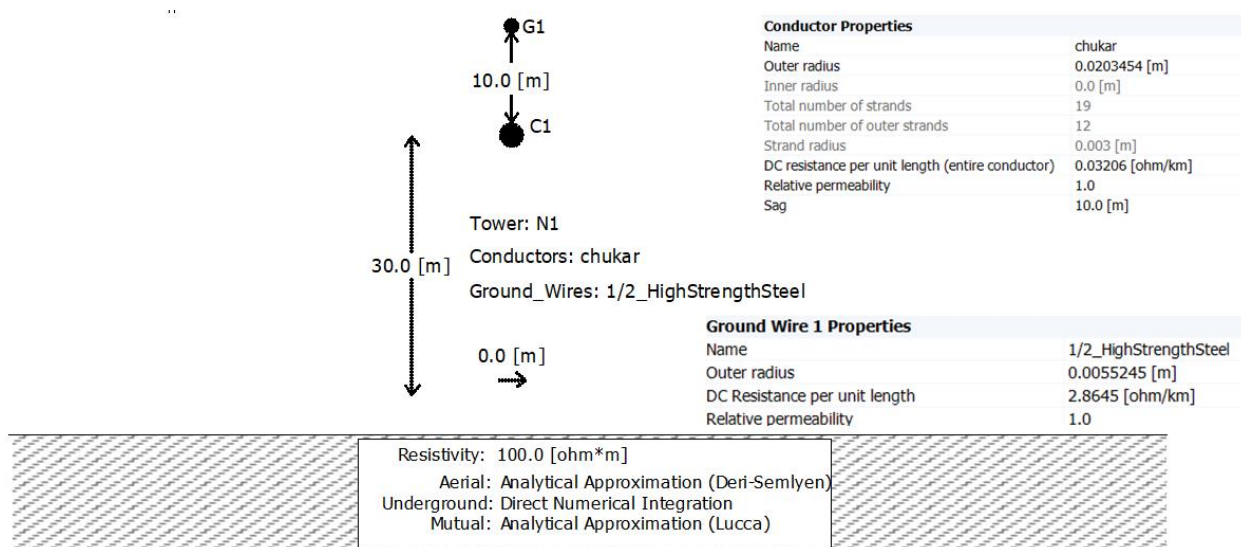


Рис. 2. Параметры ЛЭП

Моделирование плановой коммутации осуществляется с помощью выключателя (BRK). Он срабатывает единожды в момент времени  $t = 0,1c$ .

В результате проведенного моделирования были получены осциллограммы напряжений для каждого участка ЛЭП (рис. 3).

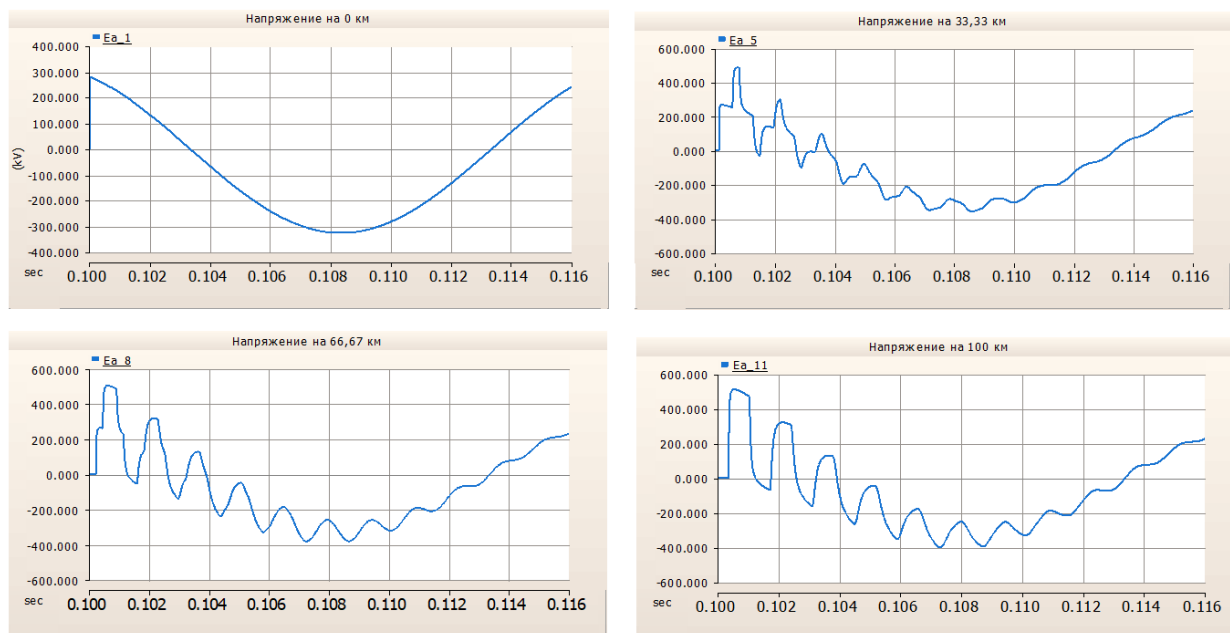


Рис. 3. Осциллограммы напряжений

Путем изменения параметров ЛЭП (наличие/отсутствие гроззащитного троса (ГТ), изменение стрела провеса провода, изменение расстояния между фазой и землей) определим изменения параметров сигнала переходного процесса на 100-м км (рис. 4).

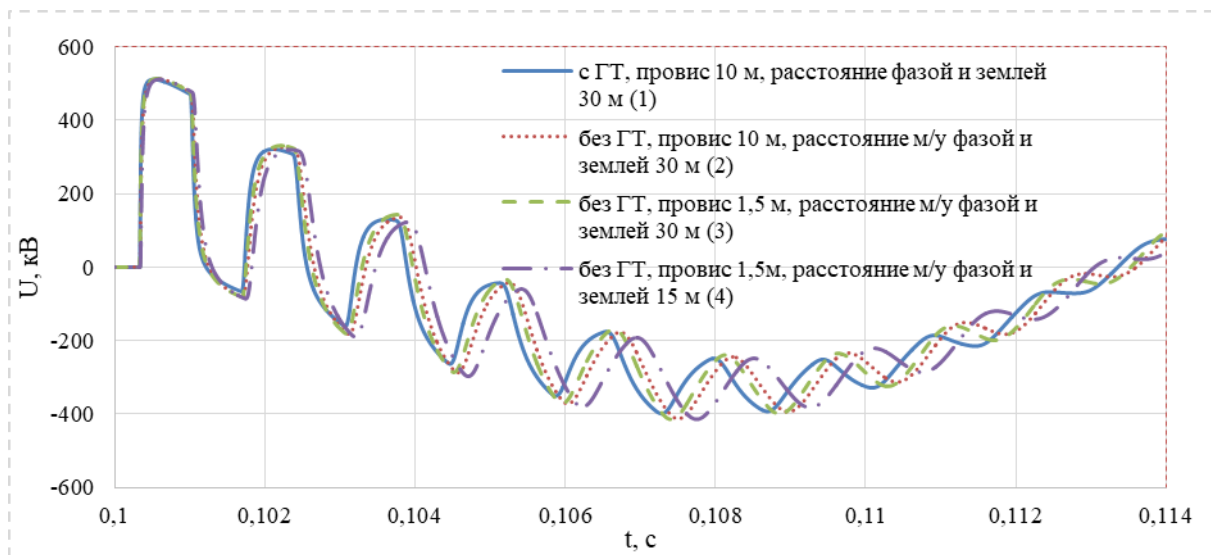


Рис. 4. Осциллограммы сигналов ПП на 100-м км при различных параметрах ЛЭП

Полученные данные представлены в таблице.

## Параметры сигналов ПП

Параметры \ Вид ЛЭП	1	2	3	4
$T$ , мс	1,551	1,702	1,7	1,86
$f$ , Гц	644,745	587,544	588,235	537,634

Численным моделированием в пакете PS CAD показано, что величина периода сигнала переходного процесса зависит от параметров линии электропередачи.

### Источники

1. Большанин Г.А. Методика определения электрических параметров с учетом волновой теории передачи электрической энергии // Вестник ИрГТУ. 2019. №1 (144).

УДК 621.315.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕРВАЛА ДИСКРЕТИЗАЦИИ НА ТОЧНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Д.А. Смирнов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

99daniil1999@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Г. Хузяшев

В статье рассмотрена проблема выбора оптимального периода дискретизации осциллографа для модели линии в программном комплексе PsCad.

**Ключевые слова:** периодическая дискретизация, вычислительная погрешность.

Моделирование сигналов переходного процесса в линиях с распределенными параметрами в пакете PsCad позволяет визуализировать волновой механизм их распространения. Численный алгоритм расчета, реализованный в пакете PsCad, предполагает связь между временным интервалом дискретизации при расчете параметров режима и линейными размерами рассматриваемых объектов. Дискретным называют сигнал, дискретный по времени и непрерывный по состоянию. Такой сигнал описывается решетчатой функцией, которая определяется только в дискретные моменты времени  $nT$  и может принимать любые значения из некоторого интервала [1]. Исследуем эту связь с помощью варьирования интервала дискретизации и длины линии электропередач.

В качестве демонстрации зависимости формы выходного сигнала на измерительной цепи от времени расчета смоделируем однофазную линию электропередачи с распределенными параметрами длиной 1 км в программном комплексе PsCad (рис. 1).

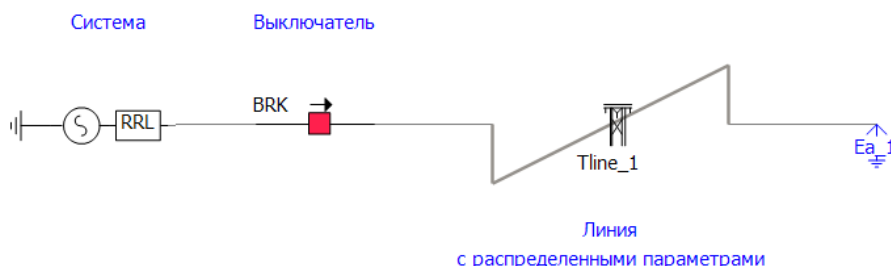


Рис. 1. Модель ЛЭП

Воздушная линия (Tline\_1) подключена к системе с параметрами  $E=230$  кВ,  $f=50$  Гц. В конце ЛЭП установлен вольтметр Ea\_1 для измерения напряжения сигнала переходного процесса.

На рис. 2 представлены осциллограммы входного сигнала при различных периодах дискретизации, которые можно задать в PsCad.

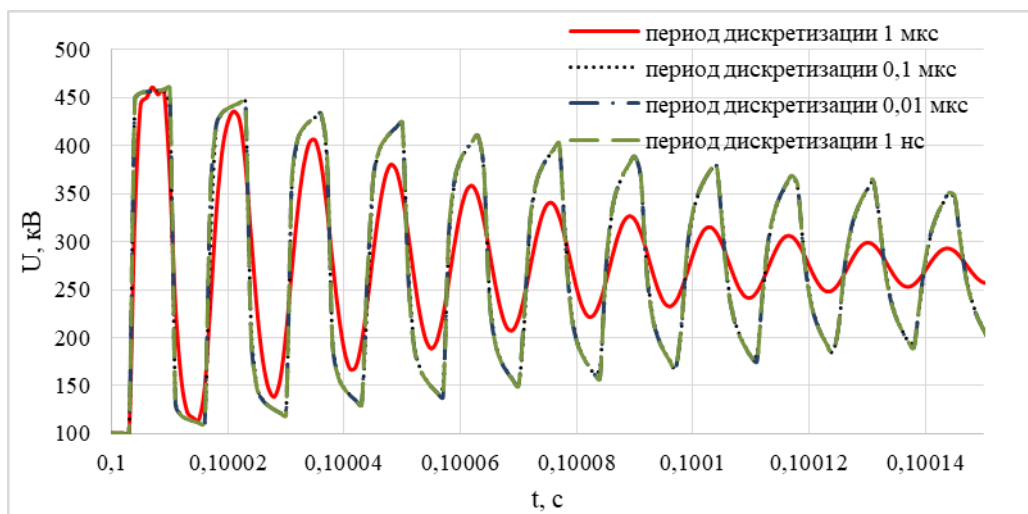


Рис. 2. Сравнение сигналов

Заметим, что сигналы при периоде дискретизации меньше 1 мкс практически идентичны и отличаются по форме и амплитудному значению от сигнала с периодом 1 мкс. Причем в начале переходного процесса амплитудные значения всех 4 сигналов примерно равны друг другу, однако с течением времени разница увеличивается (рис. 3). Чем больше время моделирования, тем больше погрешность. Это говорит о накоплении вычислительной погрешности.

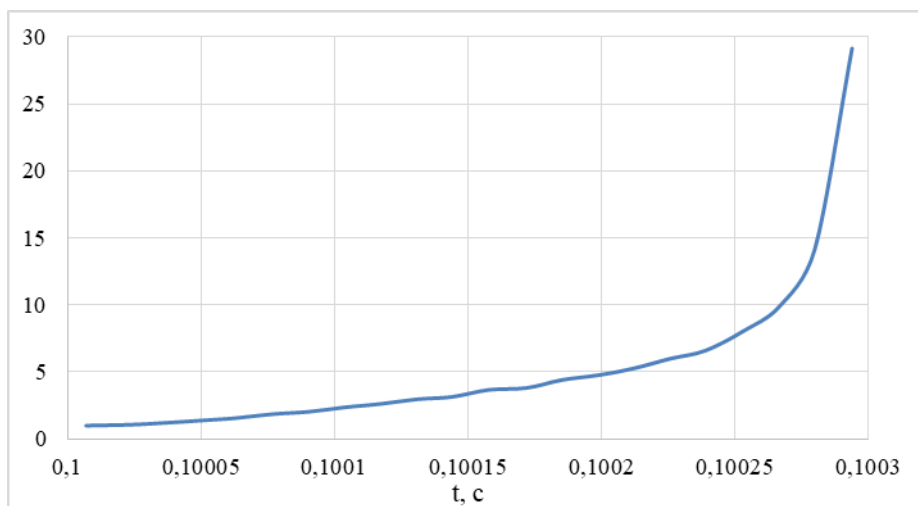


Рис. 3. Отношение амплитуд сигналов при периоде дискретизации 1 нс и 1 мкс

Таблица 1

Амплитудные значения напряжения 8-го периода (кВ)

		Интервал дискретизации, мкс						0,001
		2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	
Длина линии, км	2	331,58	376,22	390,65	397,84	399,89	400,91	401,21
	1	283,69	327,51	367,13	379,33	384,77	386,84	387,15

Таблица 2

Время амплитудных значений (с)

		Интервал дискретизации, мкс						
		2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,001
Длина линии, км	2	0,1002060	0,1002060	0,1002065	0,1002073	0,1002075	0,1002075	0,1002075
	1	0,1001040	0,1001030	0,1001025	0,1001030	0,1001033	0,1001034	0,1001034

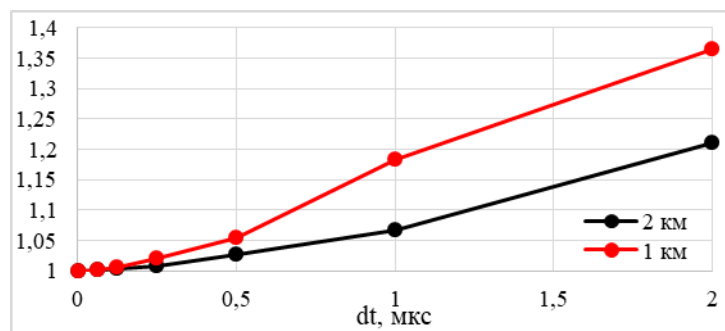


Рис. 4. Отношение амплитуды напряжения при интервале дискретизации 1 нс к остальным амплитудам

Как видно из табл. 1 и 2, а также рис. 4, интервал дискретизации напрямую влияет на амплитуду и время расположения максимума сигнала переходного процесса, причем для линий разной длины зависимость от выбора времени расчета получается разная. Чем короче линия электропередачи, тем меньше должен быть интервал расчета.

### Источники

1. Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М. Основы цифровой обработки сигналов: Курс лекций; 2-е изд. испр. и перераб. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. С. 12.

УДК 621.315.541

## КОНТРОЛЬ МАСЛОНАПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

А.Р. Сулейманова (Низаева)  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
aygul\_mi@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Вилданов

Приведены результаты изучения газопоглощительной и газовыделительной способности различных марок трансформаторных масел на экспериментальной установке, моделирующей процессы, протекающие в высоковольтном оборудовании электростанций. Рассмотрен вопрос о влиянии структурно-группового состава и способа очистки трансформаторного масла на его газостойкость.

**Ключевые слова:** контроль, маслonaполненное оборудование, газостойкость, ароматические углеводороды.

В настоящее время контроль маслонаполненного электрического оборудования электрических станций и подстанций приобретает большую актуальность, что связано с увеличением единичных мощностей оборудования и возрастанием объема разрушений при их отказе.

Разработка систем диагностики маслонаполненного электрического оборудования, позволяющих контролировать его состояние в процессе эксплуатации, представляет собой сложную самостоятельную задачу в энергетической системе. Трансформаторное масло в высоковольтных изоляционных конструкциях является изолирующим компонентом и средой, контактирующей с конструктивными элементами электрического оборудования [1–4]. Отметим, что надежная работа трансформатора во многом зависит от качества трансформаторного масла. Поэтому контроль физико-химических характеристик трансформаторного масла позволяет дать оценку работоспособности его в трансформаторах на энергетических объектах, в том числе электрических станций и подстанций.

К одной из важнейших характеристик трансформаторного масла относится его газостойкость в электрическом поле при рабочих температурах, так как по критерию скорости нарастания выделения газов можно охарактеризовать состояние маслонаполненного электрического оборудования [5, 6].

Газостойкость трансформаторного масла в электрическом поле изучали с использованием масел ГК и ТМ, отличающихся содержанием ароматических углеводородов и концентрацией сернистых соединений. Содержание ароматических углеводородов и концентрация сернистых соединений в маслах ГК и ТМ соответственно составляют 0,05 и 0,91 %. Для исследования газостойкости трансформаторных масел ГК и ТМ использовали лабораторную установку, описанную в литературе [7]. При определении газостойкости жидкой изоляции, а именно трансформаторных масел марки ТМ и ТМ использовали электрическое поле напряженностью 30 кВ/см, которое характерно при эксплуатации действующего трансформатора. Все эксперименты проводили при атмосферном давлении в температурном интервале 40-150 °С в присутствии гетерогенного катализатора: железных пластинок 0,3 см<sup>2</sup> на 1 г масла, медных пластинок 0,2 см<sup>2</sup> на 1 г масла и целлюлозы 0,2 см<sup>2</sup> на 1 г масла. Использование гетерогенного катализатора обусловлено в имитации условий работы жидкой изоляции в трансформаторе. Продолжительность испытаний газостойкости трансформаторных масел составляла 20 часов [7]. В качестве газовой фазы над маслом использовали газ азот. Газостойкость исследуемых образцов масел рассчитывали и по количеству выделившегося газа в процессе проведенного испытания.

Согласно полученным экспериментально полученным результатам, с повышением температуры от 40 до 150 °С возрастает скорость процесса выделения газов из масла, причем независимо от марки трансформаторного масла, его углеводородного состава и концентрации сернистых соединений. Следует отметить, что скорость выделения газов из масла ТМ значительно ниже, чем у масла ГК.

### **Источники**

1. Могузов В.Ф. Обслуживание силовых трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 92 с.
2. Пястов А.А., Митрофанов Г.А. Оценка электроизоляционных показателей трансформаторных масел // Сибирский вестник с.-х. науки. 1986. №3. С. 101-104.
3. Богородский Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электроизоляционные материалы. М. : Энергоатомиздат, 1987. 338 с.
4. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
5. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Гиниатуллин Р.А., Старостина Т.Ю. Определение характеристик трансформаторного масла спектральным методом // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. №1 (49). С. 66-74.
6. Ванин Б.В., Львов Ю.Н., Сапожников Ю.М. Анализ газовой выделения в масле трансформаторов, вводимых в работу из резерва при низких температурах // Электрические станции. 1993. №2. С. 34-42.
7. Вилданов Р.Р., Сидоренко А.В., Тутубалина В.П. Установка для диагностики трансформаторного масла // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2006. №9-10. С. 105-108.

УДК 621.315.615.23

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

С.П. Суханова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sveta.sukhanova.99@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.К. Козлов,

канд. техн. наук, доц. Д.М. Валиуллина

В данной работе приведен способ определения степени старения трансформаторного масла по току, полученному на фотодиоде датчика при освещении образцов масел.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, кислотное число, фототок, спектроскопия.



Трансформаторное масло – неотъемлемая часть изоляции высоковольтного маслонаполненного оборудования и при длительной эксплуатации подвергается окислительному процессу, что ухудшает его функциональные свойства. Согласно статистике, количество единиц маслонаполненного оборудования на станциях и подстанциях увеличивается с каждым годом [1].

Вследствие старения, в масле образуются твердые, нерастворимые продукты, которые могут скапливаться на поверхности внутренних элементов трансформатора, нарушая теплообмен и электрическую прочность изоляции, что приводит к повреждению агрегата и ухудшению его эксплуатационных свойств [2].

В качестве коллоидных образований в масле могут выступать механические примеси, которые представляют собой нерастворимые вещества, образующиеся в масле в виде осадка. Это — волокна, пыль, частицы металла и другие виды примесей, которые появляются в результате растворения красок, лаков и изоляции трансформатора. В процессе эксплуатации трансформатора, эти коллоидные образования, под воздействием температур укрупняются, что приводит к снижению электрической прочности изоляции [3].

Основной показатель степени износостойкости изолирующей жидкости – повышение окисленности, т.е. увеличение кислотного числа. Определив значения кислотного числа трансформаторного масла и сравнив его с допустимыми параметрами можно судить о степени деградации трансформаторного масла, о необходимости замены, либо очистки масла.

Для определения степени старения масла можно воспользоваться методом, который основывается на зависимости тока, измеряемого датчиком при освещении масла светом от кислотного числа [4].

Для этого исследования была собрана установка для определения тока (рис. 1).

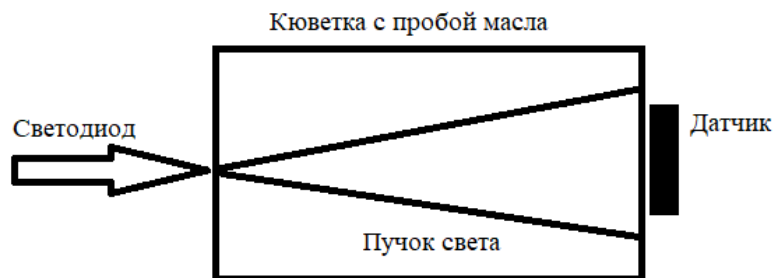


Рис. 1. Схема установки

Для проведения исследовательской работы были взяты образцы трансформаторных масел различных марок, отличающихся значением кислотного числа. Наличие коллоидных частиц определялось спектральным методом, результаты приведены ниже.

При проведении эксперимента получены значения тока, которые представлены в таблице.

Результаты эксперимента

№ пробы	Кислотное число, мг КОН/г	Ток, мкА
1	0,0217	84,0
5	0,0372	52,0
4	0,1037	40,0
0	0,049	36,0
№ тр-ра 71	0,084	28,6
№ тр-ра 74	0,113	13,7
№ тр-ра 76	0,14	7,3

Согласно этой таблице, мы видим, что чем больше значение кислотного числа исследуемого образца масла, тем меньше значение тока, полученного на фотодиоде датчика.

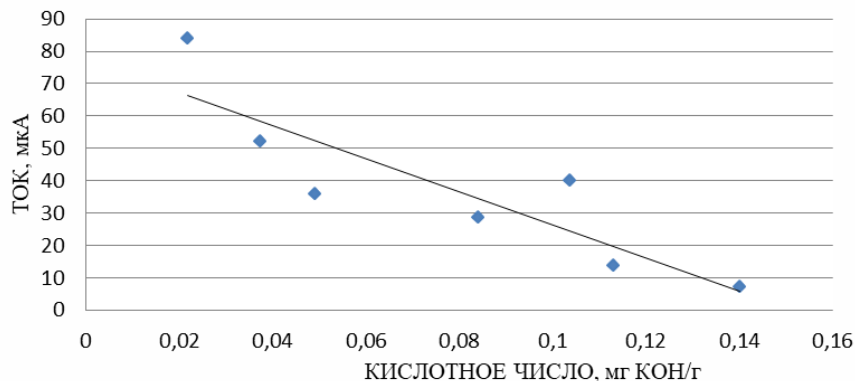


Рис. 2. Зависимость кислотного числа от тока

По зависимости, приведенной выше на рис. 2, мы можем определить степень деградации трансформаторного масла.

Из всего вышеизложенного следует, что спектральный анализ изоляционных масел позволяет определять их кислотное число, знание которого необходимо для принятия решения о дальнейшей эксплуатации масла, либо его замене.

Таким образом, нами предложен простой, быстрый и качественный метод анализа трансформаторных масел, который не требует дорогостоящего оборудования и на начальном этапе позволяет определить степень старения масла.

### **Источники**

1. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Спектральный экспресс-анализ изоляционных масел. Казань: КГЭУ, 2003. 110 с.

2. Юсупов Д.Т. Влияние механических примесей на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла // Молодой ученый. 2019. № 22 (260). С. 144-146.

3. Ризванова Г.И., Гафиятуллин Л.Г. и др. Особенности старения трансформаторного масла в реальных условиях эксплуатации // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №9-10. С. 91-94.

4. Menkiti M.C. Chemically improved Terminaliacatcппа L. oil: A possible renewable substitute for conventional mineral transformer oil // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2017. Vol. 5. Is.1. P. 1107–1118.

УДК 621.321

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Е.В. Третьякова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Филиал ПАО «РусГидро» - «Воткинская ГЭС», г. Чайковский

jaqmevans@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. Маклецов

В тезисе предложено решение проблем модернизации и технического перевооружения распределительных устройств, задачами которого являются повышение надежности эксплуатации оборудования, минимизация рисков недоработки электрической энергии и невыполнение заданий по рабочей мощности станции в результате отказа элементов распределительных устройств.

**Ключевые слова:** распределительные устройства, электроснабжение, надежность, электрооборудование, резерв, подстанции.

Распределительные устройства (РУ) служат для приёма, распределения электроэнергии [1]. Любое входящее в состав распределительных устройств электрооборудование должно целостно отвечать за обеспечение надежности [2]. Одним из способов снижения рисков недодачи электроэнергии является проведение технического перевооружения морально устаревшего оборудования на современное, обладающее высокой надежностью электроснабжения любой подстанции или станции, для которой это необходимо.

Помощью для проведения исследования целесообразно использовать предварительную оценку не только снижения рисков падения электроснабжения, но и диагностику экономической эффективности модернизации за счет снижения стоимости обслуживания РУ за счет уменьшения численности обслуживающего персонала, затрат на содержание в связи с уменьшением количества воздействий человека в год.

Также предпосылками для реализации исследования послужило:

- снижение надежности работы существующего оборудования РУ большинства регионов страны вследствие физического износа и морального старения оборудования;

- необходимость частого проведения ремонтов электрооборудования;

- необходимость обеспечения надежной и устойчивой работы подстанций и станций системообразующей сети [3].

Необходимо провести исследования экономической целесообразности модернизации распределительных устройств, а также оценить возможность бесперебойного режима работы предприятий, в случае нарушений плана нагрузки потребителей необходимо обеспечить постоянный доступ к резервам.

Решением задач модернизации РУ является проектирование схем, выбор типа оборудования, определённого за счет технико-экономических расчетов, определения местоположения нового РУ, с учетом бесперебойного питания потребителей и возможности подъезда технического и обслуживающего персонала. Выбор расположения техперевооружения и реконструкции энергооборудования крайне важен, при возможном ограничении установки оборудования уже имеющимися постройками или особенными условиями местности, при осложнениях возможного использования земельного участка.

Возникает предложение раннего экономическо-технологического моделирования предприятия и учета на территориально малых предприятий требуемых учетов затрат расположения защиты на административные и технологические здания, которые имеют воздействия от напряженности электрического поля и др., вызванных близким расположением РУ, в целях сокращения дальнейших затрат на дополнительные выплаты сотрудникам за вредные условия труда.

### **Источники**

1. Чичерюкин В.Н., Малахов Н.О., Электрические станции и подстанции. М.: Московский политехнический университет, 2020.
2. Ярош В.А., Еффанов А.В., Привалов Е.Е., Ястребов С.С., Электрические станции и подстанции. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2019.
3. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник. М.: Форум, 2018.

УДК 621.315.1

## **ЗАЩИТА НЕЙТРАЛИ ТРАНСФОРМАТОРА**

Р.И. Фахрутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

fakhrutdinov.ravil.irekovich@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Х. Сабитов

В тезисе описывается новый метод защиты нейтрали трансформатора от обрыва.

**Ключевые слова:** линии электропередач, защита нейтрали трансформатора, несимметричный режим.

Надлежащий контроль симметричного режима работы сети обеспечивает их оптимальную работу, обеспечивая бесперебойное электроснабжение сообществ, которые полагаются на них. Постоянный мониторинг несимметрии играет жизненно важную роль в предотвращении перебоев в подаче электроэнергии за счет раннего обнаружения критического режима работы. В ходе проверок собранные данные могут анализироваться не своевременно, оценки и решения, основанные на них, могут легко стать неоптимальными.

Выборочная или отложенная проверка может привести к пропуску дефектов, возникающих между интервалами проверки, а неточная оценка состояния может привести к аварии. Сочетание стареющей инфраструктуры, ограниченных бюджетов и стареющей экспертной рабочей силы требует разработки новых, более эффективных и действенных методов проверки, которые обеспечивают непрерывность накопленных знаний и в то же время способны приспособиться к сокращающемуся количеству рабочей силы, доступной для коммунальных предприятий.

Подобно тому, как недавние достижения в области автоматизации и робототехники повысили скорость и эффективность сбора данных в полевых условиях, часть оценки данных в процессе инспекции готова к значительному технологическому прогрессу. Цель состоит в том, чтобы разработать новые процессы проверки инфраструктуры, которые сводят к минимуму участие человека и делают анализ данных быстрым, экономичным и гибким, и в то же время обеспечивают большую точность, чем ручной процесс.

Целью данной работы является ознакомление с методом защиты нейтрали, основанным на измерении тока в нейтрали в системах с повторным заземлением нейтрали.

В симметричном режиме векторная сумма системы трехфазных переменных токов и напряжений фаз равна нулю. В несимметричных режимах ток небаланса течет по земле, воротится к источнику и в нейтрали появляются импульсные и внутренние перенапряжения, критические для изоляции, а еще также высокие токи [2].

Одним из случаев обрыва нейтрали трансформатора является большая несимметрия сети, что приводит к большому току в нетрали, в результате чего шпилька нейтрали трансформатора отгорает [3].

Проведем измерения сети 10/0,4 кВ в программном комплексе MatLab.

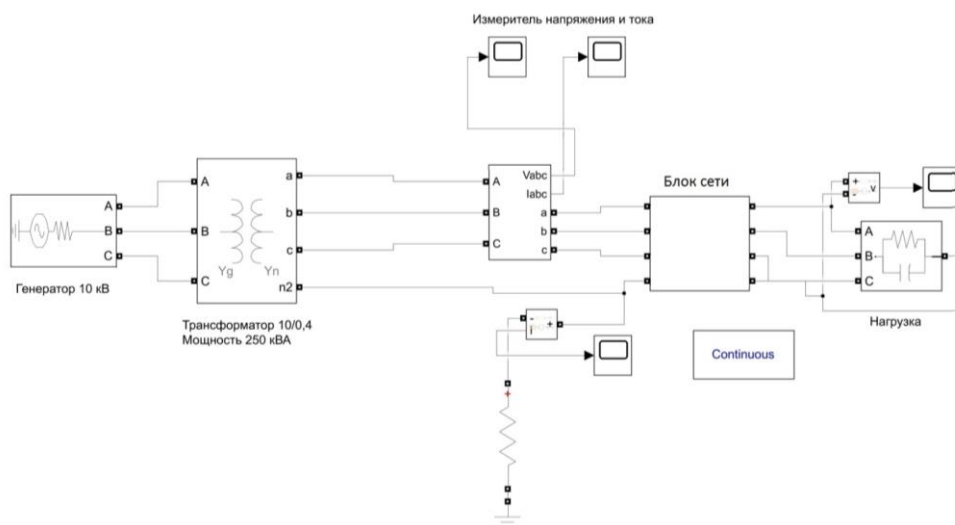


Рис. 1. Структура системы

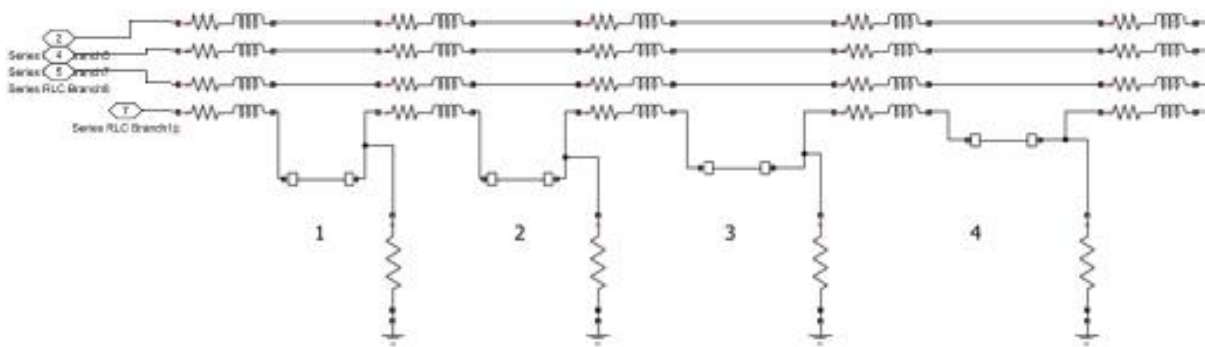


Рис. 2. Часть блока сети

Входные данные для эксперимента: генератор 10 кВ, трансформатор 10/0,4 кВ мощностью 250 кВА, блок сети (линия длиной 1,5 км, удельные параметры резистивной и индуктивной нагрузки соответствуют проводу СИП).

Линия разделена на 15 опор, расстояние между ними 100 метров, каждая опора имеет повторное заземление нейтрали согласно ПУЭ [1]

Между опорами установлены выключатели на нейтрали для того, чтобы имитировать обрыв нейтрали. Запустим модель и рассмотрим результаты.

В результате моделирования выявлено следующее. Во время обрыва нейтрального проводника ток в нейтрали резко возрастает в несколько раз. Чем ближе место обрыва к трансформатору, тем выше ток в нейтрали.

Подводя итоги, если обрыв произошел между седьмым и восьмым пролетом. Скачок тока в нейтрали будет ниже, чем между первым и вторым пролетом. Из этого можно предположить, что ток обрыва нейтрали зависит от удаленности обрыва. Так же необходимо учесть, что нагрузка на конце линии может быть не постоянной, вследствие этого ток во время обрыва между седьмым и восьмым пролетом на нагрузке в 15кВт будет ниже, чем во время нагрузки 20кВт. Для этого необходимо провести расчеты для режима максимальных нагрузок и минимальных.

### Источники

1. Правила устройства электроустановок; 7-е изд. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999-2005 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98464/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98464/) (дата обращения 28.02.2022).

2. Еремич Я.Э., Пашичева С.А., Халилов Ф.Х., Карпов А.С. Защита нейтрали трансформаторов 6-35 кВ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-neutrali-transformatorov-6-35-kv> (дата обращения 28.02.2022).

3. Шабад М.А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6-35 кВ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rza.org.ua/down/open/Zacshita-ot-odnofaznyh-zamykanij-na-zemlju-v-setjah-6-35-kV--M--A--Shabad.html> (дата обращения 28.02.2022).

УДК 621.311

## ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

И.И. Хамидуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

89274533569@maul.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.В. Наумов

Основной целью представленной работы является изучение и систематизация знаний, касающихся цифровой трансформации и интеграции инновационных технологий в энергетике. Автором используются теоретические методы исследования, а также научные материалы зарубежного и отечественного авторства. Теоретическая значимость работы заключается в анализе и систематизации актуальной информации по теме исследования, а также возможности ее использования в аналитических обзорах других исследований.

**Ключевые слова:** энергетика, трансформация, цифровизация.

Современный технологический прогресс, в частности, из области энергетики представляет непрерывный и динамический процесс. Именно разработка и интеграция инновационных технологий в различных сферах жизнедеятельности человека способствует данному фактору. Задача электроэнергетики на современном этапе развития заключается не только в повышении надежности, но и в обеспечении экономической, технологической, а также социальной эффективности систем энергетического снабжения (рис. 1). Помимо этого, электроэнергетическая отрасль выступает в качестве основного драйвера, посредством которого стимулируется экономическое развитие отдельных регионов [1].





Рис. 1. Компоненты в составе стратегии развития энергетики

Умные технологии являются достаточно актуальным направлением развития в энергетической отрасли не только для России, но и для других стран современного мира. Их развитие обуславливается увеличением населения и, как следствие, повышением уровня энергопотребления. Также актуализируется и обеспечение экологии планеты, в частности, уменьшения выброса углекислого газа. Именно данные задачи возможно решить посредством «умной» энергетики, посредством которой повышается энергетическая эффективность на производстве, в потреблении и передаче электроэнергии. На основе передовых информационных и цифровых технологий производится модернизация в области производства, секторе транспортировки и распределении электроэнергии. Далее в статье будут рассмотрены некоторые из таких технологий, значительно повышающих эффективность работы электроэнергетических производств [2].

Одним из наиболее актуальных направлений развития энергетической отрасли России является внедрение и развитие «умной энергетики», в частности, Smart Grid. Умная сеть представляет собой полностью автоматизированный комплекс, функционирующий на основе специально разработанного программного обеспечения. Посредством него предоставляется возможность (на основе информации от каждого из элементов и объектов системы) произвести правильное и эффективное распределение энергии между потребителями. Параллельно с этим, обеспечивается достаточно высокий уровень стабильности энергосети с точки зрения оценки напряжения и частоты (рис. 2) [3].



Рис. 2. Smart Grid как элемент интеллектуальной электроэнергетической системы

Другой, одной из наиболее актуальных и передовых технологий, является интеллектуальный счетчик. Данное устройство представляет собой прибор учета в виде небольшого компьютера, посредством которого не только считываются киловатт-часы, но и выполняется множество полезных и необходимых функций. [4]. Интеллектуальные счетчики способны определять показания потребления энергии более точно и детально, что значительно повышает эффективность их использования. Посредством инновационных технологий в составе данных устройств становится возможным получение всех данных в электронной форме. Все показания можно снимать удаленно с помощью специального устройства сбора данных, которое, в свою очередь, посылает собранные показания в обслуживающую компанию по интернету или по сотовой связи [5].

Информация от потребителей попадает на главный сервер электросетевой компании и после обработки в энергосбытовые организации. При этом хозяин квартиры или иного объекта, имеющего умный счетчик, имеет возможность просмотра зафиксированных показаний посредством специального пульта, контролировать расход и основные показатели электроэнергии и др.

Таким образом, основной целью данной статьи являлось изучение и систематизация знаний, касающихся цифровой трансформации и интеграции инновационных технологий в энергетике. В заключение необходимо отметить, что цифровая трансформация – это основное направление модернизации сферы электроэнергетики, способное значительно повысить эффективность и рациональность использования ресурсов предприятия.

## Источники

1. Паскарь И.Н., Березин Д.С., Савенкова Д.Е., Каракулова Ю.Ю., Цимбалист Е.Е., Хамидулина Д.В. Цифровизация энергетики. Предпосылки, развитие, прогноз // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020.
2. Врублевских А.А., Горемыкин Е.В. Технология Smart Grid и альтернативная энергетика // StudNet. 2021.
3. Dyachkov A.G. Formation and development of the infrastructural electric power complex in the economic space of the region //  $\pi$ -Economy. 2019.
4. Воробьев Е.С. Переход российской электроэнергетики к модели «цифрового» развития: технологические и инвестиционные аспекты // Human Progress. 2018.
5. Fursanov M.I. Circuit design solutions and information support of urban electric networks in the conditions of smart grid // Energy. Proceedings of higher educational institutions and energy associations of the CIS. 2017.

УДК 621.316.993

## ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

А.А. Хасаншин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

tatar.aynur@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Х. Сабитов

В работе представлены методы измерения сопротивления заземляющих устройств. Выявлены преимущества и недостатки рассмотренных методов.

**Ключевые слова:** заземляющие устройства, сопротивление заземления, метод амперметра - вольтметра, токовые клещи.

Каждое здание, оборудование, электростанции, подстанции и объекты, использующие электричество, требуют заземления либо непосредственно, либо через систему заземления. Заземление – это намеренное соединение элементов электроустановки с заземляющим устройством. Заземление необходимо для надежной работы электрооборудования [1].

Сопротивление заземления – это сопротивление, возникающее при протекании тока от заземляющего устройства к земле. Оно отражает степень контакта электрического устройства с землей и масштаб контура заземления.

Сопротивление является важным показателем состояния используемого заземления. Оно включает в себя сопротивление провода заземления и самого тела заземления, контактное сопротивление между телом заземления и сопротивлением земли, а также сопротивление между двумя телами заземления. Величина сопротивления зависит от множества факторов: материала, используемого для заземления, его температуры, наличия примесей [2].

В идеале сопротивление системы заземления должно быть как можно ближе к нулевому сопротивлению. В большинстве случаев оно составляет не более 1 Ом. Оценка общего сопротивления заземления является одним из первых шагов в определении размеров и базовой компоновки системы заземления. Для определения минимального сопротивления проектируемой системы заземления можно использовать следующую формулу:

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{S}},$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом/м,  $S$  – площадь контура заземления, м<sup>2</sup>.

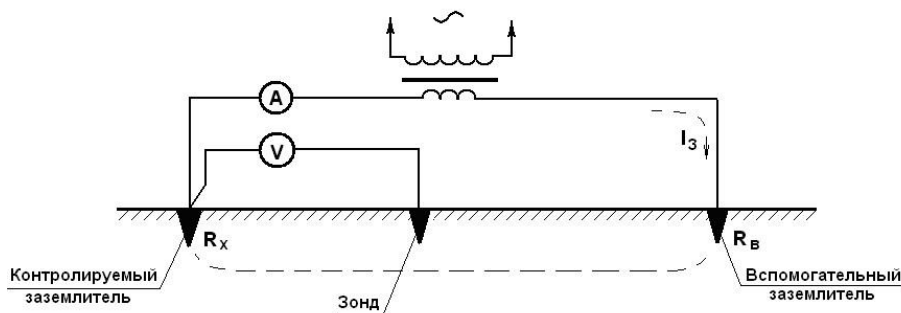
Измерение сопротивления заземления необходимо по следующим причинам:

- для проверки адекватности новой системы заземления;
- для обнаружения изменений в существующей системе заземления;
- для определения опасных контактных и шаговых напряжений;
- для определения повышения потенциала заземления при проектировании защиты силовых и коммуникационных цепей.

Существуют различные методы для измерения сопротивления заземляющих устройств. К ним относятся: применение мультиметра, метод амперметра – вольтметра, использование специализированных аналоговых приборов, измерение токовыми клещами [3].

При измерении сопротивления заземления мультиметром обычно проводят простейшую проверку подключения заземляющего контакта к защитному контуру, т.е. отслеживают его наличие. Этот прибор также применяют для обнаружения скрытых обрывов в цепях.

Метод амперметра – вольтметра (см. рисунок), заключается в измерении тока и падения напряжения в заземлителе. Для этой цели используются два электрода (токовый и потенциальный), с помощью которых снимаются показания напряжения и тока [4]. Сопротивление заземления определяется путем вычисления искомой величины по закону Ома.



Метод амперметра-вольтметра для измерения сопротивления заземления

Для измерения сопротивления заземления необходимо использовать специальные аналоговые приборы, отличающиеся простотой измерений и максимальной точностью (например, Ф4103-М1, ИСЗ-2016, М-416). С их помощью можно не только снимать показания, но и сохранять данные во внутренней памяти.

При измерении сопротивления заземляющего устройства токовыми клещами не требуется отключение заземляющего устройства от обслуживаемого оборудования, появляется возможность оперативно контролировать весь процесс снятия показаний. Данный метод предполагает измерение величины тока, протекающего по заземляющему проводнику или шине, и дальнейшее снятие показаний действующего в цепи напряжения с помощью вольтметра. Метод основан на законе Ома, следовательно, искомое сопротивление определяется как отношение полученного значения напряжения в вольтах к измеренной посредством клещей величине тока в амперах.

Заземляющие устройства необходимы для защиты электрооборудования от негативного воздействия высокого напряжения. Для мониторинга работоспособности заземляющих устройств необходимо проводить систематические проверки их сопротивления. Пригодность конкретного метода зависит от относительных значений измеряемого сопротивления и сопротивления измерителей.

### Источники

1. Защитное заземление в электроустановках [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studopedia.ru/5\\_103361\\_zashchitnoe-zazemlenie-v-elektroustanovkakh-naznachenie-printsip-deystviya-ustroystvo-normirovanie.html](https://studopedia.ru/5_103361_zashchitnoe-zazemlenie-v-elektroustanovkakh-naznachenie-printsip-deystviya-ustroystvo-normirovanie.html) (дата обращения 23.02.2022).

2. Измерение сопротивления контура заземления [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://profazu.ru/provodka/bezopasnost-provodka/izmerenie-soprotivleniya-zazemleniya.html> (дата обращения 23.02.2022).

3. Сопротивление заземления: методы измерения и периодичность [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fishkielektrika.ru/kak-proizvesti-zamer-soprotivleniya-zazemleniya> (дата обращения 24.02.2022).

4. Методы измерения сопротивления заземления [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://energolider.com.ua/article\\_show/224.html](http://energolider.com.ua/article_show/224.html) (дата обращения 24.02.2022).

УДК 621.316.722

## РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ПИТАЮЩИХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Л.А. Хафизов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

linarlinar14@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Максимов

В работе представлены методы и способы регулирования напряжения в питающих и распределительных сетях. Рассмотрены устройства для регулирования напряжения.

**Ключевые слова:** регулирование напряжения, питающие сети, вольтодобавочный трансформатор, методы регулирования, компенсирующие устройства.

Регулирование напряжения – это его вынужденное изменение для соблюдения подходящих технических параметров работы электросистемы и производственных механизмов, а также для повышения ее экономичности.

Рациональность использования для достижения результата сильно зависит от места электрической цепи, где необходимо регулировать напряжение (шины генератора, центр питания, распределительный пункт, сеть низкого напряжения, зажимы электроприемника). В настоящее время с данной задачей справляются устройства, которые повышают качество электроэнергии при питании электроприемников [1].

Существуют подходы повышения качества электроэнергии:

В первую очередь это рационализация средств электроснабжения.

Вторая группа указывает на совершенствование самих потребителей.

Третья группа предполагает использование устройств для повышения качества или, иначе говоря, регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности [1].

Для обеспечения качественного электроснабжения используется регулирование напряжения, которое является одной из наиболее сложных задач, решаемых в процессе проектирования и эксплуатации систем.

Местное регулирование напряжения подразумевает регулирование напрямую на месте потребления, обеспечивая стабилизацию допустимой степени напряжения для каждого потребителя. Его можно классифицировать на индивидуальное и групповое. Индивидуальное регулирование используют, как правило, только для одного специального потребителя, а групповое для обеспечения одновременного регулирования целых групп потребителей.

Рассмотрим методы регулирования напряжения в распределительных и питающих сетях. В таких сетях для регулирования напряжения пользуются изменением [2]:

- потоков реактивной мощности в сети;
- параметров питающей сети.

Также можно регулировать напряжение посредством применения:

- трансформаторов с РПН;
- линейных регуляторов напряжения и вольтодобавочных трансформаторов.

Рассмотрим регулирование напряжения вольтодобавочным трансформатором. Линейный регулятор напряжения.

Вольтодобавочный трансформатор (ВДТ) – это устройство, которое состоит из двух электрических трансформаторов [3]:

- 1) автотрансформатор или регулировочный трансформатор, который обладает переменным коэффициентом трансформации;
- 2) последовательный трансформатор, в котором первичная обмотка подключена в рассечку линии.

Их применение целесообразно для выполнения задач, когда автотрансформаторы и обычные трансформаторы не оснащены устройствами РПН (рис. 1).

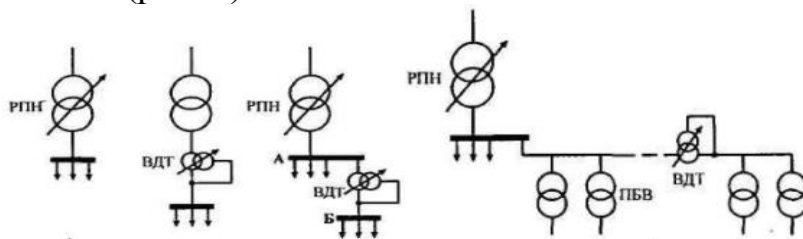


Рис. 1. Способы установки ВДТ

Добавление ВДТ дает возможность ликвидировать не симметрию напряжения в отдельных участках цепи; выравнять напряжение в электросистеме и сокращать последствия обрыва нулевого проводника.

Перейдем к регулированию напряжения в сетях изменением потоков реактивной мощности в них.

С помощью таких устройств как батареи конденсаторов и синхронных компенсаторов возможно регулировать напряжение в электрической сети.

Компенсирующие устройства, такие как синхронные компенсаторы и батареи статических конденсаторов нужны для изменения потоков реактивной мощности. Использование их в роли компенсирующего устройства батарей статических конденсаторов обеспечивает только регулирование напряжения в сторону повышения, так как у конденсаторов есть свойство только вырабатывать реактивную мощность (рис. 2).

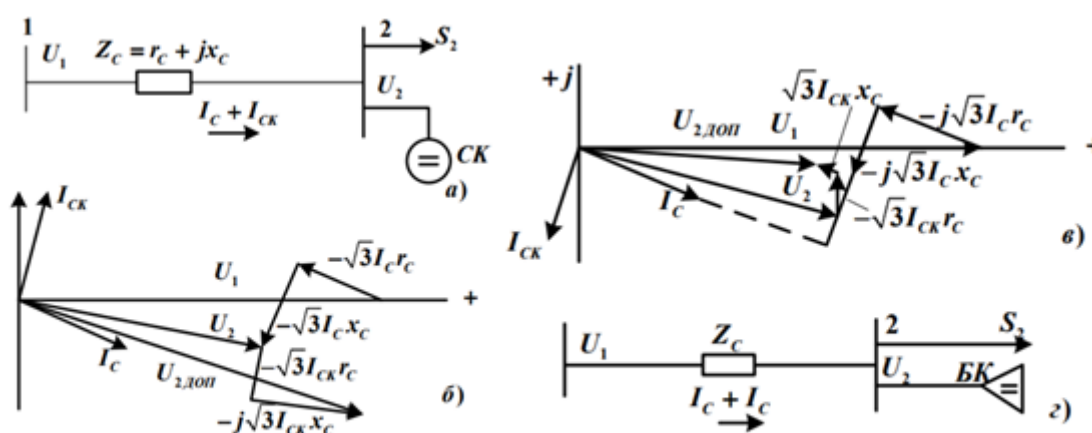


Рис. 2. Компенсирующие устройства: а – подключение синхронного компенсатора; б – диаграмма синхронного компенсатора при режиме перевозбуждения; в – диаграмма при недовозбуждении; г – подключение батареи конденсаторов

Перейдем к регулированию напряжения в сетях изменением параметров сети.

С помощью изменения сопротивления питающей сети возможно регулировать напряжение в энергетической сети. Повышение напряжения в максимальных нагрузках, благодаря уменьшению реактивного сопротивления цепи возможно достичь, применяя продольную компенсацию индуктивности линии (рис. 3).



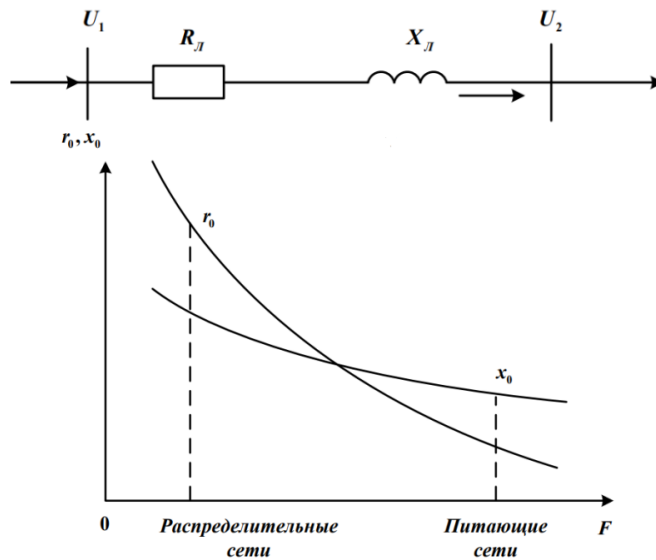


Рис. 3. Характер зависимости сопротивления сети от сечения

В питающих сетях,  $x_0 > r_0$  связи с этим разницу напряжений принимает реактивное сопротивление данной линии, мало зависящая от сечения линии [2].

Теперь рассмотрим встречное регулирование напряжения на подстанциях с помощью РПН (рис. 4, 5).

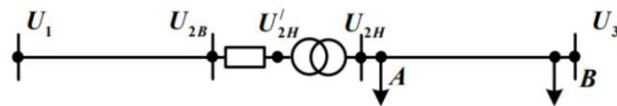


Рис. 4. Схема участка электрической сети

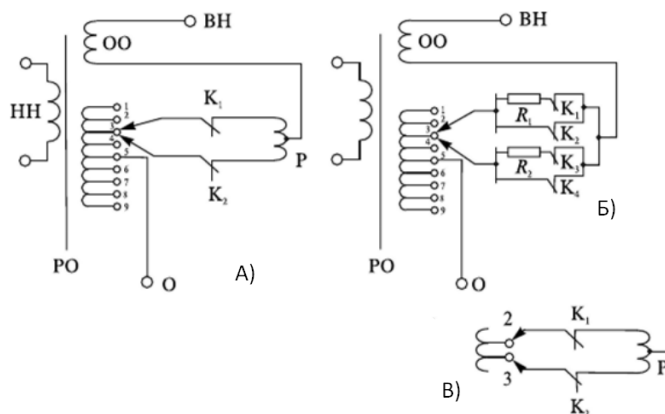


Рис. 5. Схемы обмоток трансформаторов с РПН: а – с реактором (токоограничивающим); б – с активными сопротивлениями; в – промежуточное положение переключателя

Данный метод объясняет изменение напряжения в связи с изменением графика нагрузки электроприемника.

При минимальных нагрузках, напряжение в центре питания (ЦП) выше, а потери напряжения в цепи гораздо меньше. В связи с этим напряжение на потребителях А и В выше чем значения в ПУЭ. Для получения нормальных значений величин отклонения напряжения на шинах потребителей, следует менять коэффициент трансформации [4].

Регулирование напряжения в питающих сетях сильно связано с регулированием в распределительных сетях, ведь изменение напряжения в ЦП воздействует на отклонение напряжения в электроприемниках, причем отклонение напряжения не всегда состоит в интервале нужных значений [5].

На сегодняшний день осуществляется ряд мероприятий, которые направлены на повышение качества регулирования напряжения. В данный перечень входят такие немаловажные действия, как организационные мероприятия оперативным персоналом подстанций и центров управления сетями, мероприятия по обеспечению средствами регулирования напряжения и реактивной мощности, разработка первоклассных автоматических систем регулирования этого напряжения в сети.

Последующее развитие системы регулирования напряжения, должно основываться на широком применении современных средств регулирования под управлением централизованных систем автоматического управления.

На настоящий момент Россия находится на самом начальном этапе, развития «умных сетей», которые позволяют не только наблюдать за параметрами, но возможно и автоматически регулировать напряжение этих электрических сетей. Сейчас российские энергосистемы практически не развиваются, что способствует их физическому и моральному износу. Поэтому очень актуальным считается вопрос развития в нашей стране сети совершенно другого уровня, в основу которой будут положены передовые достижения современной науки.

### **Источники**

1. Dissercat [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-issledovanie-kompensatora-reaktivnoi-moshchnosti-so-stabilizatsiei-napryazheniy-0> (дата обращения 07.03.2022).

2. Учебно-методический комплекс «Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях» / Ю.В. Мясоедов. Благовещенск, 2013.

3. ElectricPS. Вольтодобавочный трансформатор [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://goo.su/GzaR66> (дата обращения 27.02.2022).

4. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. М.: Энергия, 1975. 182 с.

5. Мельников Н.А., Солдаткина Л.А. Регулирование напряжения в электрических сетях. М.: Энергия, 1968. 152 с.

УДК 621.314.222.6

## **ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРА БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Л.А. Хафизов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[linarlinar14@gmail.com](mailto:linarlinar14@gmail.com)

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. В.В. Максимов

В работе представлены основные способы диагностики трансформаторов без отключения его от линий электропередач.

**Ключевые слова:** диагностика трансформатора, тепловизионный мониторинг, тепловизор, вибрационная диагностика, мониторинг.

Устранение последствий аварийного режима заключается в полной оценке оборудования на подстанции без отключения его от линий электропередачи. Наравне с периодическим осмотром трансформаторного масла есть другие методы диагностики, которые помогают своевременно обнаружить дефекты, которые могут развиваться как медленно, так и с высокой скоростью [1].

Тепловизионный мониторинг считается наиболее эффективным способом для диагностики состояния оборудования на подстанции, поскольку позволяет вести постоянный автоматический удаленный мониторинг практически в любую погоду. Кроме того, этот способ позволяют избежать многих технических и связанных с затратами проблем, связанных с другими технологиями.

Работа всех тепловизионных систем основана на восприятии разницы температур между двумя объектами, и преобразовании этой разницы в видимое изображение. Поскольку все тела нагреваются по-разному, то возникает картина распределения инфракрасного (ИК) излучения. Чем выше разница между интенсивностью ИК-излучения объекта и интенсивностью ИК-излучения фона, тем более четким и контрастным будет тепловое изображение. Современные тепловизионные приборы способны регистрировать перепады температур в пределах 0,015–0,07°С.

Преимущество тепловизоров заключается в том, что они не нуждаются во внешних источниках освещения, это пассивные системы, которые хорошо работают как в дневных, так и в кромешных ночных условиях. Как упоминалось ранее, плохие погодные условия, такие как туман или дождь, не создают препятствий для тепловизора, в этих условиях обычные приборы ночного видения были бы совершенно бесполезны [1].

Работу всех тепловизионных приборов можно просто описать следующим образом:

- объектив тепловизора формирует карту температуры всего, что находится в поле зрения, на поверхности теплового датчика (также называемую картой разности температур);

- микропроцессор и другие электронные элементы считывают данные с термодатчика, обрабатывают их и создают на дисплее форму, представляющую собой визуальную интерпретацию данных. Затем это изображение просматривается наблюдателем через окуляр или непосредственно на экране.

Температурная шкала считается обязательным элементом термограммы, которая показывает соотношение между температурой поверхность исследуемого объекта и цветовой гаммой термограммы (рис. 1).

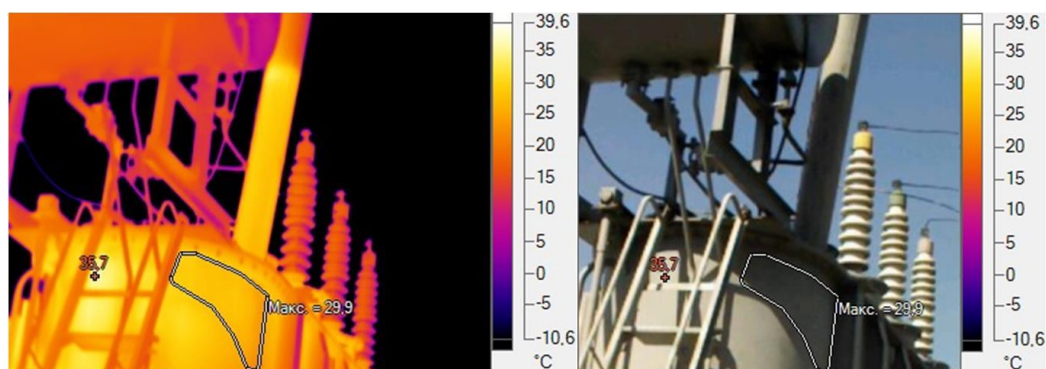


Рис. 1. Внешний вид термограммы силового трансформатора

Температурная шкала считается обязательным элементом термограммы, которая показывает соотношение между температурой поверхности исследуемого объекта и цветовой гаммой термограммы (рис. 1).

Образец термограммы и ее образ силового трансформатора 10 кВ приведен на рис. 2.

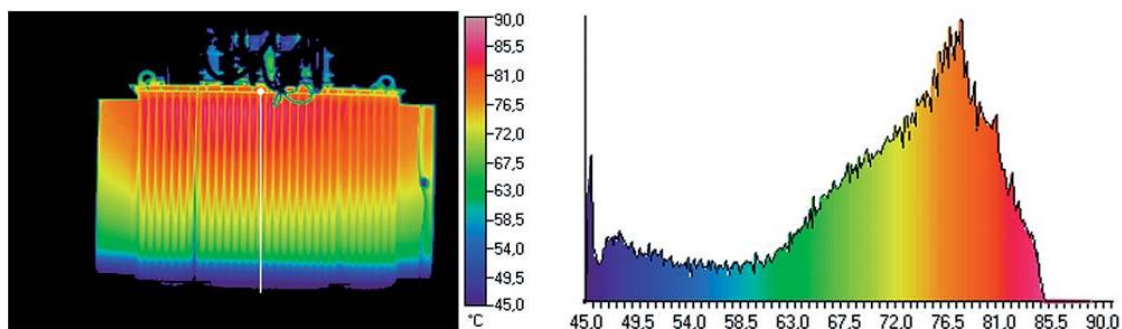


Рис. 2. Термограмма и её образ для масляного герметичного трансформатора ТМГ мощностью 1250 кВА и напряжением 10/0,4 кВ при 100 % нагрузке

Длинноволновые тепловизоры (8–12 мкм) больше подходят для диагностики электрооборудования ОРУ и ВЛ, поскольку коротковолновые тепловизоры (2–5 мкм) обладают проблемами с поглощением атмосферы и наличием солнечного отражения [2].

Так называемая солнечная радиация возникает во всех этих диапазонах, но ее размеры отличаются, что дает некие проблемы в коротковолновом диапазоне.

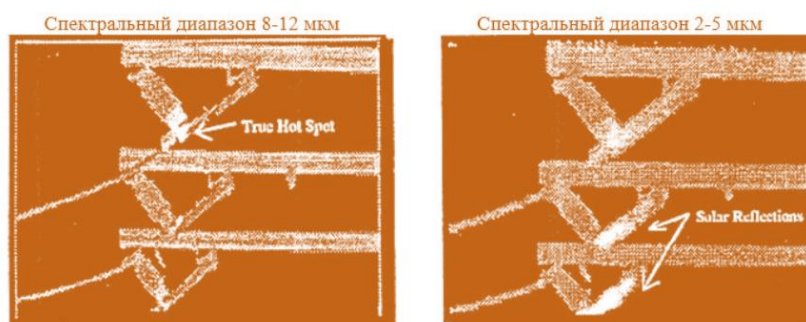


Рис. 3. Сравнительные результаты ИК-контроля контактных соединений тепловизорами с разной длиной волны

Наглядно видно, что тепловизор с коротковолновым диапазоном показывает горячие точки на нижних петлях, но настоящая горячая точка находится на верхнем участке (рис. 3).

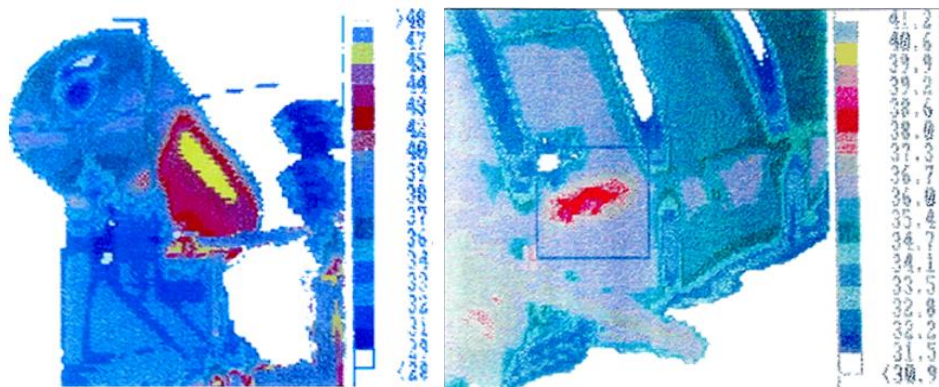


Рис. 4. Термограмма расширителя трансформатора. Нагрев болтов разъема колокола бака трансформатора

На рис. 4. представлена термограмма расширителя трансформатора, по которой можно определить уровень масла в нем, позволяя в ряде случаев оценить правильность показания датчиков уровня масла. Также видно термограмму нагрева болтов разъема колокола бака трансформатора, который позволяет свидетельствовать о появлении дополнительных полей рассеяния в результате нарушения связей в магнитопроводе [2].

Теперь рассмотрим вибродиагностику.

Метод вибрационной диагностики считается одним из наиболее эффективных инструментов для обнаружения внутренних неисправностей в трансформаторах посредством анализа изменений вибрационной характеристики бака. Изменения механических свойств обмоток и сердечника в конечном итоге повлияют на вибрационную характеристику резервуара [3].

Ключевым моментом обнаружения потенциальных неисправностей трансформатора является извлечение признаков в сигнале, которые связаны с характеристиками неисправности.



Рис. 5. Внешний вид виброанализатора

Этот прибор (рис. 5) представляет собой конструкцию из:

- 1) электронный блок;
- 2) первичные вибродатчики - пьезоэлектрический акселерометр;
- 3) щуп ударных импульсов;
- 4) тахометрический датчик.

Для количественного описания вибросигналов используют следующие параметры [3]

– виброскорость – скорость, с помощью которой перемещается контролируемая точка (мм/с);

– виброускорение – величина, указывающая силовое воздействие на вызвавшую вибрацию (м/с);

– виброперемещение – границы, по которой перемещается контролируемая точка (определяется двойной амплитудой механических колебаний, мкм).

На этапе подготовки к проверке трансформатора на него наносится маркировка его масляного бака. Поверхность резервуара разделяется по высоте на несколько уровней. По периметру поверхность резервуара разделена на сектора с учетом ребер жесткости, при этом номера секторов рекомендуется отсчитывать от левого сектора на стороне высокого напряжения трансформатора (фаза А) к фазе С [4].

Результаты выполненных измерений сводятся в таблицу, в соответствии с которой строится график среднеквадратичных значений вибрационных перемещений поверхности резервуара.

В результате вибрационной диагностики, ее результаты сравниваются между собой, а также с отчетами прошлых измерений.

Мониторинг электрооборудования во время эксплуатации позволяет увеличить срок его службы, увеличить интервалы между детальными проверками и ремонтами. Кроме того, на практике, в случае регулярной диагностики энергетического оборудования, стоимость ремонта вместе с экономическим ущербом от перебоев значительно снижается.

### **Источники**

1. Шилин А.Н., Шилин А.А., Артюшенко Н.С., Дементьев С.С. Приборы контроля и диагностики в электроэнергетике: учеб. пособие. Волгоград, 2017.

2. СРО-Э-150 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sro150.ru/metodiki/112-osnovnyie-polozeniia-metodiki-infrakrasnoj-diagnostiki-elektrooborudovaniia> (дата обращения 03.03.2022).

3. Дмитриев С.А., Кокин С.Е., Глушков Д.А. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учеб. пособие; под ред. А.И. Хальясмаа. Екатеринбург: УрФУ, 2015.

4. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надёжность и диагностика элементов электроустановок. СПб.: Элмор, 2009. 336 с.

5. Михеев Г.М. Электростанции и электрические сети. Диагностика и контроль электрооборудования. М.: Додэка-XXI, 2010. 224 с.

УДК 621.315.6

## ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Ш.Р. Яхин<sup>1</sup>, Н.А. Губарев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>reventon.201223@gmail.com, <sup>2</sup>nikita20143@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Х. Сабитов

В тезисе описывается метод диагностики электрооборудования тепловизионным методом с использованием искусственного интеллекта для определения места неисправности и типа оборудования.

**Ключевые слова:** электрооборудование, искусственный интеллект, машинное обучение, тепловизионная проверка, термография, подстанции.

Мониторинг состояния электрооборудования электрических станций и подстанций является важнейшей составляющей в деятельности энергетических компаний, поскольку раннее обнаружение дефектов предотвращает развитие крупных аварий. Наиболее эффективными в этом плане являются тепловизионные и УФ методы диагностики электрооборудования. Однако данные методы являются профилактическими и выполняются, в основном, во время ремонтных работ.



С развитием роботизированной техники появилась возможность непрерывно вести наблюдение за электрооборудованием на объекте. На самоходные тележки можно установить телевизионные и видеокамеры, однако без программы, которая может автоматизировать процесс выявления неисправностей, такой способ будет неэффективным, так как будет требовать постоянное наблюдение оператором. Данную проблему можно решить технологией машинного обучения. Для данного исследования была выбрана технология распознавания объектов по изображениям на базе нейронных сетей. Использование этих методов и алгоритмов, основанных на глубоком обучении, которое также основано на машинном обучении, требует большого понимания математических и глубоких структур обучения. Однако существует ряд решений, позволяющих использовать данную технологию, не углубляясь в работу нейронных сетей. В данном исследовании была использована технология TensorFlow Object Detection API [1].

При работе с тепловизионными камерами следует учитывать два эффекта: коэффициент излучения и коэффициент отражения. Излучательная способность связана с эффективностью объекта по излучению ИК-излучения, а отражательная способность измеряет, как поверхность объекта отражает излучение. Оба зависят от свойств поверхности объекта, таких как шероховатость, покрытие, морфология и окисление, и связаны уравнением:

Коэффициент отражения = 1 – Коэффициент излучения.

Для достижения коэффициента излучения 1,0 поверхность должна вести себя как абсолютно черное тело, что невозможно получить в обычных условиях. Однако для термографических измерений желательно, чтобы поверхность имела максимально возможную излучательную способность.

Когда поверхность отполирована и блестящая, как зеркало, отражательная способность очень высока, и измерения температуры смещаются из-за фоновой температуры. Следовательно, пользователь должен избегать захвата зашумленных сигналов через отражающую поверхность, таких как солнечные блики, и получать изображения под разными углами [2].

Данная проблема решается путем ведения съемки под разными ракурсами. Самоходные аппараты, производящие видеосъемку, проходя по маршруту, могут производить замер и фиксацию, по мере прохождения маршрута на подстанции. Данные роботы уже применяются в различных сферах. Например, на рис. 1 представлен робот для охраны предприятий компании SMProbotics. Также приведены основные подходы в создании роботизированных комплексов в работе [4].



Рис. 1. Самоходный инспектор Outdoor robot S3.2 [3]

В электроэнергетике ведение съемки таким роботом позволит обеспечить круглосуточную диагностику электрооборудования на важных объектах энергетике. Для автоматизации и совместной работы с подобными комплексами была создана программа, которая определяет тип и место неисправности электрооборудования. В программе заложена модель на базе машинного обучения, которая определяет место, где нагрев превысил допустимые значения. Это мера нужна из-за того, что у каждого оборудования свои параметры максимальной температуры работы. Также определение типа оборудования позволит создавать по итогу проверки отчет, в котором будет задокументировано место, где робот произвел съемку, тип оборудования, допустимые параметры работы этого оборудования и шкалу, по которой можно понять, насколько критична неисправность. Имея большую базу данных, программа также может определить степень загрязнения оборудования, тем самым повысить точность проверки. На текущей стадии программа определяет соответствие оборудования по фотографии. На рис. 2 представлен результат анализа изображения программой.

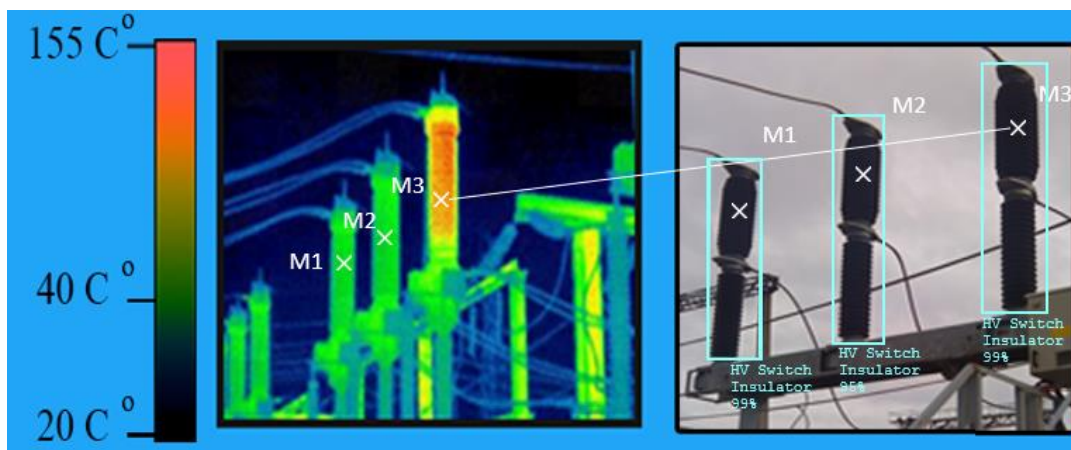


Рис. 2. Термография выключателя 110 кВ на подстанции (слева) и видеосъемка с определением типа оборудования (справа)

Планируется расширение базы данных и функционала работы программы, работа над интерфейсом и подготовка к совместной работе с роботизированными системами.

### Источники

1. «YOLO object detection with OpenCV». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pyimagesearch.com/2018/11/12/yolo-object-detection-with-opencv/> (дата обращения 02.03.2022).
2. Франциска Моргадо «Thermal Imaging in AI». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nilg.ai/blog/202004/thermal-imaging-in-ai/> (дата обращения 02.03.2022).
3. Outdoor security and inspection robots [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smrobotics.com/> (дата обращения 02.03.2022).
4. Губарев Н.А., Сабитов А.Х. Роботизированный комплекс мониторинга состояния электрооборудования электрических подстанций 110-220 кВ // Сб. тр. Межд. науч.-техн. конф., посв. 140-летию изобретения электросварки Н.Н. Бенардосом. Иваново, 2021, С. 87-90.

## Секция 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

УДК 621.311.1

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА УСЛОВИЙ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ОТДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ

М.Ф. Агзамов<sup>1,2</sup>, Э.Ф. Хакимзянов<sup>2</sup>, Р.Р. Гибадуллин<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», <sup>2</sup>ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань  
agzamovmf@energo-razvitie.ru

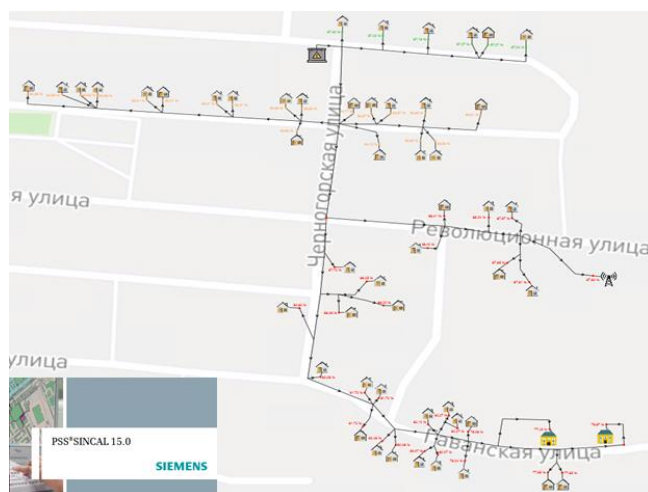
Используемые на сегодняшний день методы для улучшения состояния сетей не имеют возможности формировать технически обоснованные энергоэффективные инвестиционные программы развития и модернизации электрической сети. В статье показана возможность моделирования систем электроснабжения и предложены варианты модернизации в сетях 0,4 кВ, которые позволяют повысить надёжность электроснабжения потребителей, показатели качества поставляемой электроэнергии, оптимизировать режимы работы электрической сети, повысить пропускную способность и уменьшить пиковую нагрузку сети.

**Ключевые слова:** моделирование систем электроснабжения, цифровой двойник, показатели качества электрической энергии, модернизация электрических сетей, программный комплекс PSS Sincal, система накопления электрической энергии.

Одним из ключевых вопросов эффективного развития и функционирования энергосистемы, с учетом развития секторов промышленности и социальных объектов, является вопрос совершенствования электрических сетей, а также разработка перспективных моделей их развития. Одновременно повышаются и требования к пропускной способности, надёжности электроснабжения и качеству полученной электрической энергии. Всё перечисленное приведет к использованию цифрового двойника электрических сетей систем электроснабжения. Цифровой двойник электрических сетей – это реализованная в специальном программном обеспечении математическая модель электрических сетей, позволяющая выявлять уязвимые места в энергосистеме при проектировании, в процессе эксплуатации, а также при разработке сценариев развития сети.

В качестве инструмента для проведения моделирования и анализа текущего состояния электрической сети возможно применение программного комплекса PSS®SINCAL. Для определения объема и целесообразности модернизации низковольтных сетей напряжением 0,4 кВ выбрана электрическая сеть, прилегающая к комплектной трансформаторной подстанции (КТП), в которой, по результатам замеров параметров режима отклонение уровня напряжения превышает регламентируемого значения [1].

В результате произведенного расчета установившегося режима с учётом профиля нагрузок работы сети получили максимальное отклонение напряжения от номинального свыше 10 % (см. рисунок). Также в программном комплексе PSS Sincal проведены суммарные расчетные потери электроэнергии в пике нагрузок, которые составили 15 %. Таким образом, данная схема не позволяет обеспечить потребителя электроэнергией требуемого качества, что предполагает необходимость модернизации электрической сети.



Поопорная схема электроснабжения электрической сети с результатом расчета в ПК

В связи с этим были приняты к рассмотрению варианты повышения качества электроснабжения потребителей участка с дальнейшим изменением математической модели сети. Исходя из полученных результатов, а также анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых вариантов систем электроснабжения, наименьшее отклонение напряжения от номинального на наиболее удаленном участке электрической сети имеет решение с применением системы накопления электрической энергии, которая позволяет более гибко реагировать на изменение режимов работы электрической сети.

Исследование показало, что модернизация электрической сети 0,4 кВ с помощью установки системы накопления электрической энергии является наиболее перспективным решением по обеспечению нормативного уровня напряжения на проблемных участках ВЛ-0,4 кВ и повышению надежности социально-значимых объектов, в том числе отдельных потребителей второй категории электроснабжения, а также электроснабжения удаленных территорий. Система накопления электрической энергии предназначена для накопления, хранения электрической энергии и отдачи её в сеть или нагрузку с целью поддержания функционирования энергосистемы, повышения эффективности её работы и обеспечения требуемого качества электрической энергии. Также, СНЭЭ обеспечивает эффективную интеграцию установок на основе ВИЭ в энергосистему с повышением экономических и технических показателей.

В настоящее время системы накопления электрической энергии широко применяются для решения различных задач по всему миру. В последнее десятилетие интенсивное развитие технологий преобразования энергии и снижение стоимости аккумуляторных батарей привели к созданию СНЭЭ с такими характеристиками, которые уже сейчас позволяют реализовывать проекты, эффективные с технической точки зрения и целесообразные – с экономической, в Единой энергетической системе России и, особенно, в автономных энергосистемах.

### **Источники**

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 7 с.

## **АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ЦЕЛЬЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ**

Р.И. Ахтямова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

renata120598@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Гибадуллин

В статье рассматриваются вопросы анализа существующих методов определения мест повреждения кабельных линий без разрушения кабельных трасс.

**Ключевые слова:** кабельные линии, неразрушающая диагностика, частичные разряды, возвратное напряжение, ток релаксации, диэлектрические характеристики.

Повреждение силового кабеля и выход его из эксплуатации приводит к значительным материальным затратам, как вследствие перерывов в электроснабжении, так и в затратах на поиск места повреждения. Следовательно, главным требованием к современным методам поиска места повреждения является минимизация затрат времени поиска с максимальной точностью.

Увеличение качества электроснабжения с точки зрения его бесперебойности, требует применения неразрушающих методов контроля и диагностики силовых кабельных линий (КЛ) без вывода их из эксплуатации [1].

К настоящему времени на основе применения современных технологий были созданы достаточно компактные диагностические системы и приборы для неразрушающей диагностики силовых КЛ в условиях эксплуатации, которые могут использоваться либо как отдельные переносные системы, либо могут быть встроены в передвижные кабельно-измерительные лаборатории.

Значительное внимание в последние десятилетия уделяется разработке и внедрению неразрушающих методов диагностики и оценки ресурса силовых кабельных линий без вывода их из эксплуатации. Основные исследования по этой теме проводятся в России, Германии и Японии.

Существует значительное количество методов диагностики кабельных линий, нашедшие своё применение как в России, так и за рубежом, среди которых можно выделить следующие [2]:

- оценка характеристик частичных разрядов (ЧР);
- анализ уровней возвратного напряжения;
- измерение токов релаксации в изоляции кабелей из сшитого полиэтилена;
- определение диэлектрических характеристик изоляции.

Оценка состояния кабельных линий при помощи регистрации частичных разрядов позволяет выявить место расположения частичного разряда, их количество в определённых местах трассы, величины напряжений возникновения и исчезновения, тангенс угла диэлектрических потерь, ёмкость и прочие величины. Оценка всех указанных параметров позволяет не только определить место повреждения кабельной линии и получить данные о её техническом состоянии [3].

Метод отражённых импульсов или импульсный метод рефлектометрии позволяет провести предварительную оценку локализации места повреждения. Суть метода заключается в регистрации отражённого сигнала от коротких низковольтных импульсов, посылаемых в кабельную линию. По анализу параметров отражённого импульса проводят определение повреждений или неоднородностей в кабеле, а также их тип и оценочное расстояние до места повреждения. Данный способ можно использовать для расчёта расстояния до места повреждения, а также для определения места короткого замыкания или низкоомного повреждения [4].

Разработанные современные портативные импульсные рефлектометры при компактном размере позволяют проводить оценку состояния кабельных линий большой длины, имеют высокую разрешающую способность, низкую погрешность измерения, большую внутреннюю память и широкие телекоммуникационные возможности, высокую энергоэффективность и питание от автономных источников [2].

Появление в кабеле какого-либо повреждения вызывает в свою очередь волновые процессы. В настоящий момент широко распространены два способа реализации волнового метода – это метод бегущей волны и метод импульсного тока.

При реализации метода бегущей волны напряжения в кабельную линию от источника постоянного напряжения через сопротивление, величина которого значительно больше волнового сопротивления линии ( $W$ ), подают напряжение отрицательной полярности, которое медленно повышают до пробоя (короткого замыкания).



Реализация метода импульсного тока проводится подключением генератора высоковольтных импульсов и разрядника к исследуемой жиле кабельной линии [5]. Следует отметить, что в отличие от метода бегущей волны, выходное сопротивление высоковольтного генератора следует устанавливать значительно ниже, чем волновое сопротивление исследуемого кабеля. При этом коэффициент отражения по току должен быть больше нуля.

Каждый из существующих методов эффективен по-своему в отдельном случае, имеет индивидуальные особенности применения. На основе опыта определения мест и возможного характера повреждения кабельных линий важно выбрать наиболее эффективный метод определения и соответственно поисковое устройство для каждой конкретной ситуации.

Проведенный обзор используемых на сегодняшний день методов неразрушающей диагностики кабельной линии позволяет сделать вывод, что наиболее широкие возможности предоставляет метод измерения и локализации частичных разрядов при помощи осциллирующего затухающего напряжения.

Использование этого метода позволяет, как получить диагностические данные технической оценки состояния кабельных линий, без повреждения её изоляции, так и выявить и локализовать проблемные участки кабелей с повышенным уровнем частичных разрядов.

### **Источники**

1. Голенищев-Кутузов А.В. [и др.] Использование бесконтактных методов диагностики высоких электрических полей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №21(4). С. 123-133.

2. Виноградов А.В. [и др.] Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. №23(3). С. 34-46.

3. Котеленко С.В. Методы определения мест повреждения кабельных линий // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. №12.

4. Белоусов В.Е. Способы поиска и определения повреждений в кабельных линиях // Научный журнал. 2017. №6-2 (19).

5. Васильев Г.Д. Анализ видов повреждений в кабельных линиях // Вестник магистратуры. 2017. №9 (72).

## **КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ТРАНСФОРМАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСКОНТАКТНОГО ЛАЗЕРНОГО КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА**

В.Р. Басенко<sup>1</sup>, М.Ф. Низамиев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vasiliybas123@mail.ru, <sup>2</sup>marat.nizamiev.90@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. И.В. Ившин

В тезисе рассмотрены возможности разработанного бесконтактного лазерного контрольно-измерительного комплекса для контроля технического состояния магнитопровода трансформатора по параметрам вибрации.

**Ключевые слова:** бесконтактный лазерный контрольно - измерительного комплекс, параметры вибрации, контроль технического состояния, силовой трансформатор.

Силовые трансформаторы являются самым ответственным элементом электросетевого хозяйства. Поэтому вопрос повышения качества контроля его технического состояния является актуальной задачей. В ходе эксплуатации трансформатора происходит нагрев, который сопровождается увеличением осевых усилий в обмотках и магнитопроводе. В данном случае происходит существенное увеличение сил осевой пресковки электромагнитной системы трансформатора, в результате увеличатся и силы, действующие при коротких замыканиях, а значит, снижается электродинамическая стойкость элементов активной части силового трансформатора.

Большинство методов контроля технического состояния не позволяют осуществлять контроль трансформатора во время его эксплуатации, в отличие от вибрационных методов, которые позволяют контролировать состояние пресковки магнитопровода под рабочим напряжением. Вибрационные методы контроля являются высокоточными и чувствительными к развивающимся дефектам, что позволяет повысить качество контроля технического состояния трансформаторов [1].

С целью реализации спектрального метода вибрационного контроля уровня пресковки магнитопровода силового трансформатора разработан и создан лазерный контрольно-измерительный комплекс [1, 2]. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительного комплекс (ЛКИК) показан на рис. 1.

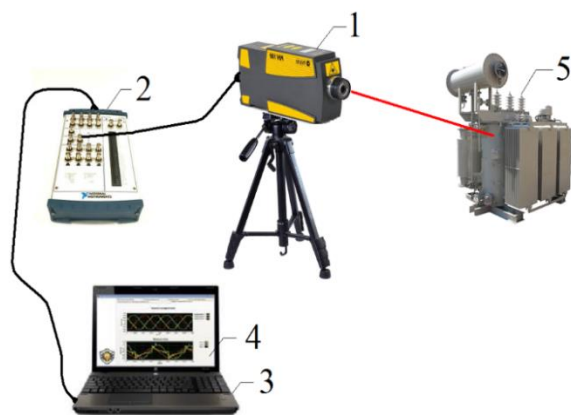


Рис. 1. Схема ЛКИК: 1 – лазерный виброметр PDV - 100; 2 – АЦП NI USB – 6251; 3 – персональный компьютер; 4 – программное обеспечение LabVIEW; 5 – силовой трансформатор

Особенностью разработанной измерительной аппаратуры является применение в качестве измерительных датчиков лазерных виброметров, которые позволяют:

- бесконтактно и оперативно измерять параметры вибраций в различных точках изделия в опасной для персонала зоне;
- работать с объектами повышенной опасности (под высоким напряжением);
- проводить измерения в труднодоступных местах;
- измерять параметры вибрации объектов сложной формы без предварительной подготовки поверхности объекта;
- производить измерения колебаний в исследуемых точках работающего двигателя на расстоянии до 5 м и т.д.

С помощью разработанного ЛКИК проведены экспериментальные исследования параметров вибрации работающего силового трансформатора ТСЗ 16 0,38/0,22 кВ.

Эксперимент заключался в измерении параметров виброскорости магнитопровода трансформатора на холостом ходу. Выбор режима холостого хода для проведения измерений обусловлен тем, что в данном режиме работы вибрация трансформатора возникает в результате магнитострикции магнитопровода [3].

Результаты измерений бездефектного эталонного трансформатора (уровень прессовки магнитопровода в норме) обработаны в программном обеспечении LabVIEW. Для определения уровня прессовки магнитопровода произведено сравнение спектров виброскорости с эталонным в информативном диапазоне частот от 150 до 1000 Гц с использованием целевой функции «Коэффициент корреляции».

В проведенном эксперименте значения целевой функции «коэффициент корреляции» находится ниже минимального значения доверительного интервала  $r=0,988$ , построенного с уровнем доверительной вероятности 0,95, что говорит о недопустимом уровне опрессовки магнитопровода данного силового трансформатора.

### Источники

1. Бесконтактный лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора / В.Р. Басенко, О.В. Владимиров, И.В. Ившин, М.Ф. Низамиев // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 155-168

2. Басенко В.Р., Низамиев М.Ф. Анализ вибрационных сигналов силового трансформатора с применением лазерного измерительно-диагностического комплекса // «ЭНЕРГИЯ-2020»: 15-я всерос. (7-я межд.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: Сб. матер. конф. 2020. Т. 3. С. 26

3. Низамиев М.Ф. Анализ методов исследования виброакустических характеристик деталей сложной формы и технических средств обработки сигналов сложной формы // IX конференция «Тинчуринские чтения». 2014. Т. 1. С. 151-152.

УДК 621.314.21

## АНАЛИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

И.Л. Гайфуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilnur.gaifullin20@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. О.В. Владимиров

Рассмотрены основные сведения о системах мониторинга технического состояния трансформаторного оборудования. Определение технического состояния трансформаторов и повышение эксплуатационной надежности в настоящее время имеет большую актуальность.

**Ключевые слова:** трансформатор, анализ, техническое состояние трансформатора, система мониторинга и диагностики, техническая диагностика.

Анализ систем мониторинга высоковольтных трансформаторов проводился на примере семи отечественных систем, основные параметры которых указаны в таблице.

Общие сведения о системах мониторинга технического состояния трансформаторного оборудования

Наименование системы	Разработчик	Главная особенность
СМТО	ООО «АСУ-ВЭИ»	Возможность интеграции с цифровой подстанцией следующего поколения
НЕВА-АСКДТ	НПФ «Энергосоюз»	Для 10-750 кВ и 250-1250 МВА. Рекомендована Росэнергоатомом для установки на объектах
ВЕЛЕС	ООО «Мониторинг автоматика»	Кроме трансформатора, мониторинг кабельных линий и изоляции элегазового оборудования
ЭСМДУ-Транс	ПАО «ЗТР»	Алгоритмы экспертного решения результатов диагностики
ЭДИС Альбатрос	УрФУ	Поиск похожих событий, когда в вашей собственной базе данных появляется дефект. Постановка диагноза, классификация состояния объекта
СУПА	Холдинг МРСК	Система управления активами предприятия. Целесообразность списания, ремонта или замены трансформатора определяется путем сравнения стоимости воздействия с последствиями отказа
TDM-S	ООО «Димрус»	Система мониторинга марки TDM-S предназначена для контроля технического состояния распределительных трансформаторов мощностью 6 - 35 кВ

Чтобы определить технические параметры, все системы мониторинга и диагностики используют одни и те же методы: электрические параметры, температуры верхних и нижних слоев трансформаторного масла, уровень вибрации трансформатора.

Эти системы были реализованы в виде многослойной структуры. На первом уровне осуществляется сбор диагностической информации с помощью датчиков и нормализация сигналов для их передачи на следующий иерархический уровень первичным преобразователям. Второй уровень заключается в первичной обработке информации, поступающей с первого уровня. На этом уровне уже можно рассчитать некоторые диагностические параметры.

На следующем (третьем) уровне находится сервер сбора данных, в котором выполняется окончательный расчет диагностических параметров, проводится их анализ, информация вводится в базы данных. Она отображается в удобном представлении на мониторе, который позволяет оценить состояние контролируемого объекта. Системы мониторинга и диагностики оборудования трансформаторов СМТО, НЕВА-АСКДТ, ВЕЛЕС, ЭСМДУ-Транс, ЭДИС альбатрос, СУПА, описанные в таблице 1, имеют несколько существенных недостатков:

- отсутствие гибкости при подключении дополнительных датчиков для контроля технического состояния оборудования трансформатора;
- отсутствие возможностей для изменения, отладки и совершенствования программного обеспечения для анализа диагностических параметров;
- некоторые системы мониторинга и диагностики не имеют возможности управления в интернете;
- некоторые системы мониторинга и диагностики не обеспечивают контроль технического состояния трансформатора 35/6 кВ;
- высокая стоимость оборудования [1].

Оборудование системы мониторинга TDM-S лишена данных о недостатках.

В результате анализа существующих систем мониторинга и диагностики трансформаторов в РФ можно сделать вывод, что наиболее оптимальным и предпочтительным оборудованием для контроля диагностических параметров является оборудование системы TDM-S, изготовленное компанией ООО «Димрус».



Рис. 1. Система TDM-35S для мониторинга силовых трансформаторов с литой изоляцией с рабочим напряжением 10-35 кВ

Пять методов диагностики используются для оперативной оценки текущего технического состояния трансформатора в системе TDM-S:

- контроль состояния изоляции на основе регистрации и анализа частичных разрядов;
- регистрация температурных режимов работы трансформатора;

– контроль содержания влаги в масле для масляных трансформаторов;

– анализ состояния трансформатора с учетом параметров окружающей среды позволяет оценить эффективность системы охлаждения трансформатора;

– управление техническим состоянием конструкции трансформатора в соответствии с параметрами вибрации [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что система TDM-S более эффективна с использованием расширенного набора первичных датчиков и с использованием более информативных методов диагностики технического состояния управляемого трансформатора по сравнению с другими системами.

### **Источники**

1. Русов В.А. Диагностический мониторинг высоковольтных силовых трансформаторов. Пермь: DIMRUS, 2012. 159 с.

2. Мониторинг и диагностика силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dimrus.ru/tdms.html> (дата обращения 07.03.2022).

УДК 621.311.42

## **КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

А.Р. Галяутдинова<sup>1</sup>, М.Ф. Низамиев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Alsu296@yandex.ru, <sup>2</sup>marat.nizamiev.90@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав.каф. И.В. Ившин

В статье рассматривается возможность применения корреляционного анализа для установления связи параметров силового трансформатора.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, диагностируемые параметры, корреляция, трансформаторная подстанция.

Корреляционный анализ является известным методом статистического исследования, который изучает зависимости между случайными величинами  $x$  и  $y$ . Он определяет количественную оценку степени неслучайности их совместного изменения. Коэффициент корреляции изменяется в диапазоне от  $+1$  до  $-1$ .

Существует единое разделение корреляционных связей между исследуемыми признаками, в зависимости от величины коэффициента корреляции [1]. При  $r < \pm 0,3$  полагается, что связь между  $x$  и  $y$  практически отсутствует, при  $r = \pm 0,3 \dots \pm 0,5$  – связь слабая, при  $r = \pm 0,5 \dots \pm 0,7$  – умеренная, при  $r = \pm 0,7 \dots \pm 1,0$  – сильная. По направлению корреляционная связь бывает прямая (положительная) и обратная (отрицательная). При положительной связи с увеличением или уменьшением значений величины  $x$  происходит соответственно увеличение или уменьшение значений величины  $y$ . При отрицательной связи – наоборот, т.е. значения одного признака изменяются под воздействием другого, но в противоположном направлении. Чем выше коэффициент корреляции по модулю, тем существенней отражается изменение одного показателя на изменение второго. Данные исследования проведены в программе Microsoft Excel.

Объект исследования – силовой трансформатор типа ТМН – 6300/35, с начальными параметрами  $U=35$  кВ,  $I_n=103,9$  А,  $S=6300$  кВА, установленный на трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ. Предметом исследования являются диагностические параметры силового трансформатора [2]. Чтобы оценить техническое состояние выбранного трансформатора, определен перечень диагностических параметров и оборудования для их мониторинга (табл. 1).

Таблица 1

Перечень диагностических параметров и оборудования

№ п/п	Диагностические параметры	Оборудование
1	Влагосодержание в баке	TDM-10
2	Температуры масла в баке	TDM-10
3	Температура вводов	RFSens, WDM-T
4	Разрядная активность в баке	TDM-10

Вышеуказанные оборудования, установленные на трансформаторной подстанции 35/6 кВ, регистрирует и анализирует данные трансформатора в режиме реального времени. Данные передается на web-сервер для дальнейшей обработки. В таблице 2 представлены результаты корреляционного анализа силового трансформатора по диагностируемым параметрам: влажности и температуры воздуха, нагрузки, температуре вводов, амплитуде и мощности импульсов ЧР, температуре масла в баке.

Коэффициент корреляции между влагосодержанием в баке трансформатора и температурой воздуха равен 0,7542, что означает тесную связь. С повышением температуры воздуха увеличивается содержание влаги в баке трансформатора.



Таблица 2

## Корреляционный анализ

	Ампл-да имп-сов ЧР, мВ	Мощ-ть имп-сов ЧР, мВт	Темп-ра масла, °С	Темп-ра вводов фаза А, °С	Темп-ра вводов фаза В, °С	Темп-ра вводов фаза С, °С	Влагос-ние в баке, ppm	Темп-ра воздуха, °С	Влажность воздуха, %	Нагрузка, %
Ампл-да имп-сов ЧР, мВ	1									
Мощ-ть имп-сов ЧР, мВт	0,1319	1								
Темп-ра масла, °С	0,0066	-0,388	1							
Темп-ра вводов фаза А, °С	0,2907	-0,1802	-0,269	1						
Темп-ра вводов фаза В, °С	0,212	0,1607	-0,1425	0,3182	1					
Темп-ра вводов фаза С, °С	-0,6462	-0,5093	-0,1311	0,1155	-0,062	1				
Влагос-ние в баке, ppm	-0,0316	-0,3124	0,8783	-0,4082	0,2795	0,3678	1			
Темп-ра воздуха, °С	0,556	-0,476	0,8921	0,479	0,5315	0,6201	0,7542	1		
Влаж-ность воздуха, %	0,2456	-0,3873	-0,1827	-0,4472	0,4059	0,1409	-0,0308	-0,6142	1	
Нагрузка, %	0,1319	0,0423	0,4243	0,0795	-0,1094	-0,0747	0,0707	0,5342	0,052	1

По корреляционному исследованию можно установить, что коэффициент корреляции между влажностью и температурой воздуха равен  $-0,6142$ . Отрицательный коэффициент корреляции доказывает, что связь между этими параметрами обратная, т.е. с увеличением одной величины другая величина уменьшается. Связь параметров умеренная, т.к. коэффициент по модулю выше  $0,5$ .

Зависимость температуры и ЧР прямая ( $0,556$ ), а температуры и влажности воздуха – обратная, соответственно связь влажности и регистрацией ЧР так же является обратной. При уменьшении влажности воздуха, которая происходит при повышении температуры, происходит повышение амплитуды и мощности импульсов ЧР. Коэффициент корреляции маленький и значения по модулю не выше  $0,3873$  – связь этих параметров ниже среднего. Коэффициент корреляции амплитуды и мощности импульсов равен  $0,1319$ , что подтверждает низкую связь.

Рассмотрим зависимость температур окружающей среды и вводов. Коэффициент корреляции температуры воздуха и температуры вводов: по фазе А –  $0,479$ , по фазе В –  $0,5315$ , по фазе С –  $0,6201$ , который соответствует прямой и сильной связи. Коэффициент корреляции температуры воздуха и температуры масла в баке трансформатора равен  $0,8921$ , что подтверждает прямую связь.

Коэффициент корреляции между нагрузкой и другими параметрами не превышает  $0,5$ , соответственно можно сделать вывод, что связь данных параметров ниже среднего [3]. Данные были получены за 4,5 месяца. Соответственно коэффициенты корреляции варьируются очень сильно. Одной из причин может являться – необходимость калибровки датчиков, длительный сбор данных.

В результате полученных данных по диагностическим параметрам силового трансформатора, можно сделать вывод, что параметры изменяются в зависимости от сезона года. Экспериментальные исследования еще раз доказали обратную зависимость интенсивности ЧР и влажности воздуха, а также прямую зависимость температуры вводов. Влажность обратно пропорционально температуре окружающей среды.

### **Источники**

1. Белов Д.Б., Соловьев С.И. Применение корреляционно анализа для исследования процесса поставки и потребления энергетического ресурса // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 2. С.364-369.

2. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Усманов И.К. Методика онлайн оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ по коэффициенту экспресс-анализа // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т.23. № 4. С. 14-26.

3. Rozhentcova N.V., Galyautdinova A.R., Khayaliev R. A. et al. Automated Diagnostic System for Power Transformers using a QR Code // International Journal of Technology. 2020. V. 11(8). pp. 1519-1527.

УДК 628.977.1

## **К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

А.Т. Гарунов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

asim.garun.2017@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Н.В. Денисова

В статье обсуждаются экономические выгоды от замены газоразрядных ламп, обычно устанавливаемых на промышленных предприятиях, на светодиодные источники. Определены основные экономические показатели для оценки прямых и косвенных выгод, которые можно получить от использования светодиодных светильников.

**Ключевые слова:** светодиодные источники света, электропотребление, энергоэффективность.

Освещение рабочего места является одним из основных требований, способствующих нормальной и эффективной работе. Правильно спроектированная система освещения должна быть достаточной, чтобы соответствовать эргономическим требованиям и необходимым требованиям, но она должна быть эффективно рассчитана.

Распределение осветительных установок на рабочем месте специалиста должно удовлетворять необходимым нормативам и быть оптимальным.

Правильно организованное рабочее место позволяет повысить эффективность труда, создает благоприятную обстановку в учебных аудиториях, позволяет оптимизировать трудовые процессы, позволяет минимизировать затраты на новое оборудование и повышает качество выполненных работ [1].

В результате правильного и оптимального использования осветительных установок на рабочем месте, уменьшаются случаи травматизма на предприятии, снижается процент профессиональных заболеваний, что благоприятно для системы охраны труда.

Характеристика производственного освещения [2].

Стандартно в технических и производственных зданиях возможно использование одного из трех вариантов освещения:

- естественное;
- искусственное;
- совмещенное.

К естественному освещению относятся прямые или отраженные лучи солнца.

Расчёт затрат на внедрение светодиодных светильников.

Существенную долю всех коммунальных расходов предприятия занимают расходы на электроэнергию. В целях снижения данных расходов можно заменить ранее используемые лампы (люминесцентные, газоразрядные) на энергоэффективные светодиодные светильники, потребляющие в разы меньше электроэнергии. В то же время качественные характеристики освещения при правильном подборе светильников намного лучше, а срок службы всей осветительной установки - дольше.

Экологическая эффективность светодиодных светильников гораздо выше, в них отсутствует ртуть.

Годовые затраты на освещение рассчитываются по формуле:

$$Z = C_{\text{КАП}} + C_{\text{АМ}} + C_{\text{ВЛ}} + C_{\text{ЭЭ}},$$

где  $C_{\text{КАП}}$  – годовые отчисления капитальных вложений;  $C_{\text{АМ}}$  – амортизационные отчисления;  $C_{\text{ВЛ}}$  – стоимость владения осветительной установкой, включающая замену ламп, чистку светильников;  $C_{\text{ЭЭ}}$  – стоимость потребленной электроэнергии.

Примем округленно стоимость одного кВт·ч электроэнергии для предприятий за 5 рублей. Прежний светильник с лампой ДРЛ мощностью - 0,7 кВт предлагаем заменить на новый светодиодный светильник мощностью 0,2 кВт.

Расчет экономической выгоды и окупаемости применения светильников светодиодного типа приведен в табл. 1.

Таблица 1

## Экономическая выгода и окупаемость светодиодных светильников

Наименование	Светильники с ДРЛ	Светильники светодиодные
Число светильников (шт.)	240	240
Общая мощность (Квт)	168	40
Срок службы (часов)	10000	100000
Норма освещенности, лк	300	300
Срок эксплуатации (часов/день)	12	12
Срок эксплуатации (дней/год)	360	360
Срок эксплуатации (часов/год)	4320	4320
Общие затраты на электроэнергию в год, рублей	6036937	2181362
Капитальные затраты	2728167.36	4639217.81

Результаты расчетов в табл. 1 демонстрируют эффект замены лампы ДРЛ на LED светильник. Стоимость покупки Diolum-PR-IP65-8124W200L90 LED Light составит 9490 рублей.

В течение 8-10 месяцев после использования светодиодных светильников DIOLUM на производственной площадке (с учетом стоимости установки новых ламп и светильников) предприятие полностью окупит на счетах за электроэнергию.

Использование светодиодного освещения может не только сэкономить затраты на электроэнергию, но и оптимизировать условия освещения всего здания. Светодиодный светильник не будет мерцать, что абсолютно безопасно и более удобно для человеческих глаз. Рабочие меньше устают и тем самым повышают производительность труда.

Далее в таблице 2 рассчитаем срок окупаемости использования светодиодной лампы типа Diolum-PR-IP65-8124W200L90.

Расчет простого (без дисконтирования) срока окупаемости ( $C_{OK}$ ) проводится по следующей формуле:

$$C_{OK} = \frac{\text{Капитальные затраты}}{\text{прибыль за первый год}} = \frac{4639217,81}{78630793,66} = 0,59 \text{ лет.}$$

## Расчет срока окупаемости светодиодных светильников

Показатели	2022 год
Стоимость электрической энергии, рублей за кВт·ч	5
Расходы на приобретение и монтаж, руб.	1485480
Экономия в результате снижения электропотребления, руб.	4549457,61
Экономия на замене светильников, утилизации и т.п., руб.	592728,00
Общая экономия, руб. /год	7863079,66
Прибыль, руб./год	7863079,66

Проведенная оценка срока окупаемости проекта по модернизации освещения демонстрирует его целесообразность, так как он окупится за шесть месяцев. Кроме того, будет получена существенная экономия средств в первый год использования.

### Источники

1. Светодиодное освещение как способ стимулирования учебно-познавательной деятельности / Р.Р. Шириев [и др.] // Вестник КГЭУ. 2016. № 2(30) . С. 144–152.

2. Осветительные установки промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: КГЭУ, 2016. 206 с.

УДК 621.316

## ОБЗОР РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАТАРЕЯМИ

Б.К. Губайдуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
basyr.gubaidullin@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Р. Сафин

Меняющийся глобальный ландшафт распределения и использования электроэнергии создал область потребностей в системах хранения энергии, что делает их одними из самых быстрорастущих продуктов для электроэнергетических систем. Ключевым элементом в любой системе хранения энергии является возможность мониторинга, контроля и оптимизации производительности отдельных или нескольких аккумуляторных модулей в системе хранения энергии и возможность контролировать отключение модуля (модулей) от системы в случае ненормальных условий. Эта схема управления известна как «система управления батареями (BMS - Battery management system)», которая является одним из основных блоков в электрооборудовании.

**Ключевые слова:** система управления батареями, хранения энергии, электромобили, контроль.

BMS реагирует как внешними событиями, так и внутренним событием [1]. Он используется для улучшения производительности батареи с надлежащими мерами безопасности в системе. Поэтому безопасная BMS является обязательным условием для эксплуатации электрической системы [2]. В данной статье анализируются детали BMS для электротранспорта и крупномасштабного (стационарного) хранения энергии.

Анализ включает в себя различные аспекты BMS, охватывающие тестирование, компоненты, функциональные возможности, топологию, эксплуатацию и архитектуру BMS. В статье исследуются аспекты безопасности BMS, технология батарей и потребности в регулировании. А также дополнительно изучает существующие пробелы в отношении требований безопасности и эксплуатационных требований BMS, уделяя основное внимание электрическому транспорту и стационарному применению. В заключение определены четыре основных направления: строительство BMS, параметры эксплуатации, интеграция BMS и установка для повышения безопасности, и производительности BMS. Для каждой области были предоставлены подробные рекомендации. Также представлена комплексная оценка компонентов, архитектур и рисков безопасности, применимых к эксплуатации BMS [3].

### **Источники**

1. Система управления батареи (BMS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e-solarpower.ru/faq/sistema-upravleniya-batarei-bms/> (дата обращения 12.03.22).
2. Хрусталеv Д.А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003. 224 с.
3. Сердечный Д.В., Томашевский Ю. Б. Особенности эксплуатации накопителя энергии на базе многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареи // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10. С. 140–145.

## УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБМОТКОЙ МЕТОДОМ ПРОГНОЗА НАПРЯЖЕНИЯ

Доан Нгок Ши

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ngocsynd@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Цветков

В данной работе представлен алгоритм управления асинхронным двигателем с комбинированной обмоткой (АДКО) методом прогнозной модели прямого управления напряжением. Алгоритм основан на минимизации целевой функции, вычисляющей погрешность между эталонным значением и фактическим значением прямых составляющих и составляющих на оси  $d-q$  напряжения статора. Эталонные значения компонента напряжения статора на оси  $d-q$  получаются с помощью комбинации управления аperiodическим управлением модели прогнозирования. Алгоритм прямого управления напряжением статора упрощает управление, экономит время вычислений и уменьшает потери.

**Ключевые слова:** алгоритм управления, асинхронным двигателем с совмещенной обмоткой, модели прогнозирования.

В последние годы АДКО были сосредоточены на исследованиях, поскольку они обладают многими выдающимися преимуществами по сравнению с обычными трехфазными двигателями переменного тока. К преимуществам АДКО можно отнести высокий КПД, плавный момент, уменьшенные колебания управляющего сигнала, уменьшенный ток в фазах статора и сниженная частота ошибок в фазе статора рабочего процесса [1]. Прямое управление моментом и потокоподобные методы управления используются в большинстве моторных приводов [2]. Эти два метода имеют некоторые недостатки, такие как: сложность точного определения коэффициентов  $k_i$ ,  $k_p$  ПИ-регуляторов, медленная реакция системы или создание колебаний управляющих переменных [3]. Чтобы преодолеть вышеуказанные проблемы, мы предлагаем модель прогнозирования прямого управляющего напряжения для АДКО без использования датчиков. Предлагаемый алгоритм основан на использовании целевой функции, состоящей из двух составляющих, представляющей собой разность между эталонным значением напряжения статора на оси  $d-q$  и соответствующим фактическим значением.



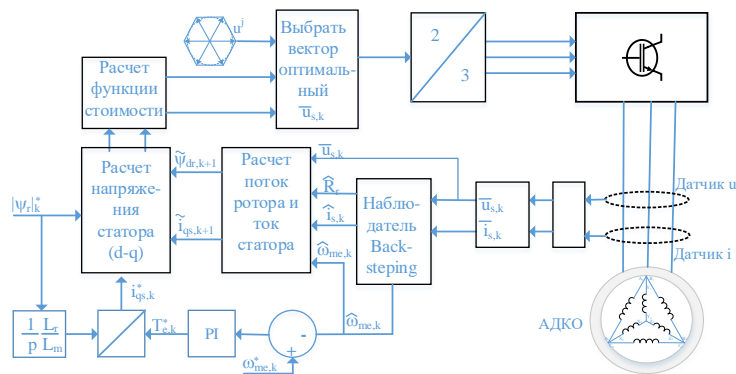
При проверке целевой функции переменными целевой функции являются напряжения питания двигателя, к которым можно получить прямой доступ без необходимости оценки. Принцип метода заключается в прямом управлении магнитным потоком и моментом двигателя на основе прямого управления напряжением якоря двигателя по оси координат  $d$ - $q$ . Целевая функция модели прогнозирования напряжения прямого управления описывается следующим уравнением:

$$C_k^j = |u_{ds,k}^* - u_{ds,k}^{rf}|^j + |u_{qs,k}^* - u_{qs,k}^{rf}|^j + |0 - u_{xs,k}^{rf}|^j + |0 - u_{ys,k}^{rf}|^j, \quad (1)$$

где  $j$  – показатель напряжения. Эталонные значения  $u_{xs,k}^*$  и  $u_{ys,k}^*$  устанавливаются равными 0, чтобы уменьшить потери мощности. Эталонные значения напряжений статора  $u_{ds,k}^*$ ,  $u_{qs,k}^*$  выводятся посредством применения принципа апериодического управления в контроллере прогнозирования напряжения.

Целевая функция (1) использует опорные составляющие статорного напряжения на оси  $d$ - $q$  для определения оптимального вектора напряжения, подводимого к статору АДКО. Сигналы напряжения обратной связи ( $u_{ds,k}^{rf}$ ,  $u_{qs,k}^{rf}$ ,  $u_{xs,k}^{rf}$ ,  $u_{ys,k}^{rf}$ ) в целевой функции (1), рассчитанные с использованием состояний переключения инвертора. Расчетные значения тока статора, скорости вращения ротора через наблюдатель обратного шага и измеренное значение напряжения статора используются для расчета тока статора и потока ротора в момент времени  $(k+1)Ts$ . Затем получаются предсказанные значения  $\tilde{i}_{qs,k+1}$ ,  $\Psi_{ds,k+1}$  вместе с эталонными значениями  $i_{qs,k}^*$  и  $|\Psi_r|_k^*$  используется для расчета эталонных составляющих напряжения статора по оси  $d$ - $q$ . Механизм выбора оптимального вектора напряжения с использованием целевой функции в уравнении (1) работает за счет минимизации разницы между вектором фактического напряжения и вектором эталонного напряжения. Смещения векторов напряжения и состояния их переключения подробно описаны в статье [4]. Из целевой функции (1) видно, что есть однотипные компоненты, поэтому нет необходимости использовать веса, что экономит время вычислений. Кроме того, напряжение статора по осям  $u_{ds,k}^{rf}$ ,  $u_{qs,k}^{rf}$ ,  $u_{xs,k}^{rf}$ ,  $u_{ys,k}^{rf}$  можно передавать напрямую. Применить конечный регулятор принцип и рассчитать напряжение из состояний переключения инвертора. Этот метод прост и позволяет сократить объем вычислений при использовании микроконтроллеров.

На рисунке представлена блок-схема модели прогнозирования прямого управляющего напряжения, предложенной в данной статье. Модель прогнозирования прямого управления напряжением начинает работать с измерения напряжения и тока статора. Затем эти сигналы передаются Back- stepping наблюдателю, который можно использовать для оценки тока статора, потока ротора и скорости. Расчетная скорость  $\omega_{me,k}$  по обратной связи регулятору скорости для расчета опорного значения крутящего момента  $T_{e,k}^*$  (опорное значение тока статора по оси  $q$ ,  $i_{qs,k}^*$ ). Опорное значение потока ротора  $|\Psi_r|_k^*$  подается непосредственно на контроллер.



Блок-схема системы управления для АДКО

Тестирование проводилось в диапазоне скоростей 1400 об/мин. Момент нагрузки прикладывается в момент времени  $t = 1,5$  с и снимается в момент времени  $t = 3$  с. Опорное значение потока ротора установлено в номинальном режиме. Результаты показывают, что этот алгоритм помогает сократить время вычисления целевой функции, время переключения, а также потери мощности при переключении. Кроме того, контроллер работает непосредственно с напряжением статора, что ускоряет реакцию системы.

### Источники

1. Мощинский Ю.А., Соколова Е.М., Преимущества и недостатки совмещенной обмотки «славянка» // Электричество. 2018. №11. С. 23–31.
2. Wang F., Zhang Z., Mei X., Rodríguez J., Kennel R. Advanced Control Strategies of Induction Machine: Field Oriented Control, Direct Torque Control and Model Predictive Control // Energies. 2018. 11. 120. Pp. 1-13.

3. Zhang Y., Zhu J., Zhao Z., Xu W., Dorrell D.G. An Improved Direct Torque Control for Three-Level Inverter Fed Induction Motor Sensorless Drive // IEEE Transactions on Power Electronics. 2012. Vol. 27. Pp. 1502-1513.

4. Ngoc Sy Doan, Tsvetkov A.N., Thi Hoa Nguyen. Study and implementation of space vector pulse width modulation inverter on an arduino // E3S Web of Conferences, 2021, vol.288, pp. 1-6.

УДК 621.311

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В.В. Еременко

ФГБОУ ВО «НГТУ им. П.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород

eryomenko.vladimir96@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук Р.Ш. Бедретдинов

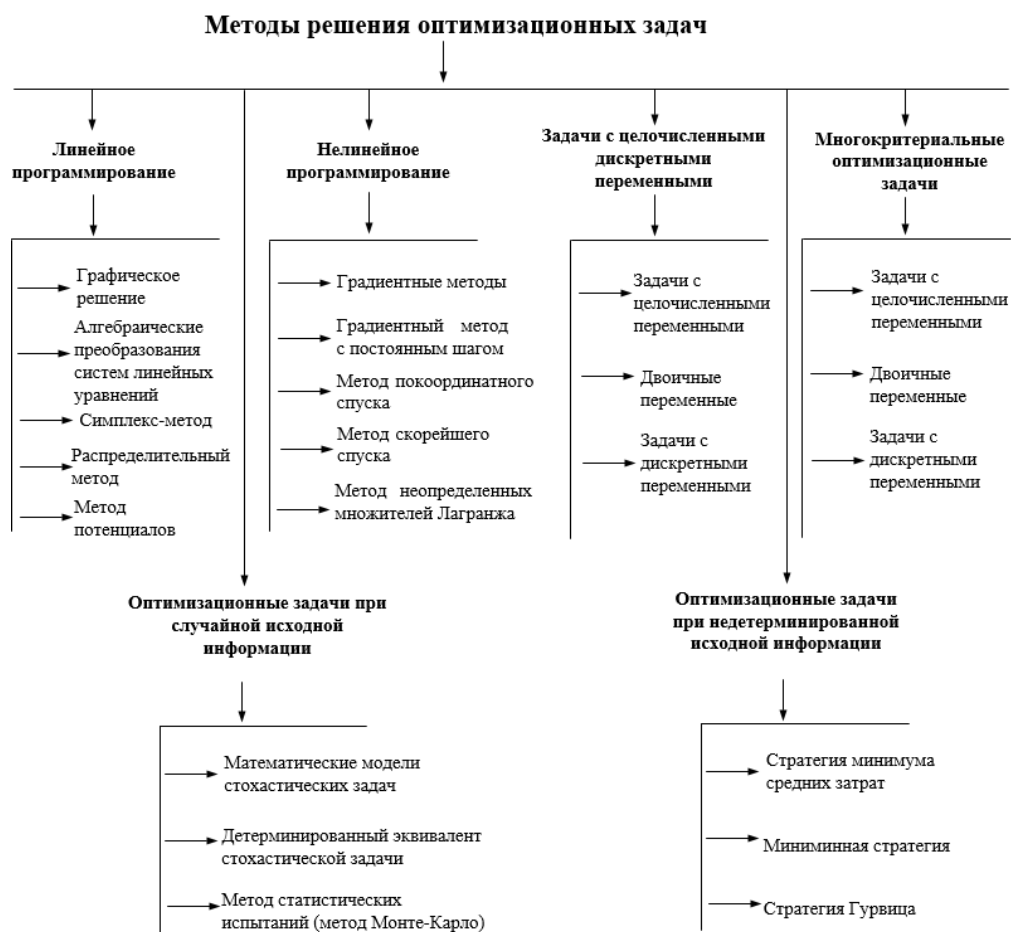
В работе рассмотрены существующие методы оптимизации, которые могут быть применены в электроэнергетике. Выявлены основные достоинства и недостатки методов, определены основные особенности их применения. Установлено, что для задачи определения оптимального месторасположения устройств регулирования напряжения необходимо использовать методы многокритериальной оптимизации.

**Ключевые слова:** методы оптимизации, устройство регулирования напряжения, месторасположение, многокритериальность, целевая функция.

Электроэнергетическая система является структурно сложной системой, которая имеет большое число ответвлений и насчитывает сотни и даже тысячи линий электропередач, трансформаторов, устройств, влияющих на параметры режима электрической сети. Одной из важных оптимизационных задач в электроэнергетике является определение месторасположения устройств регулирования напряжения [1]. Основной сложностью для решения данных задач является многокритериальность условий оптимизации.

Проведен анализ методов решения оптимизационных задач [2, 3] и проведена их классификация (см. рисунок). Универсальными методами решения оптимизационных задач являются способ линейного и нелинейного программирования. К основным достоинствам данных методов относится возможность решения задач, связанных с большим количеством переменных и ограничений.

В электроэнергетике эти методы применяются для выбора структуры и состава генерирующих мощностей, оптимизации параметров электрические сетей. На данный момент обширное применение имеет симплекс-метод, относящийся к линейному программированию. Суть симплекс-метода заключается в последовательном переборе возможных решений при том, что на каждом шаге решение улучшается и оптимизируется. Метод состоит из двух этапов: на первом этапе ищется допустимое решение, а на втором этапе это допустимое решение улучшается до оптимального. Решение различных методик линейного и нелинейного программирования сводится к большому числу итераций поиска оптимального значения, иногда сводящемуся к бесконечности, и большому количеству исходных данных для построения и решения систем уравнений и целевых функций [4].



Классификация методов решения оптимизационных задач

Оптимизационные задачи при случайной исходной информации, с целочисленными и дискретными переменными и при случайной исходной информации являются частными случаями решения задач линейного и нелинейного программирования. В случае если невозможно точно определить значения параметров задачи, то она является стохастической и для ее решения применяется стохастическая математическая модель. В электрической сети, где все параметры имеют целочисленные значения, используют метод с целочисленными переменными, математическая модель которых аналогична рассмотренным выше линейным и нелинейным моделям и содержит целевую функцию, систему ограничений и граничные рамки. Данные условия значительно снижают объем вычислений, что приводит к упрощению расчета и получению более точных значений искомых параметров. Однако решение таких оптимизационных задач выполняется только по одному критерию (по одной целевой функции) [5].

Примером, где требуется оптимизация по нескольким критериям, является определение оптимального месторасположения устройств регулирования напряжения. В данном случае целевыми функциями, по которым необходимо провести оптимизацию являются: показатели качества электроэнергии (отклонение напряжения, несинусоидальность), пропускная способность линий электропередач, количество устройств регулирования напряжения и экономическая составляющая. Для решения данной задачи необходимо использовать многокритериальные оптимизационные методы, основанные на поиске компромисса между принятыми критериями. Важным моментом нахождения такого компромисса является назначение коэффициентов веса каждого критерия, который определяет его значимость в конкретной задаче. В конечном итоге решение многокритериальной задачи сводится к оптимизации по одному обобщенному критерию, в который входят все принятые критерии со своими весовыми коэффициентами.

Результаты исследований получены в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (соглашение № 075-15-2021-384 от 16.04.2021 г., МК-2026.2021.4).

### **Источники**

1. Соснина Е.Н., Бедретдинов Р.Ш. О трансформаторно-тиристорном регуляторе напряжения и мощности // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. №4. С. 24-26.

2. Пантилеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2005. 110 с.

3. Кумаритов А.М., Дзгоев А.Э., Бабочиев О.Р., Хузмиев И.М. Моделирование системы контроля затрат для поддержки принятия решений при управлении электросетевым предприятием // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. № 9-10. С. 34-43.

4. Ерохин П.М., Неуймин В.Г., Александров А.С., Максименко Д.М. Моделирование устройств FACTS в задачах расчета и оптимизации режимов энергосистем // Известия НТЦ Единой энергетической системы, №1(66), 2012. С. 22-29.

5. Паздерин А.В., Мухлынин Н.Д. Поточковая модель оценивания состояния оптимизации режимов работы распределительных сетей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 9-10. С. 3-15.

УДК 628.931

## **ПРОЕКТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОГО ЗДАНИЯ**

М.А. Крылов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

krylovmaxim2015@yandex.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Н.В. Денисова

В статье кратко описан проект интеллектуального освещения административного здания с подземной парковкой. Рассмотрены способы реализации интеллектуальных систем освещения и их экономическая составляющая.

**Ключевые слова:** проект, освещение, интеллектуальные системы, DIALux EVO.

Проектирование и разработка интеллектуальных систем освещения является востребованной и перспективной частью развития энергосберегающих технологий. Такие системы позволяют экономить электроэнергию, имеют хорошую окупаемость и высокую эффективность, а также повышают комфорт использования освещения [1].

Проект интеллектуального освещения с использованием современного программного комплекса DIALux EVO выполнен для одноэтажного административного здания с собственной подземной парковкой.

Создание «интеллектуального» освещения подземной парковки и подвальных помещений в данном проекте можно реализовать с помощью датчиков движения, настройки режимов работы светильников и объединения их по группам [2]. Ввиду не очень большой площади, для освещения которой требуется всего 51 светильник, использование более дорогих технологий в данном случае будет не целесообразно [3].

Расчет и визуализация созданной системы интеллектуального освещения реализуется в DIALux EVO с помощью создания сценариев освещения и разбиения светильников по группам, в которых выставляется мощность работы светильников в процентном соотношении (рис. 1) [4].

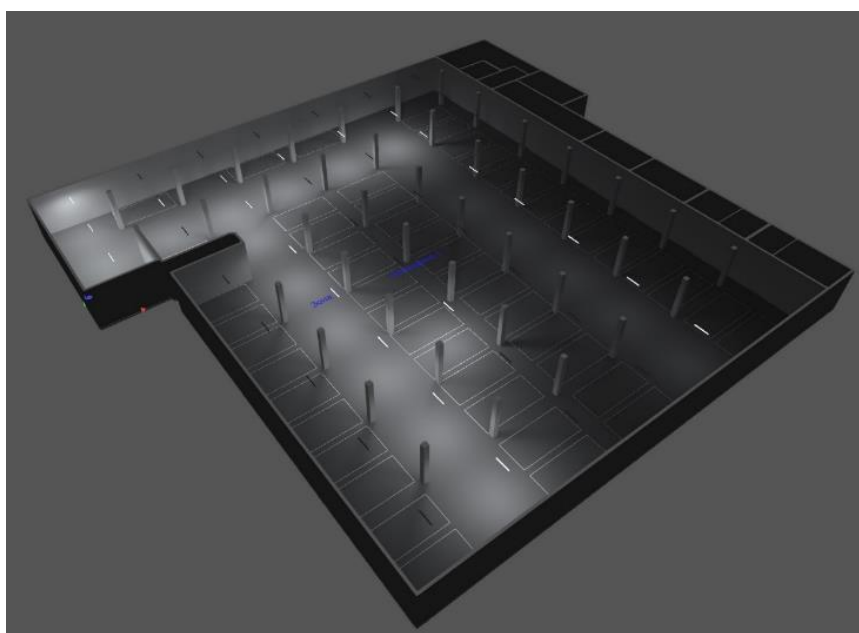


Рис. 1. Визуализация работы освещения подземной парковки

Создание интеллектуального освещения 1 этажа можно реализовать с помощью светильников с интеллектуальной самообучаемой системой освещения SMART, акустических датчиков и возможностью диммирования светильников. Для диммирования в данном случае будет использоваться протокол 1-10.

Реализация интеллектуального освещения 1 этажа была осуществлена по следующим принципам:

1. В офисных помещениях светильники подстраиваются под влияние падающего света от естественных источников света через окна. В зависимости от создаваемой естественным светом освещенности, светильники, по мере удаления от окна, будут работать с разной мощностью.

2. На лестничных клетках и в санитарных узлах светильники включаются только от звука в помещениях, работают заданное время, а затем выключаются.

Расчет и визуализация созданной системы интеллектуального освещения реализуется в DIALux EVO с помощью создания сценариев освещения, учета влияния естественной освещенности и разбиения светильников по группам, в которых выставляется мощность работы светильников в процентном соотношении (рис. 2).

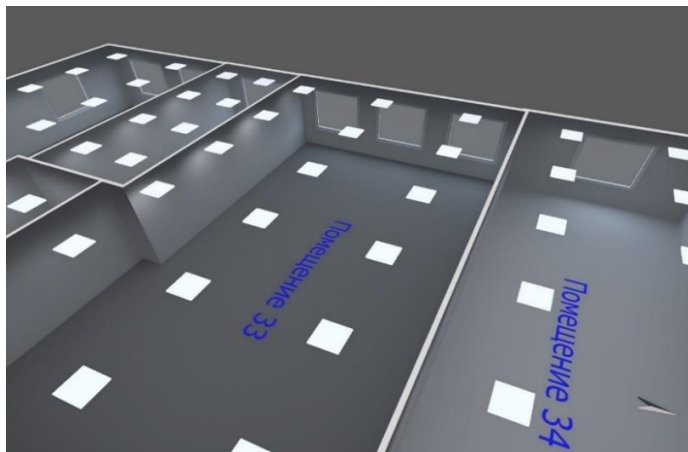


Рис. 2. Освещение с учетом естественной освещенности и «умных» светильников

После создания проекта интеллектуального освещения была рассчитана ориентировочная экономическая выгода от внедрения интеллектуальных систем освещения. Экономия на электроэнергии за год для подземной парковки и подвальных помещений ориентировочно составляет 43582 руб., а для 1 этажа административного здания – 16390 руб.

Срок окупаемости подземной парковки составляет 0,95 года. Срок окупаемости 1 этажа здания составляет 5,31 лет. Суммарный срок окупаемости проекта составляет 2,14 года.

### Источники

1. Наумов А.А., Садыков М.Ф. Некоторые аспекты энергосбережения в осветительной технике // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. 19(5-6). С. 109-118.

2. Антипова А.Н., Волох Я.В. Разработка технологии создания систем интеллектуального освещения // Молодой ученый. 2018. № 25. Ч. 2. С. 104-106.

3. Денисова Н.В., Гиниятуллина А.Р. Особенности моделирования осветительной установки зданий в различных САПР// Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. IV Национ. науч.-практ. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 1. С. 443-445.



4. Гаврилов Д.С., Денисова Н.В. Сравнение программ для расчета освещенности с возможностью 3D моделирования // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. №5.

УДК 621.311.4

## **МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ КАТУШЕК ПРИ БЕСКОНТАКТНОЙ ИНДУКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

Д.Ю. Лямзина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sng55555@mail.ru

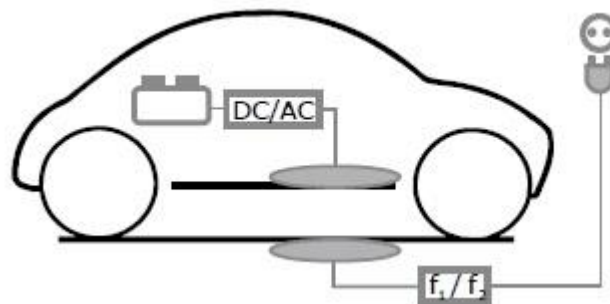
Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Р. Сафин

В статье предложена технология бесконтактной индуктивной передачи электроэнергии для зарядки электромобилей. Технология бесконтактной индукционной зарядки может внести значительный вклад в повышение популярности электромобилей, поскольку она увеличивает как удобство для пользователя, так и безопасность процесса зарядки.

**Ключевые слова:** бесконтактная индуктивная передача электроэнергии, электромобиль, топология катушек, модель гауссовского процесса.

Во всем мире наблюдается явный рост транспортных средств с электроприводом, хотя их доля в общем парке в настоящее время все еще невелика. Эта тенденция сопровождается значительными усилиями производителей автомобилей по достижению высокой степени автоматизации вождения. Беспроводная индуктивная зарядка играет здесь центральную роль, так как значительно улучшает эргономику и практичность процесса зарядки по сравнению с проводной зарядкой. С другой стороны, автоматизированный процесс беспроводной зарядки необходим для реализации автономного электрического вождения [1].

Принципиальная схема индуктивной передачи энергии показана на рисунке. Энергия передается через воздушный зазор между двумя катушками (на рисунке показаны овальными кружками) посредством магнитной связи. Первичная катушка заделана в асфальт как стационарная катушка. Вторичная катушка приемника расположена в днище электромобиля [2].



Схематическое изображение индуктивной передачи энергии

Иногда очень разные электрические и конструктивные граничные условия в автомобильном секторе и требования к высокой эффективности создают особую проблему для проектирования индуктивной зарядной системы, в связи с чем необходимо соблюдать широкий спектр технических требований. Прежде всего, необходимо обеспечить достаточную передачу мощности через большие воздушные зазоры между зарядной станцией в земле и вторичной катушкой в автомобиле. Кроме того, механическая конструкция катушек должна быть как можно более компактной и легкой с учетом указанных ограничений места для установки. И последнее, но не менее важное: допуск по горизонтали между катушками играет важную роль с точки зрения комфорта пользователя [3].

При проектировании системы катушек, отвечающей описанным выше требованиям, необходимо учитывать большое количество геометрических степеней свободы. С одной стороны, существуют разные возможности в отношении геометрической топологии катушек. С другой стороны, важно оптимально спроектировать соответствующую топологию [4].

Поэтому, с одной стороны, исследуются и сравниваются различные геометрии катушек. Путем определения индивидуальных свойств, сильных и слабых сторон можно определить оптимальные области применения (например, в отношении места для установки, стоимости или допуска положения) соответствующей топологии катушки. Для конкретной конструкции катушки необходимо множество численных расчетов, но они очень трудоемки и требуют больших вычислительных ресурсов. По этой причине в первую очередь используются планы статистических испытаний, с помощью которых можно значительно сократить усилия по моделированию. Для этого выбирается несколько проектных точек с планами испытаний по заполнению пространства, которые затем рассчитываются численно.

Затем на основе этой выборки можно сделать выводы о совокупности. Численные модели аппроксимируются с помощью математических метамоделей, так что основные взаимосвязи имитационной модели могут быть отображены с помощью аналитических функций. В частности, используется модель гауссовского процесса. На основе этих метамоделей можно за очень короткое время детально изучить, спроектировать и оптимизировать систему бесконтактной зарядки электромобилей [5].

### **Источники**

1. Christopher Joffe: Modellbasierter Entwurf und Charakterisierung eines induktiven Ladesystems für Elektrofahrzeuge, Der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Jan. 2019.

2. KNAISCH, K., HUCK, T., GRATZFELD, P.: Analysis and optimization of a solenoid coupler for wireless electric vehicle charging Wireless Power Transfer, Bd. 4, Nr. 1, S. 13–20, 2017.

3. DYNARDO GMBH: Methods for multi-disciplinary optimization and robustness analysis Software-Dokumentation «Methoden», Weimar, 2016.

4. FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR INTEGRIERTE SYSTEME UND BAUELEMENTE TECHNOLOGIE IISB: Elektroautos effizient induktiv laden. Presseinformation, Jul. 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2014/Agust/elektroautos-effizient-induktiv-laden.html> (дата обращения 12.03.2022).

5. Douglas NYCHKA, Soutir BANDYOPADHYAY, Dorit HAMMERLING, Finn LINDGREN, and Stephan SAIN: A Multiresolution Gaussian Process Model for the Analysis of Large Spatial Datasets, ASA, Journal of Computational and Graphical Statistics, Volume 24, Number 2, Pages 579-599, 2015.

## ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ ФЕРРИТОВЫХ МАГНИТОВ

А.А. Майоров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», ЗАО НИЦ «Инкомсистем», г. Казань

mayorov19977@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. А.Р. Сафин

В статье рассказывается о применении в электродвигателях вместо магнитов из неодима, магниты из феррита. Применение ферритовых магнитов позволит удешевить производство электродвигателей, не ухудшив характеристики электродвигателя. В статье представлены общие виды электродвигателя с постоянными магнитами из неодима и электродвигателя с постоянными магнитами из феррита.

**Ключевые слова:** электродвигателя, магниты из неодима, магниты из феррита, автомобильная промышленность.

С каждым годом государственные стандарты, контролирующие выбросы выхлопных газов автотранспортом в атмосферу, становятся строже, что заставляет производителей автотранспорта выпускать более экологически чистый транспорт. Поэтому такие крупные производители автотранспорта, как КАМАЗ, ВАЗ, BMW и многие другие начали активно изучать сферу электротранспорта. Повсеместное использование электротранспорта позволит решить большинство проблем связанных с выбросом выхлопных газов автотранспортом в атмосферу. Многие производители автотранспорта обратили свое внимание на электрические двигатели, систему накопления энергии для электротранспорта.

Наиболее важными характеристиками для электрических двигателей является высокая эффективность, высокий крутящий момент и небольшие размеры, простота и надежность конструкции, динамические характеристики. Для того чтобы современные электрические двигатели соответствовали всем этим высоким требованиям в электрических двигателях применяют редкоземельные элементы или магнитомягкие материалы. Среди редкоземельных материалов наибольшую популярность имеют неодимовые магниты [1].

Электрические двигатели с редкоземельными материалами вытесняют традиционные электрические двигатели. Это наблюдается в таких областях как автомобильные электроприводы, ветрогенераторы, бытовая техника. Это связано с тем, что электрические двигатели с редкоземельными материалами обладают повышенной эффективностью при не больших размерах [2].

В настоящее время самым большим производителем, поставщиком редкоземельных материалов для электродвигателей является Китай. На долю Китая приходится примерно 90–95 % мирового производства редкоземельных элементов. Это означает, что при каких-либо форс-мажорных ситуациях, связанных с поставкой редкоземельных материалов из Китая, наша страна может остаться без комплектующих для электродвигателей или вообще без самих электродвигателей [3]. Для уменьшения зависимости от редкоземельных элементов, производимых в Китае, автомобильная промышленность разных стран начинает изучать различные технологии, которые бы основывались на применение экологически чистых и недорогих материалах.

Необходимо рассмотреть применение вместо неодимовых магнитов более дешёвый и экологически чистый материал. Таким магнитом может стать ферритовый [4]. Ферритовый магнит является наилучшим кандидатом для замены неодимовых магнитов. Ферритовые магниты также обладают очень высоким электрическим сопротивлением, что сводит к минимуму потери на вихревые токи. Так же ферритовые магниты являются не дорогими магнитами. Изготовление ферритовых магнитов является довольно простым процессом. Применение ферритовых магнитов позволит удешевить производство электродвигателей [5].

В работе планируется рассмотреть возможность замены в синхронных двигателях неодимовых магнитов на ферритовые. Для сравнения этих двух асинхронных двигателей буду использовать программное обеспечение COMSOL и КОМПАС. В программе КОМПАС планирую спроектировать асинхронный двигатель. В программе COMSOL будет проводиться расчет распределения магнитного поля в асинхронном двигателе в разный период времени. Так же будет рассчитаны моменты двигателей. Примерный общий вид двигателя с неодимовыми магнитами представлен на рис. 1. Примерный общий вид двигателя с ферритовыми магнитами представлен на рис. 2.

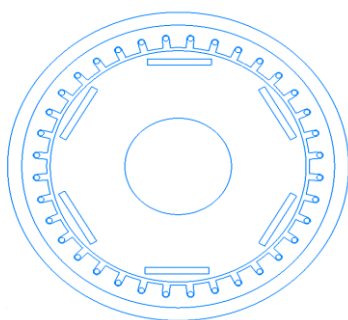


Рис. 1. Примерный общий вид синхронного двигателя с неодимовыми магнитами

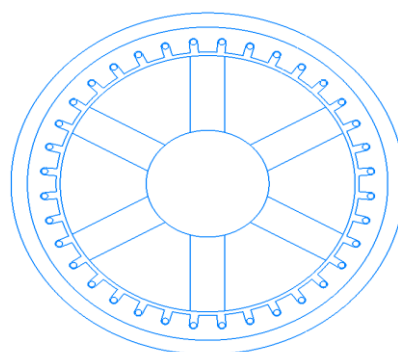


Рис. 2. Примерный общий вид синхронного двигателя с ферритовыми магнитами

В ходе сравнения особое внимание уделяется таким параметрам как: магнитное поле двигателя, момент двигателя. Получены следующие результаты:

1) магнитное поле синхронного двигателя с ферритовыми магнитами ниже на 10–15 %, чем магнитное поле синхронного двигателя с неодимовыми магнитами. Данную проблему можно будет решить изменением конструкции ротора;

2) момент синхронного двигателя с ферритовыми магнитами ниже на 20 %, чем момент синхронного двигателя с неодимовыми магнитами.

### Источники

1. Питровский Л.М. Электрические машины. М.: Госэнергоиздат, 1950. 528 с.
2. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф., Ларионов А.Н. Электрические машины с постоянными магнитами. М.–Л.: Энергия, 1964. 480 с.
3. Архипцев Ю.Ф. Асинхронные электродвигатели. М.: Энергия, 1975. 99 с.
4. Москаленко В.В. Электродвигатели специального назначения. М.: Энергоиздат, 1981. 99 с.
5. Харитонов А.М. Многоскоростные двигатели в промышленных приводах. М.: Энергия, 1971. 87 с.

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ РЕКЛОУЗЕРОВ**

Т.Ф. Миннебаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

tansylu2000@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. Р.У. Галеева

Проектирование распределительных сетей на базе интеллектуальных коммутационных аппаратов (реклоузеров) с использованием современных конструктивных решений является актуальной научно-технической задачей повышения надежности электроснабжения потребителей электрической энергии. В работе приведена оценка недоотпуска электроэнергии в распределительных сетях различного исполнения на базе реклоузеров и линейных разъединителей.

**Ключевые слова:** реклоузер, самонесущие изолированные провода, децентрализованное управление, годовой недоотпуск электроэнергии, распределительная сеть, время перерыва электроснабжения.

Особенностью распределительных сетей 6/10 кВ является слабая оснащённость коммутационными аппаратами, отсутствие автоматизации послеаварийных переключений и низкая надёжность. Повысить надёжность в распределительных сетях можно за счёт разукрупнения линий с сооружением новых подстанций, строительством новых линий, разукрупняющих существующие, многократным резервированием и секционированием магистрали. Реклоузер и использование высоконадёжных самонесущих изолированных проводов СИП-3 поможет многократно снизить аварийность электрической сети и недоотпуск электроэнергии потребителям [1].

Эксплуатационные преимущества изолированных самонесущих проводов по сравнению с неизолированными: повышенная надёжность в эксплуатации за счёт значительно меньшей вероятности короткого замыкания (проводники фаз изолированы); стойкость к атмосферным воздействиям (гололед, ветровые нагрузки); снижение индуктивного сопротивления в 3,5 раза, что позволяет сократить потери электроэнергии и увеличить токи нагрузки; защита зелёных насаждений [3].

В качестве тестируемых моделей были рассмотрены современные магистральные воздушные сети напряжением 10 кВ, выполненные неизолированными проводами марки АС-70 и изолированными самонесущими проводами СИП, общей длиной 30 км (рис. 1). Расчетная мощность потребителей соответствует мощности подстанций от 63 кВА до 160 кВА; удельная частота повреждений воздушной линии, выполненной неизолированными проводами напряжением 10 кВ  $\omega = 30$  ед. на 100 км и изолированными проводами напряжением 10 кВ (СИП)  $\omega = 3,4$  единиц на 100 км; средняя продолжительность восстановления электроснабжения  $T=6$  ч.

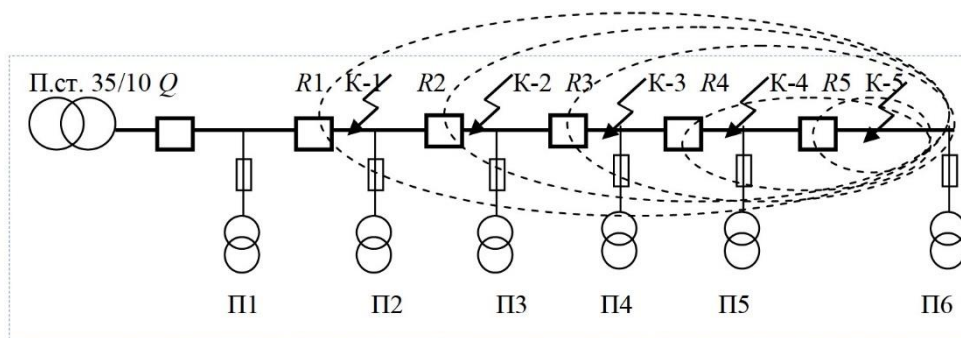


Рис.1. Исследуемая сеть с реклоузерами  $R$

Годовой недоотпуск электроэнергии  $i$ -го потребителя может быть рассчитан по выражению [2] в кВт·ч:

$$\Delta W_{\Pi i} = 0,01 \omega_{\Pi i} (1 - K_{\text{нy}}) K_{\text{вв}} L_i T_{\Pi i} P_{\Pi i},$$

где  $\omega_{\Pi i}$  – удельная частота повреждений  $i$ -го потребителя;  $T_{\Pi i}$  – среднее время восстановления одного устойчивого повреждения  $i$ -го потребителя с учетом сокращения зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования с помощью реклоузеров (ч);  $L_i$  – длина участка  $i$ -й линии (км),  $P_{\Pi i}$  –  $i$ -ая мощность потребительской подстанции (кВт).

Коэффициент  $K_{\text{нy}}$  принимается равным 0,6, т.к. на головном выключателе имеется однократное автоматическое повторное включение (АПВ), по статистике снижающее количество отключений потребителей при неустойчивых повреждениях на 60 % [4].

Коэффициент  $K_{\text{вв}}$  принимается равным 0,9 в связи с сокращением зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования сети.



Целью исследования является анализ влияния конструктивных особенностей сети с учетом децентрализации при однократном и двукратном АПВ.

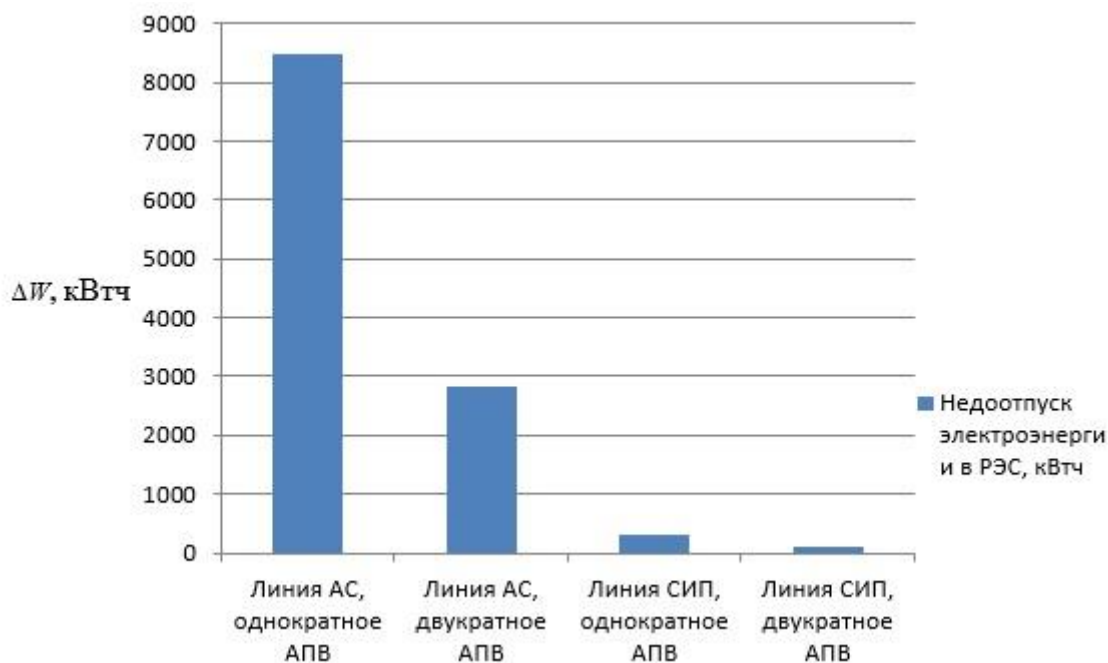


Рис. 2. Недоотпуск электроэнергии в линиях, выполненных проводами марки АС и СИП при однократном и двукратном АПВ с децентрализованным управлением

Проведенные исследования с использованием моделей воздушных линий, отличающихся конструктивными особенностями с реклоузерами, показали, что недоотпуск электроэнергии в сетях, выполненных проводами марки СИП с реклоузерами уменьшился в 25 раз по сравнению с сетями с проводами марки АС. Это влияние значительно.

### Источники

1. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г. Децентрализованное управление распределительными электрическими сетями 6–10 кВ АПК // Актуальные вопросы технических наук: теоретический и практический аспекты: коллективная монография; под ред. Н.В. Мирошниченко. Уфа: Аэтерна, 2017. С. 64-87.

2. Пункты секционирования. Реклоузеры / Группа компаний «Мосэлектро» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/35034791-Punktyskcionirovaniya-reklouzery-skachat-prezentaciyu.html> (дата обращения 12.03.22).

3. СО ПАО «РОССЕТИ» № 34.01-3.2-004-2016 «Реклоузеры 6-35 кВ. Общие технические требования».

4. Сазыкин В.Г., Кудряков А.Г., Багметов А.А. Критерии оптимизации мяса установки реклоузера в распределительной сети 6-10 кВ // ЭСиК. 2018. № 1(38). С. 33-39.

УДК 621.315

## **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯТОРА ВЛ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ТОКА УТЕЧКИ**

А.А. Мурашкин

Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленск

lesha-murashkin@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. С.А. Шунаев

На наружные изоляторы оказывают влияние различные атмосферные условия. На поверхности изоляторов образуются загрязнения, которые частично растворяются, что приводит к образованию проводящего слоя. Эти проводящие слои вызывают протекание тока утечки через поверхность изолятора, и этот ток повышается с увеличением степени загрязнения, которое снижает удельное поверхностное сопротивление изолятора и в конечном итоге может вызвать пробой изоляции.

**Ключевые слова:** фарфоровый изолятор, ток поверхностной утечки, напряжение пробоя, контроль состояния.

Для экспериментальных целей был взят фарфоровый изолятор дискового типа на 11 кВ. С помощью экспериментальной установки, разработанной в этой статье, измеряются два параметра для мониторинга состояния загрязнения изоляторов. Один из них — поверхностный ток утечки, а другой — напряжение пробоя. После измерения напряжения пробоя и поверхностного тока утечки в чистом состоянии изолятор подвергают искусственному загрязнению. Проводимость этого загрязненного слоя измеряется относительно эквивалентной плотности солевых отложений (ESDD). На ток утечки влияют рабочее напряжение, температура и влажность, он может дать более полное описание состояния поверхности загрязненных изоляторов, чем другие методы.

В эксперименте использовался фарфоровый дисковый изолятор на 11 кВ (рис. 1).

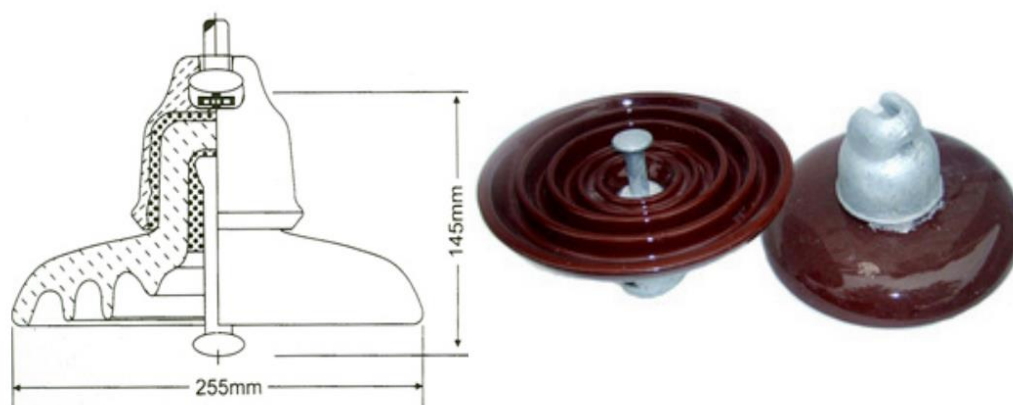


Рис. 1. Изображение дискового изолятора

Схема экспериментальной установки показана на рис. 2. Испытательный трансформатор мощностью 150 кВА (500 В/250 кВ, однофазный, 50 Гц) используется для питания. Выходное напряжение трансформатора подавалось на изолятор через последовательно подключенный защитный резистор 180 кОм. Для получения информации о напряжении, через сопротивление 10 кОм, к выходу изолятора подключается осциллограф. Защита от перенапряжения была использована для предотвращения любого повреждения, которое может произойти в измерительных устройствах из-за сбоя в системе. С помощью делителя напряжения блок управления может контролировать значения тока и выходное напряжение трансформатора.

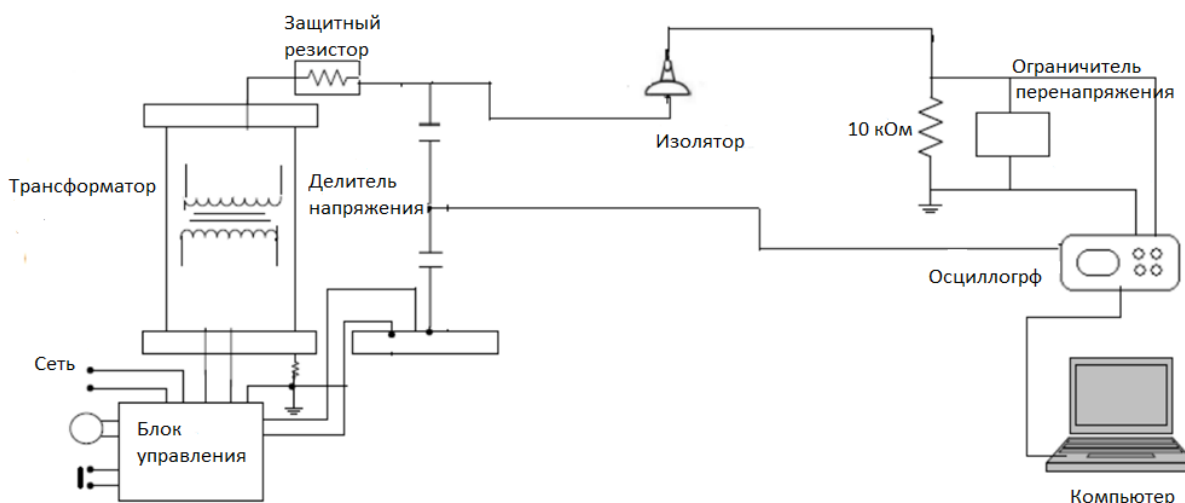


Рис. 2. Принципиальная схема испытательной установки

Эквивалентная плотность солевых отложений (ESDD) используется для определения серьезности загрязнения поверхности изолятора, которая стандартизирована с использованием  $\text{NaCl}$   $\text{мг/см}^2$ . При измерении учитываются пять погодных факторов: давление, влажность, температура, скорость ветра и количество осадков [1, 2]. Значения ESDD (эквивалентная плотность солевых отложений) и NSDD (плотность нерастворимых отложений) показывают серьезность загрязнения для различных зон загрязнения. Эти значения представляют собой информационные данные для технического обслуживания электрооборудования через регулярные промежутки времени.

Как правило, на изоляторы высокого напряжения воздействуют естественные загрязнения, такие как пыль, влага и туман. Из-за этих явлений снижается производительность и надежность воздушных линий. Загрязнение, осевшее на поверхности изолятора, становится проводящими, когда поверхность изолятора смачивается дождем или туманом. Это приводит к увеличению токов утечки на поверхности изолятора и снижает диэлектрическую прочность изолятора [3].

Из рис. 3 также видно, что поверхностный ток утечки загрязненного и незагрязненного изолятора значительно различается для разных приложенных напряжений. Поверхностные токи утечки в загрязненном изоляторе значительно возрастают с увеличением приложенного напряжения по сравнению с незагрязненным изолятором, что увеличивает вероятность возникновения пробоя напряжения на поверхности изолятора.

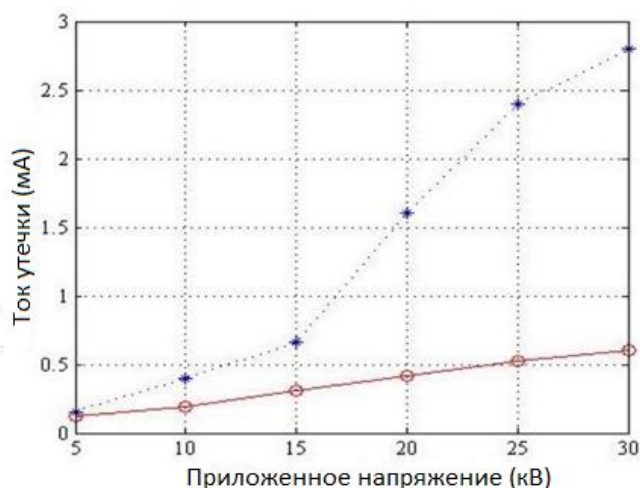


Рис. 3. Зависимость тока утечки от приложенного напряжения

На рис. 4 и 5 показаны соотношения между напряжением пробоя, максимальным током утечки и ESDD при стандартных показателях загрязнения. NaCl используется в качестве проводящего компонента, а каолин используется в качестве нерастворимого компонента. Результат показывает, что по мере увеличения ESDD напряжение пробоя уменьшается, а ток утечки увеличивается.

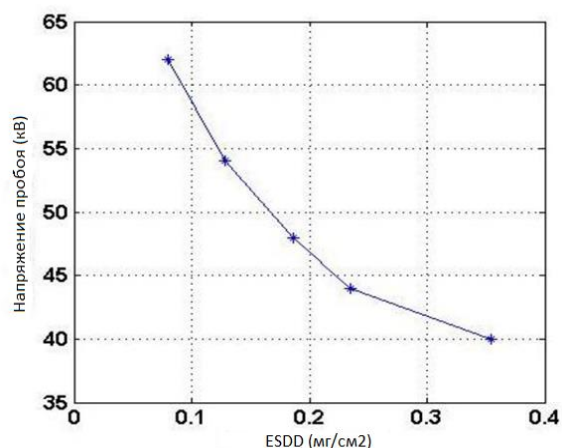


Рис. 4. Зависимость напряжения пробоя от ESDD

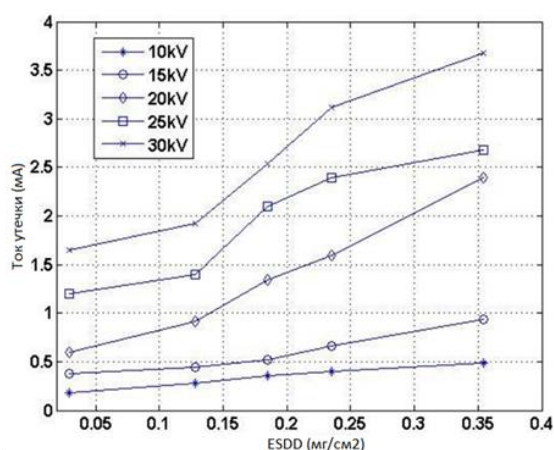


Рис. 5. Зависимость тока утечки от ESDD при различном приложенном напряжении

Из рис. 5 видно, что ток утечки значительно увеличивается с увеличением приложенного напряжения на разных значениях ESDD.

### Источники

1. Li J.Y., Sun C.X., Sebo S.A. Humidity and contamination severity impact on the leakage currents of porcelain insulators // IET Gener. Transm. Distrib. 2011. Vol. 5. Iss. 1. Pp. 19-28.

2. Liang X., Shi Y., Sun C., Zhang Z. Evaluating the Safety Condition of Poreelain Insulators by the Time and Frequency Characteristics of LC Based on Artificial Pollution Tests // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2010. Vol. 17. No. 2. Pp. 481-489.

3. Андреенков Е.С., Скорубский В.Е., Шунаев С.А. К вопросу моделирования высоковольтного изолятора в программном комплексе COMSOL Multiphysics 5.6 // Прикладная информатика. 2021.

УДК 621.311.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТОРОВ

П.П. Муханова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

muhanova-polina@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Е.И. Грачёва

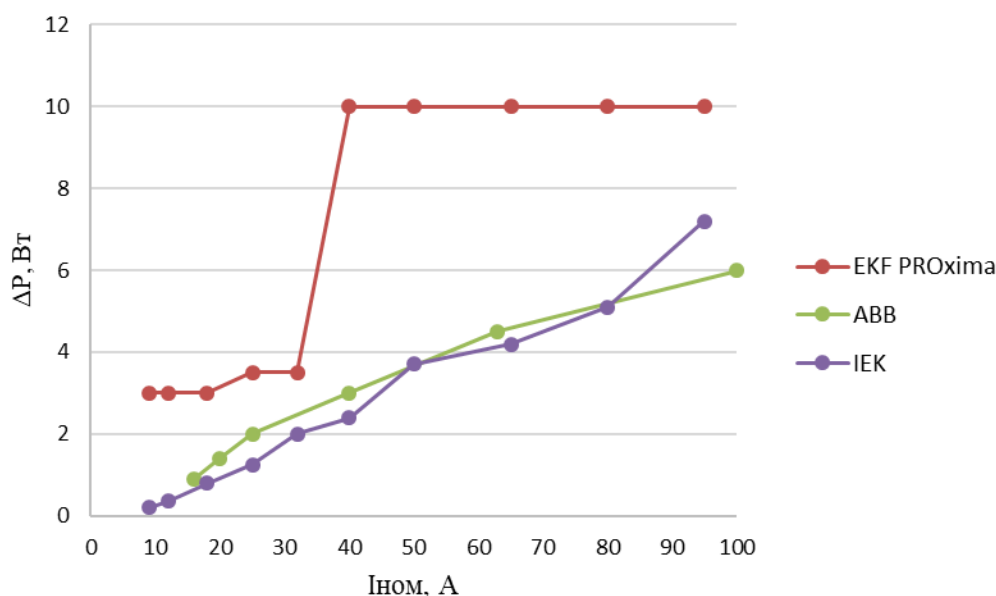
В статье рассмотрены технические характеристики и критерии выбора параметров эффективности функционирования контакторов. Представлена такая характеристика, как рассеиваемая мощность, прослеживается её зависимость от номинального тока коммутационного аппарата.

**Ключевые слова:** контактор, рассеиваемая мощность, среднеквадратическое отклонение, номинальный ток.

Большое значение имеют вопросы, связанные с совершенствованием методов и критериев оценки качества работы оборудования электрических сетей 0,4 кВ, позволяющих проводить мероприятия, направленные на снижение потерь и повышение надежности эксплуатации. Необходима разработка методов эффективности функционирования и оценки характеристик низковольтных коммутационных аппаратов, являющихся основными элементами управления и защиты цеховых сетей [4].

При определении потерь электроэнергии в цеховых сетях необходимо принять во внимание потери в контактах [1]. Мощность, которую потребляет аппарат при его работе, и рассеиваемая в нем, должна иметь как можно меньшее значение [3].

Определённому номинальному току устройства соответствуют свои значения потерь мощности [4]. Используя данные актуальных каталогов фирм-производителей контакторов, построим зависимости потерь мощности  $\Delta P$  от номинального тока  $I$  (см. рисунок). Будем рассматривать контакторы фирм EKF PROxima (КМЭ-0910, КМЭ-1210 и т.д.), IEK (КМИ-1091, КМИ-1121 и т.д.), ABB (ESB16..N, ESB20..N и т.д.).



Зависимости потерь мощности от номинального тока для контакторов некоторых фирм производителей

Как правило, в справочной литературе отсутствуют сведения о потерях мощности большинства низковольтных аппаратов, в связи с этим возникают трудности в процессе изучения закономерностей изменения потерь мощности контактных соединений низковольтных аппаратов экспериментальными и расчётными методами, в частности, контакторов [2].

Для решения этой проблемы необходимо аппроксимировать зависимости потерь мощности от номинального тока аппарата. Далее для выбора функции, наиболее точно описывающей закон, рассчитать среднеквадратическое отклонение по формуле:

$$S = \sqrt{\sum (f(I) - \Delta P)^2}.$$

Так мы можем определить зависимости изменения потерь мощности на полюс от номинального тока. Ими являются аппроксимирующие функции, имеющие наименьшее среднеквадратическое отклонение.

Результаты, которые мы получим, возможно будет использовать для точного определения потерь электроэнергии в низковольтных цеховых сетях [4].

### **Источники**

1. Грачева Е.И., Наумов О.В., Садыков Р.Р. Анализ надежности функционирования оборудования цеховых сетей // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 2(33). С. 46-50.

2. Грачева Е.И., Садыков Р.Р., Хуснутдинов Р.Р., Абдуллазянов Р.Э. Исследование параметров надежности низковольтных коммутационных аппаратов по эксплуатационным данным промышленных предприятий // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. №1-2.

3. Аполлонский С.М., Куклев Ю.В. Надежность и эффективность электрических аппаратов: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2011. 443 с.

4. Бабилов М.А. Электрические аппараты. Ч. III. М.: Госэнергоиздат, 1963. 342 с.

УДК 621-313.3

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА**

А.Р. Петров<sup>1</sup>, Р.М. Петрова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>petroval13@mail.ru, <sup>2</sup>1998renata@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Гибадуллин

В статье предложена математическая модель линейного генератора возвратно-поступательного движения на базе постоянных магнитов, выполненную в среде Matlab/Simulink. Составлена эквивалентная схема магнитной цепи. Представлены результаты моделирования линейного генератора.

**Ключевые слова:** модель, линейный генератор, математическая модель, свободнопоршневой двигатель, возвратно-поступательный генератор, генератор на постоянных магнитах.

Возможность применения линейного генератора в различных отраслях промышленности подразумевает необходимость в его математическом описании с целью дальнейшего анализа и оценки эффективности применения.



Предложенная математическая модель учитывает влияния коэффициентов рассеяния, и краевого эффекта; неоднородность распределения магнитного поля в магнитной системе, а также геометрические параметры системы.

Для упрощения расчетов принимаем, что нагрузка генератор активно индуктивная, а его исполнение считаем однофазным. Относительная магнитная проницаемость равна бесконечности; индуктивность рассеяния контуров не учитывается; потери в магнитопроводе от вихревых токов не берется в расчет, магнитное сопротивление так же не учитывается [1].

Уравнение контура [2]:

$$U = Ri + \frac{d\psi}{dt}.$$

Схема магнитной цепи представлена на рисунке 1 [3].

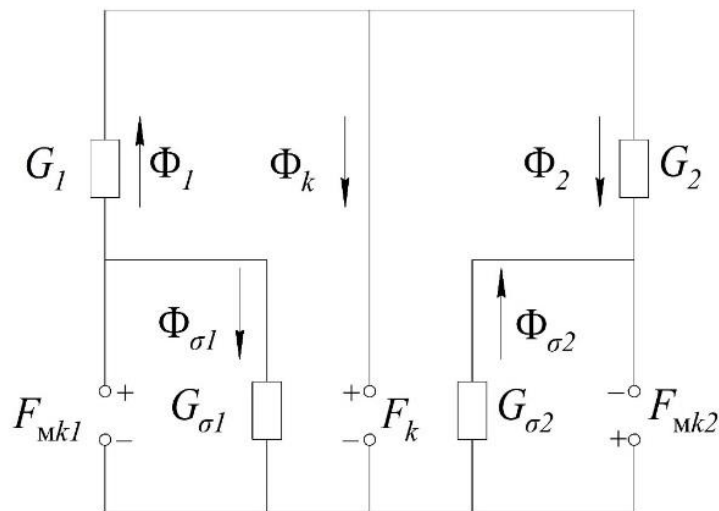


Рис. 1 Схема магнитной цепи

Магнитные потоки эквивалентных магнитных цепей [2]:

$$\begin{cases} \frac{\Phi_1}{G_1} + \frac{\Phi_2}{G_2} = \frac{F_{\text{МК1}}}{\sigma} + \frac{F_{\text{МК2}}}{\sigma}, \\ \frac{\Phi_1}{G_1} = \frac{F_{\text{МК1}}}{\sigma} \pm \frac{F_k}{\sigma}, \\ \Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_k. \end{cases}$$

Уравнение равновесия контура генератора [2]:

$$i_k(R_k + R_H) + i_k\omega_k^2 \frac{dG_z}{dt} + \frac{di_k}{dt}(L_H + G_z\omega_k^2) + \omega_k(\omega_{mk1}I_{mk1} \frac{dG_{z1}}{dt} + \omega_{mk2}I_{mk2} \frac{dG_{z2}}{dt}) = 0.$$

На рис. 2 показано изменение мгновенной мощности генератора в процессе испытаний, где положительные значения соответствуют мощности, отдаваемой генератором в нагрузку, а отрицательные – расход мощности для питания обмоток с целью создания корректирующих усилий.

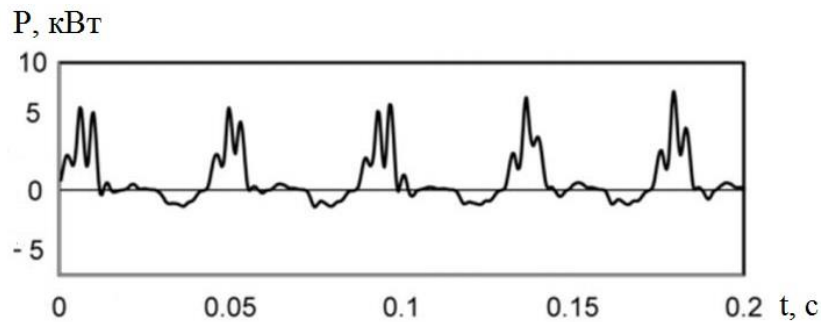


Рис. 2. Кривая изменения электрической мощности

Проектирование математических моделей линейных генераторов могут быть в дальнейшем применены при разработке различного рода устройств генерации электрической энергии.

### Источники

1. Ившин И.В. Обратимая электрическая машина возвратно-поступательного действия в модульном исполнении // Электрика. 2015. № 8. С. 2.
2. Korkmaz F. Simulink Model of Vector Controlled Linear Induction Motor with End Effect for Electromagnetic Launcher System // Electronics in electromechanics. 2014.
3. Сафонов В.А. Термомеханический двигатель с линейным генератором, работающий по циклу Стирлинга // Авиационно-космическая техника и технология. 2014. № 4. С. 60–62.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Р.М. Петрова<sup>1</sup>, А.Р. Петров<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>1998renata@mail.ru, <sup>2</sup>petroval13@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. А.Р. Сафин

В статье описана разработка математической модели силового трансформатора мощностью до 630 кВА с использованием среды ПО MatLab, позволяющая предопределить и предотвратить дефекты оборудования на ранней стадии их развития.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, холостой ход, режим работы под нагрузкой, мощность, индуктивность, падение напряжения, дефекты, соединение обмоток трансформатора, автономный инвертор, ветвь намагничивания, магнитопрод, математическая модель, ПО MatLab.

Задачей исследования является разработка математической модели (ММ) силового трансформатора с единым магнитопродом, в которой будет возможность произвольного соединения выводов обмоток, будут учтены потери в стали, а также появится возможность получения различных групп соединения обмоток  $\Delta$ ,  $Y$  и  $Y_0$ [1]. Электромагнитные уравнения для ММ взяты для фаз  $a$ ,  $b$  и  $c$ .

За ММ трехфазного трансформатора приняты электромагнитные уравнения для фаз  $a$ ,  $b$  и  $c$  [1].

Далее рассмотрим уравнения для фазы  $a$ . При последовательном соединении падение напряжения в ветви намагничивания первичной обмотки примет вид:

$$u_{a1} = -e_{a1},$$

где  $e_{a1}$  – ЭДС фазы  $a$  первичной обмотки.

$$u_{a1} = L_m (i_{ma}) \frac{di_{ma}}{dt} + r_m i_{ma},$$

где  $L_m$  – главная индуктивность,  $r_m$  – сопротивление потерь в стали,  $i_{ma}$  – ток в ветви намагничивания фазы трансформатора.

Индекс 1 в уравнении обозначает принадлежность к первичной обмотке силового трансформатора, индекс 2 – к вторичной.

Аналогично рассчитываются падения напряжения в ветвях намагничивания для фаз  $b$  и  $c$ .

Схема питания от автономного инвертора напряжения (далее АИН) без указания диодов защиты транзисторов показана на рис. 1 [2].

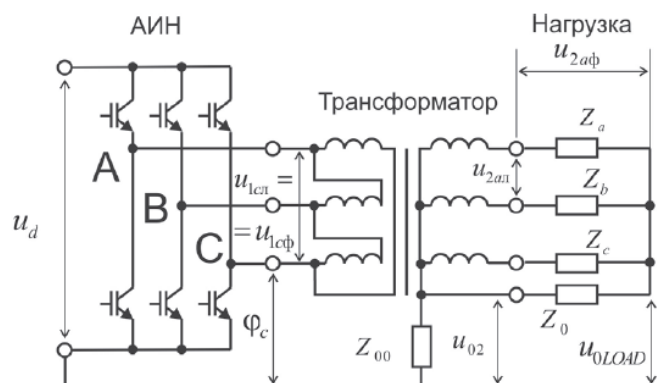


Рис. 1. Электрическая схема соединения трансформатора

При испытании электрической схемы силового трансформатора соединением  $\Delta/Y$  мощностью до 630 кВА, изображенной на рис.1, получаем результаты токов и напряжений, показанных на рис. 2. Погрешность вычисления токов и напряжений не превышает 3 %.

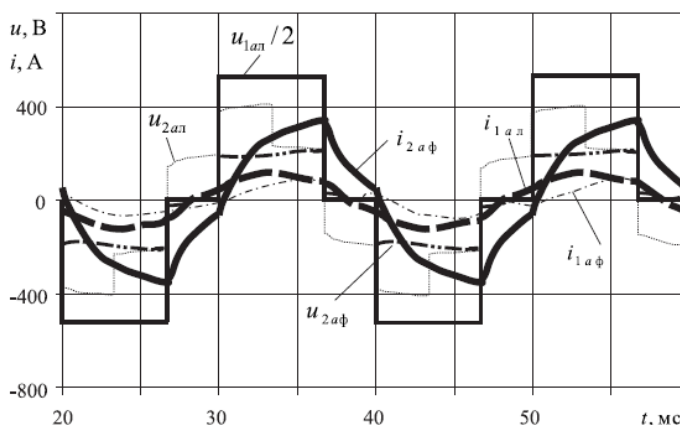


Рис. 2. Результаты токов и напряжений трансформаторов мощностями до 630 кВА с соединением обмоток  $\Delta/Y$

Замена индексов фаз производится при смене у математической модели вторичной обмотки на первичную. Кроме этого, необходимо в уравнении произвести следующие замены:

$$e_{a2} = \frac{w_2}{w_1} u_{c1} + L_{ya2} \frac{di_{a2}}{dt},$$

где  $e_{a2}$  – ЭДС фазы  $a$  вторичной обмотки,  $w_1$  – количество витков первичной обмотки,  $w_2$  – количество витков вторичной обмотки,  $L_{ya2}$  – индуктивность фазы обмотки.

Аналогичные замены в уравнениях для фазы  $b$  и  $c$ .

Таким образом, в ветвях происходит транспозиция проводов: индексы каждой фазы заменяются. Данное явление объясняется падением напряжения в ветвях намагничивания первичной обмотки.

При тестировании полученной модели следует делать проверку результатов в 2 режимах:

- 1) в режиме работы под нагрузкой;
- 2) в режиме холостого хода (ХХ).

### **Источники**

1. Петрова (Сагадуллина) Р.М., Галеева Р.У. Исследование влияния дополнительных параметров на экономический эффект при внедрении силовых трансформаторов на производственном предприятии // Сб. XXIII Аспирантско-магистерский научный семинар, посв. дню энергетика. 2019. Т. 1. С.13-15.

2. Альмиева Д.С., Галеева Р.У. Сравнительный анализ дополнительных потерь от несимметрии по напряжению обратной последовательности высоковольтных и низковольтных аппаратов // Матер. докл. XI межд. молод. науч. конф. «Тинчуринские Чтения», 2016. С. 163-164.

3. Smart Grid Working Group. Charting a New Energy Future // United States Department of Energy, 2020. P. 20-25.

УДК 621.316

## **АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ АСКУЭ**

Р.И. Рамазанова<sup>1</sup>, А.И. Муллагалиев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>ramzareg@icloud.com, <sup>2</sup>mullagaliev960@gmail.com

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. З.М. Шакурова

В данной статье проанализирован уровень развития инфраструктуры интеллектуальных сетей, а также его влияние на улучшение эффективности и надежности электроснабжения. Рассмотрены существующие проблемы в энергосетях, примеры применения на практике Smart Grid, а также исследование уровня энергоэффективности применения данных технологий. Анализ параметров потребления и оценка данных о напряжении.

**Ключевые слова:** интеллектуальные сети, энергоэффективность, перераспределение нагрузки, динамика потребления, техническое обслуживание.

Интеллектуальные технологии в наше время можно встретить в любой области нашей жизнедеятельности, и энергосети не являются исключением. Научные исследования в сфере «умных сетей» направлены на улучшение энергоэффективности инфраструктуры сетей, на быструю обработку большой базы данных параметров. Отклонения от нормативных параметров сети из-за ее нестабильности может привести к серьезным авариям и нарушениям. Для того чтобы избежать данных проблем, активно применяются интеллектуальные энергетические системы. Опыт внедрения данных систем уже показал свою высокую экономическую эффективность.

Интеллектуальная сеть – это комплекс из автоматических, программных и дистанционных технологий, который включает в себя «умные» счетчики, возобновляемые источники энергии и энергоэффективные ресурсы [1].

Исследования ИНЭИ РАН утверждают, что установленная мощность снизится на 10 %, а энергопотребление на 9 % благодаря умным сетям с использованием ВИЭ к 2030 г. Но, к сожалению, развитие интеллектуальной энергетики проходит не так быстро, потому что существует ряд проблем:

- устаревшее оборудование и сильный износ;
- безинициативность энергетических предприятий в модернизации;
- несоблюдение требований по эксплуатации и технического обслуживания, что приводит к снижению надежности сетей и риску для обслуживающего персонала и потребителей электроэнергии;
- нехватка специализированных и компетентных кадров в области электроэнергетики;
- децентрализованность системы электроснабжения;
- неподготовленная нормативно–техническая документальная база;
- высокие потери в электрических сетях, неоптимальная загрузка мощностей, наличие пиковых нагрузок.

Рассмотрим пример реализованного проекта внедрения умных сетей в Белгородской области. Экономическая эффективность к 2018 г. составила 89 млн. рублей. В данном регионе установили интеллектуальные счетчики, они помогли снизить потери электроэнергии на 10–30 % в тех городах. Мы проанализировали энергопотребление других регионов страны и пришли к выводу о том, что уровень энергоэффективности повышается, если идет уменьшение доли энергоемких отраслей, а также активное внедрение «умных» технологий [2].

Основными критериями для нашей оценки были следующие параметры: надежность и бесперебойность электроснабжения; энергетическая эффективность (уровень ее относительных потерь).

Мы рассмотрели использование аппаратно-программного комплекса АИИС КУЭ и экономический эффект от его внедрения. При использовании данной системы мы получаем доступ к постоянному и точному контролю параметров нашего потребления в любое время, а также получаем уведомление, если идет перегрузка.

Из-за ежеминутного контроля, система автоматически отслеживает значения параметров напряжения, чтобы они не выходили за пределы допустимых значений [2, 3].

По результатам замеров напряжения сети 0,4 кВ на рисунке можем увидеть, что фаза В и С выходит за пределы допустимого, а фаза А, наоборот, в вечернее время снижается до аномального минимума напряжения. Эта ситуация говорит нам о том, что необходимо убедиться в правильной динамике электропотребления. Если с ней все в порядке, то имеется случай несанкционированного подключения [3].

Решением проблемы может служить: перераспределение нагрузки по фазам, изменить структуру сети, переключение к другому источнику питания.

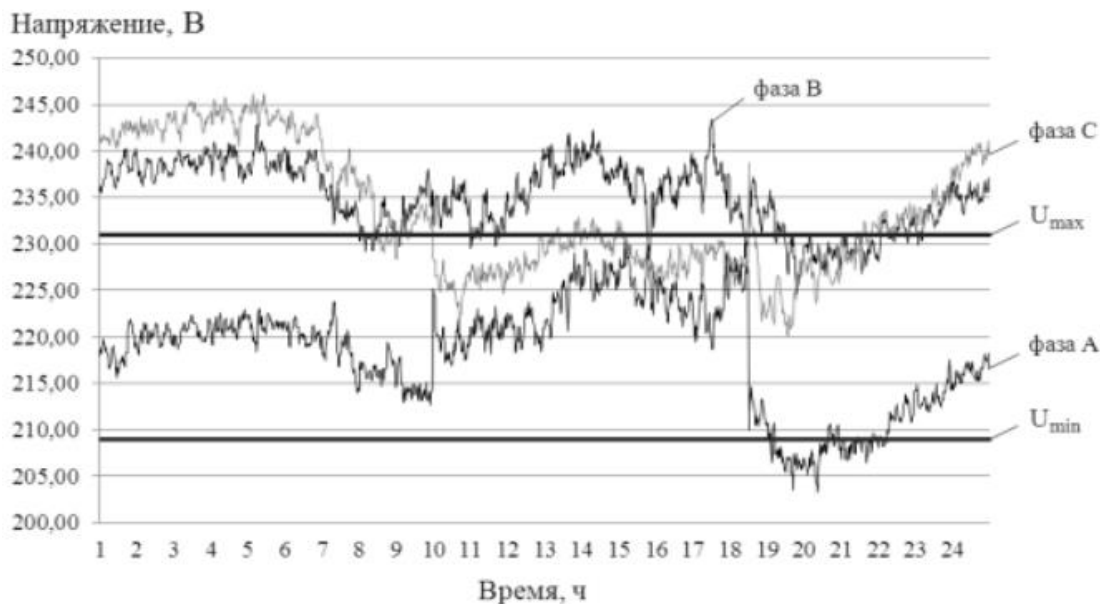


График изменения напряжения

АИИС КУЭ имеет много положительных характеристик, которые, действительно, помогает сделать наше потребление энергоэффективным и экономным. Но стоит не забывать о трудностях и дороговизне внедрения данной технологии, а также то, что потребители не особо понимают о необходимости модернизации [3].

### Источники

1. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Энергоресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. №6. С. 156-166.

2. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН Московская школа управления СКОЛКОВО. М., 2019. С. 143-160.

3. Петруша Ю. С. Современные задачи управления эффективностью энергоиспользования // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2012. №4. С. 34-41.

УДК 620.9

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ANYLOGIC»

Д.И. Семин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

piligrim.10@inbox.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Гибадуллин

В статье рассмотрены возможности имитационного моделирования в промышленности и энергетике, а также влияние технологии цифрового двойника на указанные сферы. Подробно рассмотрены преимущества цифрового двойника предприятия. Обозначены преимущества программного продукта для имитационного моделирования «Anylogic».

**Ключевые слова:** цифровизация, имитационное моделирование, промышленность, энергетика, цифровой двойник.

В настоящее время остро стоит вопрос автоматизации и цифровизации во всех сферах жизнедеятельности человека. Несомненно, эта тема актуальна и для промышленности. Подтверждение этому можно найти в Энергетической стратегии РФ до 2035 г. [1].

С развитием компьютерных мощностей и программного обеспечения появились новые тренды в цифровизации промышленности. Среди них – применение промышленного интернета вещей и создание цифровых двойников предприятий.



Цифровой двойник предприятия – это имитационная модель реально существующего предприятия. Самая простейшая функция, которую может осуществлять эта технология – диспетчеризация. С помощью установленных на оборудовании датчиков, специалисты будут своевременно получать информацию о его техническом состоянии. Однако, эта функция не основная.

Имитационные модели интерактивны. Благодаря этому, появляется возможность моделировать рабочие процессы на производстве. Кроме того, можно прогнозировать состояние системы в будущем, а также удаленно управлять объектом в режиме реального времени. Когда это уместно, цифровой двойник может самостоятельно обращаться к реальному объекту и вносить изменения в его работу [2].

Крупные компании уже принимают эту технологию. Так, например, «Газпромнефть» с 2019 года создает цифровую модель одного из своих нефтегазоконденсатных месторождений. По данным НИУ ВШЭ, рост спроса на разработки в области искусственного интеллекта и новых промышленных технологий будет повышаться [3].

Сейчас существуют разные программные продукты, предоставляющие возможности имитационного моделирования. Среди них выделяется AnyLogic. Это ПО было разработано российской компанией The AnyLogic Company [4]. AnyLogic имеет ряд преимуществ перед конкурентами, например вариативность языков моделирования, бесплатную версию обучения, наличие доступа к различным библиотекам моделирования процессов [5].

### **Источники**

1. Энергетическая Стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс]. Режим доступа:

<http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения 09.03.2022).

2. Как цифровые двойники помогают российской промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (дата обращения 07.03.2022).

3. Реальная цифровизация: 7 примеров эффективного внедрения BIG DATA, PLM и IIOT в промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bigdataschool.ru/blog/digital-twin-use-cases-industry.html> (дата обращения 10.03.2022).

4. An introduction to digital twin development [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/resources/white-papers/an-introduction-to-digital-twin-development/> (дата обращения 09.03.2022).

5. Официальный сайт программного продукта AnyLogic [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения 09.03.2022).

УДК 621.365

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕЗЕРВОВ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

И.У. Рахмонов

ТГТУ им. И. Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

[Pidder1987@yandex.ru](mailto:Pidder1987@yandex.ru)

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Ф.А. Хошимов

В статье предлагается методика оценки резервов экономии электроэнергии на промышленных предприятиях. Приведены основные направления исследований при оценке резерва экономии электроэнергии. На основе построения энергетических характеристик, представляющих собой функции мощности ( $P$ ), абсолютного ( $W$ ) и удельного ( $e$ ) расхода электроэнергии от количества перерабатываемого сырья ( $G$ ) или произведенной продукции ( $\Pi$ ), выявлены основные закономерности изменения электрических нагрузок и удельного электропотребления отдельных агрегатов и производственных подразделений. На основе анализа энергетических характеристик выбираются рациональные режимы электропотребления, обеспечивающие минимум затрат и нормирование электроэнергии.

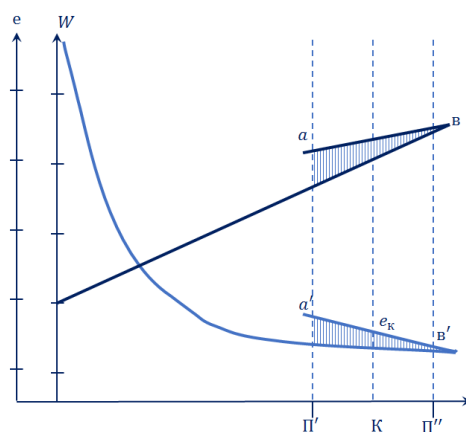
**Ключевые слова:** удельный расход, электропотребление, энергетическая характеристика, резервы экономии энергоресурсов, энергоэффективность.

Известно, что основные закономерности изменения электрических нагрузок и удельного электропотребления отдельных агрегатов и производственных подразделений могут быть выявлены построением энергетических характеристик, представляющих собой функции мощности ( $P$ ), абсолютного ( $W$ ) и удельного ( $e$ ) расхода электроэнергии от количества перерабатываемого сырья ( $G$ ) или произведенной продукции ( $\Pi$ ) [1–3].

Эти характеристики, кроме своей основной служебной роли, заключающейся в выборе наивыгоднейших режимов, обеспечивающих минимум затрат и нормирования электроэнергии, могут быть использованы и для выявления резервов экономии электроэнергии. Для этого можно предложить следующие методы [4].

На основании паспортных и факторных данных технологического оборудования и технологического регламента строим энергетическую характеристику производственного подразделения (цех, предприятие). В качестве исходных данных для построения этой характеристики должны быть приняты фактически потребляемая мощность и расход электроэнергии, полученные по замерам при нормальном режиме работы предприятия и нормальном состоянии машин и механизмов [5].

На рисунке кривые  $W = f(\Pi)$  и  $e = f(\Pi)$  представляют собой минимально возможный уровень расхода электроэнергии и удельного электропотребления, ниже которого он не может быть снижен при данном составе и техническом уровне технологического оборудования. Здесь каждой точке производительности соответствует строго определенное количество машин, механизмов, станков, линий и др., работающих с максимальной производительностью.



Нормативная энергетическая характеристика предприятия

В постоянную составляющую расхода электроэнергии ( $W_0$ ) входит расход на освещение, отопление, вентиляцию и т.д. Для рабочей зоны характеристики, ограниченной практически возможными отклонениями величины выпускаемой продукции ( $\Pi' \div \Pi''$ ), по фактическим данным производства, методами математической статистики, находим участок энергетической характеристики, отражающий уровень электропотребления ( $a \div B$ ), ( $a' \div B'$ ). Таким образом, величина резерва экономии электроэнергии в точке  $K$  определяется из выражения:

$$\Delta W_{\text{ЭК}} = (e_K - e)\Pi. \quad (1)$$

Полученный по формуле (1) результат дает представление об общем резерве экономии энергии при данном уровне эксплуатации и организации производства. Естественно, что для реализации этого резерва необходимо выявить конкретные факторы, под воздействием которых непроизводительно расходуется электроэнергия. Для этой цели могут быть использованы корреляционный и регрессионный многофакторный анализы.

В результате получаем множественную математическую модель:

$$e = a + vx_1 + cx_2 + \dots + \gamma x_n, \quad (2)$$

Полученная полиномиальная модель позволяет выявить факторы, под воздействием которых повышается электропотребление, дать их качественную оценку и включить в резерв экономии электроэнергии. С использованием характеристик  $e = f(\Pi)$  можно решать также такую задачу, как выявление резерва снижения энергозатрат на предприятиях, на которых полезный продукт извлекается из первичного сырья и качество готовой продукции зависит от содержания его в сырье и степени извлечения (фосфориты, хлопок-сырец и др.). Естественно, что повышение коэффициента выхода полезной продукции ( $\xi$ ), снижение ее потерь могут привести к значительной экономии энергии. Удельный расход электроэнергии на единицу перерабатываемого сырья составит:

$$e_G = \frac{W_G}{G}. \quad (3)$$

$$\Pi = \xi G, \quad (4)$$

Соответственно, удельный расход электроэнергии на производство готовой продукции находится из выражения:

$$e = \frac{W}{\xi G}. \quad (5)$$

Принимая, что расход электроэнергии остается постоянным при переработке одного и того же объема сырья и не зависит от содержания полезного продукта и коэффициента выхода ( $W_G = W$ ) получим:

$$e = \frac{1}{\xi} e_G. \quad (6)$$

Значение ( $e$ ) может быть получено также непосредственно из энергетической характеристики  $e = f(\Pi)$ .

Увеличение коэффициента выхода за счет совершенствования технологии и организации производства на величину  $\Delta\xi$  приведет к уменьшению удельного электропотребления и экономии электроэнергии в соответствии с выражением:

$$\Delta e = \left( \frac{1}{\xi} - \frac{1}{\xi + \Delta\xi} \right) e_G. \quad (7)$$

Значительные резервы экономии энергоресурсов скрыты в мероприятиях по снижению материалоемкости готовой продукции, снижения удельных показателей расхода сырья и полуфабрикатов.

Рассмотрим метод оценки полной энергоемкости промышленного изделия, в изготовлении которого на отдельных его этапах участвует ряд предприятий, в том числе, других отраслей промышленности.

Принимаем  $K$  общее количество производств, участвующих в получении и изготовлении сырья, полуфабрикатов и материалов, необходимых для производства конечной продукции  $Z$ . Количество продукции, выпускаемой каждым из этих производств, обозначим соответственно  $Q, Q_1, \dots, Q_n$ .

Учитывая, что для получения одной тонны готовой продукции необходимо, в ряде случаев переработать десятки тонн сырья и материалов и там, где организация производства находится на недостаточном уровне, могут быть допущены сверхнормативные потери и соответственно перерасход энергии.

Учет всего этого позволит поднять на новый качественный уровень содержание работ по нормированию электроэнергии.

Сущность предлагаемого метода заключается в том, что удельные расходы сырья и материалов включаются непосредственно в расчетные формулы удельного электропотребления каждого производственного подразделения и предприятия в целом. При этом резервы экономии электроэнергии выявляются в результате оптимизации компонентов показателей сырья, материалов и энергии.

Далее рассмотрим метод оценки влияния материалоемкости на электроемкость готовой продукции и определения величины резерва экономии энергии от снижения этого показателя.

Экономия электроэнергии для предприятия в целом при снижении материалоемкости в цехах составит:

$$W_{\text{ЭК}} = \sum [\alpha_i - (d_i \pm \Delta d_i)(q_i - \Delta q_i)] Z. \quad (8)$$

Таким образом, предложенные методы электроэнергетической оценки влияния технологических и организационных факторов на энергетические показатели производства позволяют обоснованно включать их в резерв экономии энергоресурсов и способствуют совершенствованию действующих и созданию новых энергосберегающих процессов и видов оборудования. Кроме этого при оценке величины полной электроемкости конечной продукции промышленных предприятий, а также выявление резервов экономии энергии при сокращении материалоемкости, должны учитываться в эксплуатации, планировании и прогнозировании энергетических показателей.

### Источники

1. Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б. Экономия энергии в промышленности. Н. Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2001. 296 с.

2. Сергеев Н.Н. Методологические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий: монография. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. 116 с.

3. Гофман И.В. Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий. Л.: Энергия. 1966. 319 с.

4. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Анализ нормирования электропотребления на предприятиях черной металлургии // Вестник ТашГТУ. 2019. №1. С. 52-57.

5. Хошимов Ф.А., Рахмонов И.У. Методика определения оптимальных пределов параметров электропотребления оборудования предприятий черной металлургии // Научно-технический журнал ФерПИ. 2019. Т. 23. №3. С. 147-150.

УДК 629.064.5:629.48(574)(045)

## STUDY OF IMPROVING THE RELIABILITY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM ON THE EXAMPLE OF A GAS-OXYGEN WORKSHOP

G.G. Tatkeyeva<sup>1</sup>, B.S. Mubarak<sup>2</sup>

КазАТУ им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Казахстан

<sup>1</sup>tatkeeva@mail.ru, <sup>2</sup>bmubarak@mail.ru

The article analyzes modern methods of improving the reliability of power supply of the gas and oxygen workshop of JSC «Akmola Car Repair Plant» Nur-Sultan.

The basis of this article is to increase the category of reliability of power supply from the third to the second. It proposed to check the results of the methods used using a special software package ETAP.

**Keywords:** method, gas-oxygen shop, increasing the reliability of power supply.

Gaseous oxygen workshop for the production of oxygen and compressed air for the entire auto repair workshop the availability of its own equipment makes it possible to manufacture products on a large scale for the supply of finished products. The main application of oxygen is welding, cutting and leveling of metals, and compressed air is cleaning, cleaning from dust and contamination of equipment, painting, starting systems, pneumatic drives of machines and mechanisms, etc. Violation of the supply of oxygen or compressed air stops not only the operation of the plant or workshop, but also the entire production of the enterprise. Therefore, improving reliability is a top priority.

Improving the reliability of the power supply is one of the most common problems in the energy industry. There are many ways to solve this problem, namely:

- use of overload capacity of electrical equipment;
- rational redundancy of electrical networks;
- removal of electrical equipment for repair not in accordance with planned prevention, but in accordance with the actual state of affairs;
- application of modern technologies and improvement of existing equipment;
- installation of automatic protective devices;
- reliable operation of relay protection and automation;
- power quality improvement;
- professional development of employees.

However, these methods are outdated. There are many modern ways to improve the reliability of power supply based on:

- fourier transform method;
- approximate methods;
- algorithm for calculating the network state search;
- universal generating function method;
- counting method (enumeration);
- analytical method;
- Monte Carlo method;
- the ANN method.

Let us consider the modern methods of improving reliability offered below. One of the most common methods is the method of fast Fourier transform. This method developed by a group of scientists Renuga P., Ramaraj N., Primrose A. Moreover, described in detail in the work «Time-frequency method for assessing the reliability of a large power generation system with fast Fourier transform». The method makes it possible to evaluate the reliability of the power generation system based on the frequency and duration of system failures. This method is particularly applicable to 1 categories for consumers with large energy systems and not for consumers in retail [1].

Benidris M. and Mitra J. in the work «Assessment of the reliability of a composite power system using the maximum energy flow and targeted optimization of the binary particle bar», he described in detail the development of a special algorithm for calculating the search for successful or unsuccessful operating states of the power system. The algorithm called "optimization of a binary particle swarm" [2].

Bao M, Ding I, Singh S, Shao S. in the work «A multi-state model for assessing the reliability of integrated gas and energy systems using the methods of the universal generating function<sup>2</sup> used a universal method necessary to create several states of the natural gas system model to assess the reliability of integrated gas and energy systems. This method, like the previous one, is widely popular in improving and evaluating the efficiency and reliability of power supply [3].

To develop the necessary probability distribution functions, a group of methods used in System Models – approximate methods. The main vector of these methods is the calculation of the approximate reliability of the system in question. Recently, however, such methods have rarely developed due to the very specific function of the model. Reliability assessment methods do not contain suggestions for improving the system design, but only evaluate and indicate whether the system is reliable. Therefore, it is necessary to create a framework for the design of the energy system [4].

Assessment of reliability based on the counting method (enumeration). This method, based on Matrix vectorization, allows you to compare the power, reliability and operating conditions of the equipment of the power supply system. In addition, the reliability of the power system calculated by assessing the reliability of the main equipment of the power system in terms of reliability categories. Backup sources then distribute electricity to other consumers. Then the new design of the emergency power system tested to determine the satisfaction of energy needs with the required reliability of the power supply. Then, with this approach, you can put a spare device of any size for the required reliability. The advantage of this method is that it can use not only in the power supply system [4].

Since the second category of power provides for the presence of an emergency power source, take, for example, a generator. The location of this unit in the distribution network affects the voltage profile, reliability, harmonics and many other parameters of the distribution system.

To assess reliability, two main methods are used, namely the analytical method and the Monte Carlo method. The Monte Carlo method selects the failure of network components to calculate the probability of reliability indicators, while analytical methods use various mathematical expressions to calculate reliability indicators [5].



Based on the analytical method, the reliability indicators SAIFI, SAIDI, EENS and ASAI, these indicators are necessary to find the optimal location of the generator, which plays an important role in improving the reliability of the power supply. Verification of the results of the methods used carried out by the ANN method using a special program of transitions and electrical analyzes ETAP. ETAP is the best utility for modeling electricity, which allows you to perform many analyze and calculations related to energy systems. Use combined analytical and analytical methods; it is possible to determine the location of the generator installation by reducing the values of the SAIDI, SAIFI and EENS systems. The introduction of the ANN method is a completely new approach to choosing the location of the backup generator, which confirms that the use of such computer technology reduces human errors and reduces the complexity of calculations [5–7].

To improve the reliability of electricity supply to consumers of the second category, it is better to use combined analytical and statistical methods. Ann recommends the use of special computer programs such as MATLAB, MathCAD, ANSYS, RastrWIN3 and ETAP. The combination of these methods allows you to most accurately reduce the reliability of systems and determine the correct location of excess power supplies. The ETAP program can used to calculate the reliability of the power supply system, since it is possible to study the short circuit, load current, transformer parameters, relays, cables and renewable energy devices.

### **Reference**

1. Renuga P, Ramaraj N, Primrose A. Frequency and Duration Method for Reliability Evaluation of Large Scale Power Generation System by Fast Fourier Transform ... 2015.
2. Benidris M, Mitra J. Composite power system reliability assessment using maximum capacity flow and directed binary particle swarm optimization. 45th North American Power Symposium // IEEE. 2013. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2013.6666951>.
3. Bao M, Ding Y, Singh C, Shao C. A multi-state model for reliability assessment of integrated gas and power systems utilizing universal generating function techniques // IEEE Trans Smart Grid. 2019. 10(6). P. 6271-6283. <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2900796>.
4. Ling W.C., Andiappan V., Chew I.M.L. Design of energy systems with redundancy allocation for unit operations based on supply reliability // International Journal of Energy Research. 2021. 45(15). P. 21114-21139.

5. Ahmad S., Asar A.U. Reliability enhancement of electric distribution network using optimal placement of distributed generation // Sustainability (Switzerland). 2021. 13(20). 11407.

6. Константинов А., Султанов М. Разработка методики оценки и прогнозирования уровня надежности энергетического оборудования тэс на базе показателей технического состояния // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. №1 (49). С. 141-151.

7. Romanova V.B., Khromov S.V., Suslov K.V. Analysis of influencing factors affecting the operational reliability of low-voltage asynchronous electric motors // Power engineering: research, equipment, technology. 2021. 23(3). P 80-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-80-89>.

УДК 627.8

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ БЕСПЛОТИННЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ УДАЛЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Д.А. Ульбрехт

КТИ (филиал) ФГБОУ ВО «ВолгГТУ», г. Камышин

[danil22013@mail.ru](mailto:danil22013@mail.ru)

Науч. рук. ст. преп. О.О. Ахмедова

В статье рассматривается сложившаяся ситуация на электроэнергетическом рынке России, представлены основные аспекты и перспективы развития отрасли. Произведен анализ недостатков эксплуатации гидроэлектростанций и предложен метод производства электроэнергии на основе применения бесплотинных малых гидроэлектростанций. Рассмотрен принцип работы гидроэлектростанции конструкции Н. Ленёва с определением ключевых преимуществ применения в непосредственной близости к потребителям.

**Ключевые слова:** малые гидроэлектростанции, перспективы развития электроэнергетики, плотинные и бесплотинные электростанции.

Электроэнергетическая отрасль во всем мире является основополагающей и дающей возможность развиваться другим областям промышленности, поэтому развития электроэнергетики идет с опережением по сравнению с другими отраслями. Для обеспечения стабильной экономики и высокого уровня жизни населения и внешнеэкономических связей необходимо рационально и максимально эффективно использовать не возобновляемые энергетические природные ресурсы с полным применением потенциала энергетического сектора.

Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р была утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Основными положениями, которой является уменьшения воздействия отраслей топливно-энергетического комплекса на окружающую среду и адаптацию их к изменениям климата за счет:

- 1) рационального природопользования и энергетической эффективности;
- 2) перехода к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике.

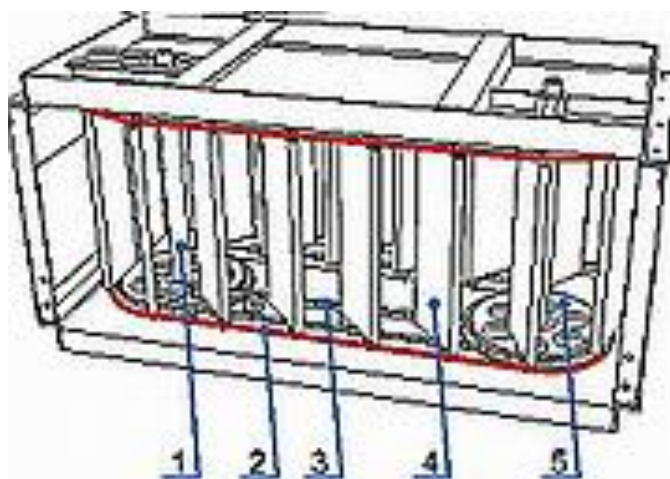
Следовательно, исходя из стратегии развития необходимо уже сегодня исследовать возможности получения «чистой» энергии не влияющей на окружающую среду. Широкое применение нетрадиционных методов получения электроэнергии приведет к изменениям в структуре системы распределения. Сейчас электроэнергетические сети России являются централизованными и связанными. Создание возможности применения малой распределенной передачи электроэнергии позволит улучшить экономические показатели электросетевого комплекса в целом, так как отпадет необходимость дальнейшей передачи небольших мощностей, возведения и реконструкции линий электропередачи и т.д.

Исходя из основных тенденций развития электроэнергетической отрасли анализ возможности применения бесплотинных гидроэлектростанций для выработки электроэнергии на малых электростанциях, расположенных в непосредственной близости к потребителям является весьма актуальным [1].

Использование больших плотинных ГЭС вызывает огромные эксплуатационные затраты, сопровождается длинными и дорогостоящими трассами ЛЭП, отчуждением под водохранилища земельных угодий, соизмеримых с территориями некоторых стран, и многое, многое другое. Все это весьма негативно сказывается даже в столичном регионе России, в котором процент изношенного электрооборудования достигает более 60–65 %.

Единая энергетическая система обеспечивает около 30 % покрытия территории Российской Федерации, на 70 % территории (регионы Камчатки, Магадана и Сахалина) выработка электроэнергии осуществляется автономно. Поэтому на тех территориях, где отсутствует подключение к централизованной электроэнергетической системе необходимо осуществлять выработку электроэнергии посредством постройки без плотинных ГЭС [1].

Бесплотинные электростанции обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными, так как исключаются капитальные затраты на сооружение плотин и затраты на дальнейшее их поддержание. Минимизируется вред, наносимый окружающей среде вследствие отсутствия больших значительных затопляемых территорий, изменения экосистемы водоема и т.д. Принцип действия бесплотинной гидроэлектростанции основан на преобразовании энергии водяного потока в электрическую (см. рисунок) [2].



Конструкция бесплотинной гидроэлектростанции

При положении установки фронтально к потоку горизонтальная составляющая сил давления потока на лопасти заставляет двигаться цепь, вращающую зубчатые колеса, установленные на валах, по часовой стрелке. При этом лопасти движутся своим задним ребром по направляющим, что позволяет сохранять постоянным угол расположения лопасти к направлению потока. В нижнем положении цепи из-за наружного расположения направляющей на корпусе плоскости также оказываются фронтальными к направлению потока. При этом звездочки вращают валы, один из которых соединен с электрогенератором. Благодаря расчетному количеству лопастей на гибком элементе поток среды, прошедший между каждой передней парой лопастей, попадает на нижнюю лопасть, располагающуюся фронтально к потоку [2, 3].

Исходя из конструктивной простоты и надежной воспроизводимости описанная, разработка имеет высокую наукоемкость.

### Источники

1. Берковский Б.М., Кузьминов В.А. Возобновляемые источники энергии на службе человека. М.: Наука, 1987. 128 с.
2. Бесплотинные ГЭС нового поколения [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.ntpo.com/techno/techno2\\_2/10.shtml/](http://www.ntpo.com/techno/techno2_2/10.shtml/) (дата обращения 03.03.2021).
3. Кусков А. Микрогидроаккумулирующая электростанция // Энергетика и промышленность России. 2008. № 14

УДК 621-313.3

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Н.А. Фомин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[nkfm.003@gmail.com](mailto:nkfm.003@gmail.com)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.Ф. Низамиев

В работе предложен индекс работоспособности для оценки технического состояния силового трансформатора. Индекс работоспособности позволяет оценить оставшийся срок службы трансформатора, принимая во внимание наиболее важные характеристики системы изоляции трансформатора.

**Ключевые слова:** индекс работоспособности, силовой трансформатор, оценка ресурса.

Для предотвращения возможных дефектов силовых трансформаторов и предотвращения потерь, возникающих после вывода их из эксплуатации, важно знать состояние их систем изоляции. Для этой цели используется индекс работоспособности, который количественно определяет техническое состояние силовых трансформаторов. Индекс работоспособности (НИ) – это величина, которая может быть использована для оценки общего состояния силового трансформатора. Это значение рассчитывается с использованием некоторых элементов диагностики, которые характеризуют работу и состояние трансформатора, и преобразуется в количественный показатель, который предоставляет информацию о состоянии его работоспособности. В [3] предложено соотношение для расчета индекса работоспособности, а именно:

$$HI = A_1 \frac{\sum_{i=1}^{n-3} c_i \cdot DI_i}{\sum_{i=1}^{n-3} 4 \cdot c_i} + A_2 \frac{\sum_{i=n-3}^n c_i \cdot DI_i}{\sum_{i=n-3}^n 4 \cdot c_i}, \quad (1)$$

где  $c_i$  – рейтинг, присвоенный каждому элементу состояния,  $DI_i$  – значение диагностического индекса (т.е. оценка, присвоенная каждому фактору состояния из табл. 1),  $n$  – количество рассмотренных диагностических факторов,  $A_1$  и  $A_2$  – соответствующие веса  $n-3$  факторов, которые описывают состояние трансформатора. Далее рассмотрим модель расчета диагностического индекса ( $DI$ ) для нескольких диагностических факторов, предложенных для расчета индекса работоспособности.

Анализ растворенных газов (АРГ) – это безопасный и ценный метод обнаружения начальных состояний отказа трансформаторов. С помощью АРГ можно различить наличие внутренних дуг, плохих электрических контактов, горячих точек, частичных разрядов, перегрева масла, целлюлозы, проводов и т.д. [1]. Максимально допустимые уровни содержания газа в масле установлены в IEEE, IEC, Дорненбурге, Бюро мелиорации и др. [2].

Таблица 1

Диагностические факторы

№	Диагностические факторы	$c_i$	$DI_i$
1	Анализ растворенных газов	10	4,3,2,1,0
2	Коэффициент загрузки трансформатора	10	4,3,2,1,0
3	Коэффициент потерь	10	4,3,2,1,0
4	Инфракрасная диагностика	10	4,3,2,1,0
5	Сопротивление обмотки	8	4,3,2,1,0
6	Коррозия основного бака	2	4,3,2,1,0
7	Охлаждение оборудования	2	4,3,2,1,0
8	Коррозия масляного бака	1	4,3,2,1,0
9	Утечки масла	1	4,3,2,1,0
10	Уровень масла	1	4,3,2,1,0
11	Коэффициент проводимости $k_c$	10	4,3,2,1,0
12	Индекс поляризации $k_p$	10	4,3,2,1,0
13	Коэффициент потерь $\operatorname{tg} \delta$ при $f = 1$ мГц	10	4,3,2,1,0

Исходя из этого, определяется коэффициент газоанализа  $F_g$ :

$$F_g = \frac{\sum_{i=1}^7 n_i p_i}{\sum_{i=1}^7 p_i}, \quad (2)$$

где  $n_i = 1 \dots 6$  – оценка, присваиваемая газу  $i$ , а  $p_i$  – его весовой коэффициент. Для  $p_i$  рассматриваются следующие значения: 1 – для СО и СО<sub>2</sub>, 3 – для СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub> и С<sub>2</sub>Н<sub>4</sub>, 5 – для С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub> и 2 – для Н<sub>2</sub>. Балл  $n_i$ , соответствующий газу  $i$ , выбирается в зависимости от концентрации (содержания) газа [3]. Если содержание газа превышает максимальное значение, присуждается 6 баллов. Размеры  $n_i$  и  $p_i$  позволяют рассчитать газообразование фактора анализа  $F_g$ . В зависимости от значений  $F_g$  изоляционной системе присваивается рейтинговый код, обозначаемый А, В, С, D или Е. Согласно [3], «А» присваивается наилучшему состоянию ( $F_g < 1,2$ ), а «Е» – наихудшему. ( $F_g \geq 3$ ) (табл. 2). Оценки, соответствующие газовым анализам А, В, С, D и Е, представляют собой цифры 4, 3, 2, 1 и 0, используемые в качестве диагностических индексов ( $DI_g$ ) в формуле (1).

Таблица 2

Оценка состояния трансформатора

Описание	Состояние	Оценка состояния
$F_g < 1,2$	Очень хорошее	А
$1,2 \leq F_g \leq 1,5$	Хорошее	В
$1,5 \leq F_g < 2$	Удовлетворительное	С
$2 \leq F_g < 3$	Неудовлетворительное	D
$F_g \geq 3$	Критическое	Е

Ряд физических и химических тестов, таких как содержание воды и кислорода, межфазное натяжение, индекс кислотности, коэффициент потерь, диэлектрическая прочность и т.д., указывают на состояние масла [1]. Влажность трансформатора приводит к снижению (ухудшению) диэлектрических характеристик системы изоляции. Используя соотношение (2) и значения оценок  $n_i$  можно определить значение  $F_g$ . На основе значений  $F_g$  присваивается рейтинговый код к качеству масла (А, В, С, D, Е), аналогично анализу растворенных газов, определяя диагностический индекс  $DI_0$  [3].

## Источники

1. Xiang Zhang, Ernst Gockenbach. Asset-Management of Transformers Based on Condition Monitoring and Standard Diagnosis // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2008. Vol. 24. No. 4. Pp. 26-40.
2. Saha T.K. Review of Modern Diagnostic Techniques for Assessing Insulation Condition in Aged Transformers // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2003. Vol. 10. No. 5.
3. Ali Naderian Jahromi, Ray Piercy, Stephen Cress, Jim R. R. Service, Wang Fan. An Approach to Power Transformer Asset Management Using Health Index // IEEE Electrical Insulation Magazine. 2009. Vol. 25. No. 2. Pp. 20-34.

УДК 621.31.003

## УЧЕТ ДОМИНИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ В ЦЕНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.А. Хамидуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
xamidullin.01@list.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Ганиев

В работе проведен анализ учета воздействия тарифных цен, отражающих колебания электроэнергии в графиках нагрузки крупного промышленного предприятия, на средневзвешенную цену потребителя по различным ценовым категориям. Также ставится вопрос обоснованности тарифов при почасовом учете и планировании при участии крупных потребителей в затратах энергокомпаний на маневрирование мощностью. Представлены результаты расчетов потребления энергии нефтехимического предприятия 5-й категории.

**Ключевые слова:** автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии, автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии, оптовый рынок, гарантирующие поставщик, ценовая категория.

Важным аспектом электропотребления является его ценовая составляющая. При анализе тарифных цен, предлагаемых гарантирующим поставщиком, возникают два аспекта: первый – учет воздействия тарифа, соотношения между переменной и постоянной составляющих структуры цены на режим электропотребления предприятия и второй – влияние профиля нагрузки на выбор ценовой категории [1].



Для анализа использовались суточные графики нагрузки заводов предприятия ПАО «Казаньоргсинтез» [2] с потребляемой мощностью 20 МВт при среднесуточном изменении  $\pm 2,5$  % от среднего значения. Расчёты проводились по ценовой категории при реальном на момент расчетов соотношении ставок одноставочного и двухставочного тарифов. Результаты проведенных расчётов позволили выявить дополнительно возникающие возможности потребителя при выборе ценовой категории.

Стоимость электропотребления за месяц  $C_3$  для третьей ценовой категории определяется выражением

$$C_3 = C_{ЭЭ} + C_M = \sum_{i,j=1}^{24,k} w_{ij} \Pi_{отп\,ij3} + \Pi_{03} \left( \frac{1}{k} \right) \sum_{j=1}^k W_j, \quad (1)$$

где  $C_{ЭЭ}$ ,  $C_M$  – стоимость электроэнергии, мощности за месяц, соответственно.

Рассматриваемое предприятие относится к пятой ценовой категории. Стоимость электропотребления для пятой ценовой категории:

$$C_5 = C_{ЭЭФ} + C_M + C_{доб} = \sum_{i,j=1}^{24,k} W_{ij\phi} \Pi_{ij} + \Pi_0 \left( \frac{1}{k} \right) \sum_{j=1}^k W_j + \sum_{i,j=1}^{24,k} (W_{ijn} - W_{ij\phi}) \Pi_{ij\,доб}, \quad (2)$$

где  $W_{ijn} - W_{ij\phi} = \Delta W_{ij\phi}$  – объем отклонения электроэнергии планового от фактического каждого  $i$ -ого часа рабочего  $j$ -го дня;  $\Pi_{доб\phi}$  – цена электроэнергии для каждого  $i$ -ого часа для отклонений от фактического потребления.

Средневзвешенная стоимость электроэнергии по пятой ценовой категории для исследуемого предприятия составила  $\Pi_{оср5} = 1510$  р./МВтч. Средневзвешенная цена электроэнергии по пятой категории определяется выражением:

$$C_{5\,ср} = C_{ЭЭср5} + C_{мср5} + C_{доб5} = 1510 P_{т\phi} + \frac{C_{M5}}{744} + \frac{C_{о5}}{744}. \quad (3)$$

Стоимость электропотребления для четвертой ценовой категории:

$$C_4 = C_{\text{ЭЭ}} + C_M + C_{\text{МП}} = \sum_{i,j=1}^{24,k} W_{ij} \Pi_{ij} + \Pi_0 \left( \frac{1}{k} \right) \sum_{j=1}^k W_j + \Pi_C \left( \frac{1}{k} \right) \sum_{j=1}^k W_{jn} . (4)$$

Сетевая мощность, определенная по указанному ниже порядку, составила  $P_{c4} = 20,3$  МВт. Цена за сетевую мощность (которая равна ставке за мощность двухставочного тарифа на оказание услуг по передаче электроэнергии) равна  $\Pi_{c4} = 800$  руб. за кВт. Стоимость электроэнергии при четвертой ценовой категории определяется для каждого часа отдельно, далее суммируется по всем часам. В итоге за час средняя стоимость электроэнергии равна  $\Pi_{cр4} = 1074$  р./МВт.

$$C_{4\text{ср}} = C_{\text{ээср}} + C_{\text{мс}} + C_{\text{пм}} = 1074 P_{\Pi} + \frac{C_M}{744} + \frac{C_{\text{пм}}}{744} . (5)$$

Средняя стоимость электроэнергии по шестой ЦК за один час потребления составила  $\Pi_{cр6} = 1071$  р./МВт.

$$C_{6\text{ср}} = C_{\text{ээ}} + C_M + C_{\text{пм}} + C_{\text{доб}} = 1071 P_{\text{тф}} + \frac{C_M}{744} + \frac{C_{\text{пм}}}{744} + \frac{C_{\text{доб}}}{744} . (6)$$

В ценообразовании участвуют параметры оптового и розничного рынка, связанные с графиком нагрузки и схемой питания [3]. Исследования показали, что для крупного промышленного предприятия ценовые категории (5-я и 6-я), учитывающие расчеты при почасовом учете и планировании, следует выбирать в том случае, если погрешность прогноза составляет не более 7 % при цене на электроэнергию по третьей и четвертой ценовым категориям на 2,5 % ниже, чем по пятой или шестой. При этом должно соблюдаться условие  $\Pi_0 > \Pi_T + \Pi_{c6}$ , а ценовая добавка  $\Pi_{\text{доб}}$  при отклонения от плана не должна превышать 35 % от цены на электроэнергию на оптовом рынке.

### Источники

1. Ценовые категории «Encost.com» [Электронный ресурс]. Режим доступа: Ценовые категории | Encost.com (дата обращения 15.01.2022).
2. Годовой отчет ПАО «Казаньоргсинтез». [Электронный ресурс]. Режим доступа: «god\_otch\_2020.pdf» (kazanorgsintez.ru)» (дата обращения 20.01.2022).
3. Законодательство о функционировании розничных рынках электрической энергии в схемах. Николай Мантилье. Москва 2018.

## ДИАГНОСТИКА КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

А.Х. Хасанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

a.h.khasanova@yandex.ru

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Л.В. Долманюк

Компрессор высокого давления обеспечивает сжатым воздухом воздушные высоковольтные выключатели, которые необходимы для оперативного включения и отключения отдельных цепей или электрооборудования, а так же для применения в других сферах промышленности и народного хозяйства. Для диагностики изначально применялась система автоматики на базе реле и электроконтактных манометров. В последнее десятилетие начали применять микропроцессоры и электронные датчики.

**Ключевые слова:** компрессор высокого давления, электроконтактный манометр, реле, датчик давления, микропроцессор, шкаф автоматики.

В схеме, реализованной на базе реле (рис. 1), от каждой ступени прокладывались трубки к электроконтактному манометру, на котором устанавливались две уставки (минимальное давление и максимальное) [1]. В случае повышения давления сверх допустимых пределов или недобора до значений минимума срабатывал электроконтактный манометр, который подавал сигнал на реле и компрессор отключался.

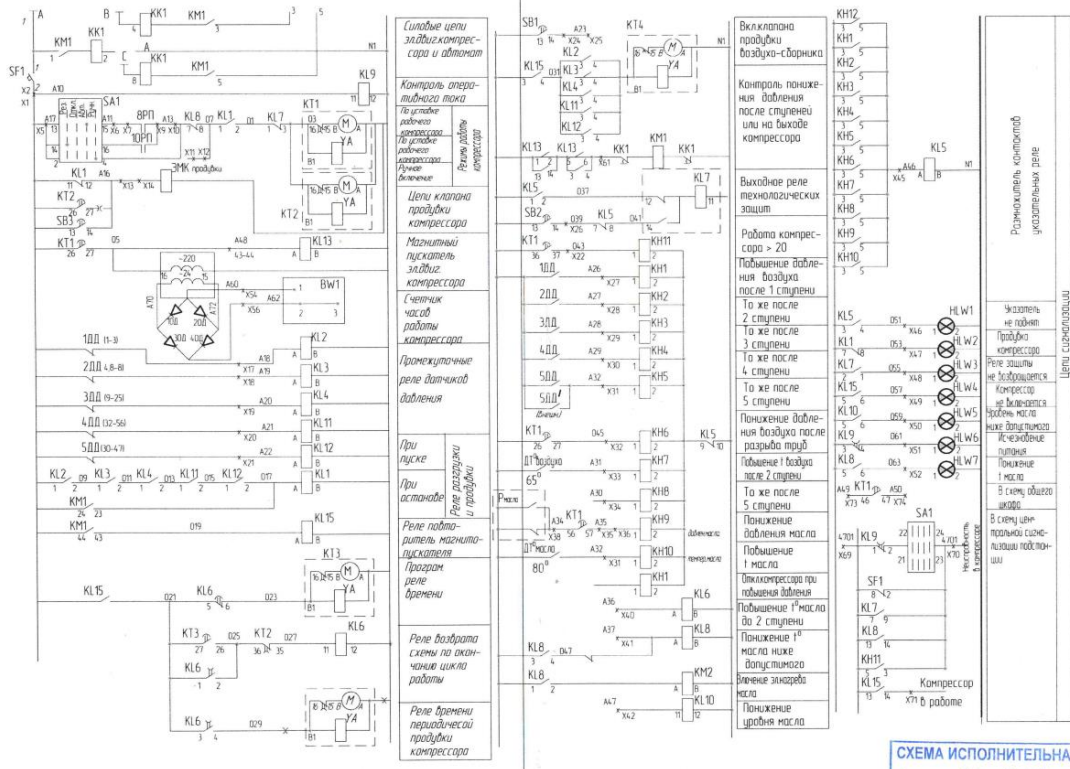


Рис. 1. Принципиальная схема управления

Существенный недостаток такой схемы – это использование трубок высокого давления, которые в процессе эксплуатации могут забиваться смазочным маслом и конденсатом и замерзать при пониженных температурах окружающей среды.

В настоящее время используется автоматическая система управления (далее по тексту АСУ), включающая в себя шкаф автоматики, датчики давления и температуры [2]. Теперь вместо манометров используется датчики, которые стоят непосредственно на ступенях компрессора и соединяющиеся со шкафом управления кабельной продукцией. Эта схема позволяет контролировать параметры при работе компрессора, а так же обеспечивает автоматический останов двигателя в случае появления аварийных ситуаций.



Рис. 2. Главный экран

АСУ выполняет следующие функции:

– визуальный контроль информации о следующих параметрах (рис.2):

- а) давление воздуха на нагнетении каждой ступени;
- б) давление масла в системе смазки;
- в) давление на выходе;
- г) температура масла в картере ;
- д) наработка;
- е) температура.

- контроль и настройка параметров компрессора;
- пуск и останов ЭД;
- запрет запуска при ряде отклонений;
- выбор режима работы компрессора;
- аварийную звуковую и световую сигнализацию;
- вывод аварийных сообщений на панель оператора.

## Источники

1. Электротехника [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electrono.ru/> (дата обращения 12.03.2022).

2. Агрегат компрессорный ВШВ-3/100 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docplayer.com/> (дата обращения 12.03.2022).

УДК 681.586.78

## СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ

А.А. Цветкова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[nedegradant@mail.ru](mailto:nedegradant@mail.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Цветков

В статье рассматриваются методы повышения энергоэффективности вентиляционных установок предприятий с дневным режимом работы, не имеющих возможность отключения вентиляции в ночное время с целью обеспечения отведения излишней влаги из помещений, предложены и проанализированы способы снижения расхода электрической и тепловой энергии.

**Ключевые слова:** вентиляционная установка, система вентиляции, частотный преобразователь, система управления, энергоэффективность.

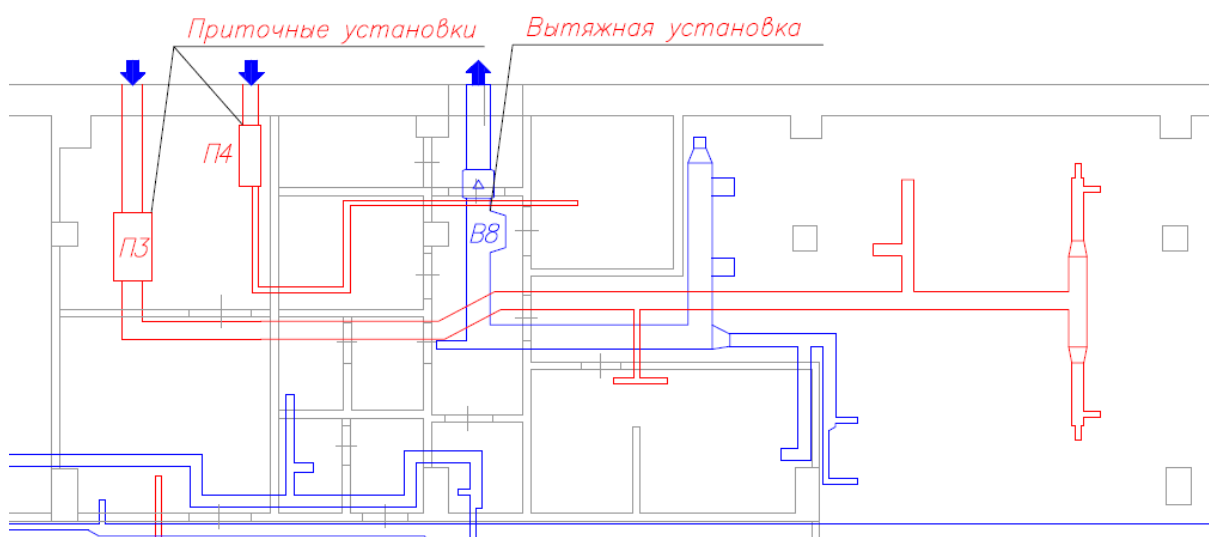
Задачи, возлагаемые на вентиляционные установки, заключаются в необходимости поддержания требуемого уровня влажности, температуры и обеспечения требуемого объема обмена воздуха. В их состав входят приточные и вытяжные системы [1]. В большинстве предприятий с дневным режимом работы, для экономии электрической и тепловой энергии осуществляют отключение вентиляционных установок в нерабочее время. Но существуют предприятия с дневным графиком работы, и не допускающие отключения вентустановок на ночь, например, из-за высокой влажности. К таким предприятиям относятся спортивно-оздоровительные комплексы и бани [2].

В режиме подсушивания помещений и поддержания температуры в холодное время года не обязательно выводить вентустановку на полный режим, при этом достаточно снизить количество воздушного потока и температуру подаваемого воздуха [3].

Снижение температуры подаваемого воздуха однозначно приводит к снижению расхода тепловой энергии, так как необходимо меньше гигакалорий тепла на то же самое количество подаваемого воздуха.

Электрическую энергию позволяет сэкономить снижение количества подаваемого воздуха, так как в ночное время источники влажности пропадают и достаточно обеспечивать воздухообмен, необходимый только для отвода накопившихся за день излишков влажности, так сказать просушить помещения. Пример участка вентиляционной системы приведен на рисунке.

Просто отключив приточные установки и оставив только вытяжные, можно получить эффект захлаживания здания, когда из-за небаланса давлений в помещение может проникать наружный холодный воздух, и к утру следующего дня может возникнуть некомфортная среда с пониженной температурой, при прогреве которой снова может возрасти влажность.



Участок системы приточной и вытяжной вентиляции предприятия

Наоборот, отключив вытяжные установки и оставив приточные получается эффект запертого воздуха, при этом при сохраняющейся температуре помещения происходит насыщение воздуха влагой и к утру получаются теплые, но влажные помещения.

Значит для снижения объема воздуха, прокачиваемого через помещения, необходимо снизить производительность как приточных, так и вытяжных установок. В качестве регулирования производительности вентиляции применяются шиберирование или частотное регулирование скорости вращения вентиляторов. Шиберирование представляет собой изменение сечения вентиляционного канала, при этом скорость вентилятора не меняется, в связи с этим данный способ не является энергоэффективным.

Наиболее энергоэффективным способом является применение частотных регуляторов на приточных и вытяжных установках. Чаще всего частотные регуляторы применяются на приточных установках, реже – на вытяжных. Поэтому основная задача модернизации вентиляционной системы предприятий чаще всего заключается в установке частотных преобразователей на вытяжных установках, расчете минимальной производительности вентиляции в ночное время и введении системы управления, осуществляющей переход в ночное время на пониженную частоту вращения, а в дневное возврат к нормальной.

В итоге, при наличии на предприятии системы мониторинга и диспетчеризации оборудования, задача внедрения системы управления производительностью сводится к введению алгоритма задания скоростей вращения электродвигателей вентиляторов в зависимости от заданного времени [3]. При этом многие современные вентиляционные установки позволяют системе управления производить изменение требуемой температуры, например понижать температуру подаваемого в помещение воздуха на 1...2 градуса, это даст дополнительный эффект экономии тепловой энергии.

В настоящее время проводится исследование результатов внедрения предложенного способа повышения энергоэффективности вентиляционных установок спортивно-оздоровительного комплекса «Акварена». При исследовании принимаются решения о степени снижения производительности приточных вентиляционных установок до минимально допустимого значения, при котором сохраняется достаточная скорость воздушного потока, и не происходит образования сырых и не продуваемых мест в помещениях душевых.

### **Источники**

1. Полковников Р.Н., Якухин В.А. Использование контура горячего водоснабжения для подогрева воды в бассейне // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. №3-3.

2. Горковенко А.А., Хоничев Ю.В. Повышение энергоэффективности плавательного бассейна Тогу // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции фад Тогу. 2010. Т. 2. 2010.

3. Доан Нгок Ши, Цветков А.Н. Использование элементов системы электроснабжения в качестве датчиков параметров в системах автоматизированного управления // IV Межд. науч.-практ. конф. «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли» Альметьевск, 16–18 октября 2019 года.

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ КАБЕЛЬНЫХ МУФТ И СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ИХ МОНТАЖА

И.А. Шкарупа

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

shkarupa.ivan16@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Н.В. Денисова

В статье представлен анализ причин повреждения и выхода из строя кабельных муфт на различные классы напряжения. Предложены способы улучшения монтажа кабельных муфт, отличающиеся от стандартной сборки.

**Ключевые слова:** муфта, кабель, изоляция, повреждение, монтаж.

Кабельная муфта – это набор деталей и материалов, необходимых для соединения проводников и подключения их к электрооборудованию. Муфты являются важным элементом любой кабельной линии, они предотвращают попадание влаги, грязи, пыли в места соединения кабелей, а также защищают от повреждений. Но муфты являются еще и слабым звеном любой кабельной линии. Качество и надежность муфт оказывают существенное влияние на функционирование всей кабельной линии [1, 2].

На основе опыта монтажа и обслуживания кабельных линий АО «Сетевая компания», был проведен анализ причин повреждения и выхода из строя кабельных муфт.

Основными причинами повреждения и выхода из строя кабельных муфт являются [3]:

1) недостатки и производственный брак – некачественная обработка поверхностей элементов муфты, использование некачественных материалов;

2) ошибки в процессе монтажа – попадание грязи, разрезы и разрывы изоляции;

3) влажная среда – попадание влаги, приводящее к коррозии и растрескиванию материалов муфт;

4) дефекты прокладки и механические повреждения – скручивание кабелей, большой угол поворота кабельной линии, повреждения техникой при раскопке кабеля;

5) температурные перепады – перегрев изоляции, близость к источникам тепла, превышение токовой нагрузки;



б) изменение режимов эксплуатации – перенапряжения, частые отключения линии, длительные перегрузки;

Данные причины повреждения и выхода из строя муфт являются актуальной проблемой во многих электрических сетях России, и ее решение может дать значительный эффект, так как приведет к повышению надежности энергосистемы.

Для предотвращения выхода из строя кабельных муфт и увеличения срока их службы, в данной работе предлагаются следующие монтажные «хитрости», отличающиеся от стандартной сборки:

1) при разделке кабеля под муфту, предлагается увеличить область зачистки полиэтиленовой изоляции и использовать в этих местах герметик. Это позволяет избежать попадания влаги в муфту при просадке кабеля под землей и его изгибе. Такие действия не соответствуют инструкциям по монтажу кабельных муфт различных производителей, но позволяют повысить надежность муфт;

2) при монтаже муфты, предлагается дополнительно накладывать герметик на концах термоусаживаемой трубки, ввиду его отсутствия у некоторых производителей, так как именно отсутствие герметика (в муфтах Rauchen) приводит к увлажнению и разрушению муфты, что было подтверждено при обследовании кабельных линий;

3) при соединении экранов кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена предпочтительно применение болтового соединения, так как роликовые пружины постоянного давления не обеспечивают требуемый контакт, что приводит к нагреву и выходу из строя, вследствие оплавления изоляции муфты.

### **Источники**

1. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ; под ред. И.Т. Горюнова, А.А. Любимова. Т. 3. М.: ПапирусАПро, 2004. 688 с.

2. Проблемы обеспечения надёжности распределительных сетей промышленных предприятий / М.Г. Баширов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. № 3-4. С. 85-93.

3. Методика оценки результатов диагностики кабельных линий среднего напряжения с применением вероятностной модели надёжности / Н.К. Мифтахова, И.В. Ившин, В.А. Гаврилов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 5-6. С. 114-118.

### Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

УДК 621.914.32

#### РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ФРЕЗЫ

Р.Р. Ахметханов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mr.axmet2209@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.С. Каминский

Рассмотрены структурная схема и принцип работы автоматической системы управления перемещением фрезы. Предложены функции непрерывного контроля текущего положения фрезы и состояния креплений подвижных узлов, позволяющие повысить надежность системы и качество выполнения операций обработки.

**Ключевые слова:** фрезерование, система управления, числовое программное управление, шаговый двигатель, драйвер.

Разрабатываемая система управления перемещением фрезы позволяет выполнять фрезерование обрабатываемого материала, включая нанесение надписей, узоров или логотипов, выполненных в трех плоскостях, что является актуальным и востребованным в настоящее время [1]. Последовательность операций обработки заготовки конкретного типа задается программой обработки (ПО), состоящей из команд управления перемещением фрезы (макрокоманд). Программа обработки составляется оператором заранее и хранится в виде файла персонального компьютера.

Принцип работы автоматической системы поясняет разработанная структурная схема, представленная на рис. 1. Схема содержит персональный компьютер (ПК), устройство управления (УУ), преобразователь интерфейса (ПИ), дисплей Дп, клавиатуру Кл, джойстик Дж, шаговые двигатели (ШД) для обеспечения перемещения фрезы по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ , драйверы шаговых двигателей Др, концевые выключатели КВ.

На ПК установлена прикладная программа управления, осуществляющая управление шаговыми двигателями при помощи УУ. Поскольку УУ не имеет в своем составе USB-порта, то для связи ПК и УУ применен ПИ, обеспечивающий двунаправленную передачу [2].

Для выполнения фрезерования оператор запускает на ПК программу управления, в которой открывает требуемый файл с ПО. Программа управления осуществляет считывание и последовательную передачу макрокоманд ПО от ПК в микроконтроллерное устройство управления, которое обеспечивает непосредственное управление перемещением фрезы.

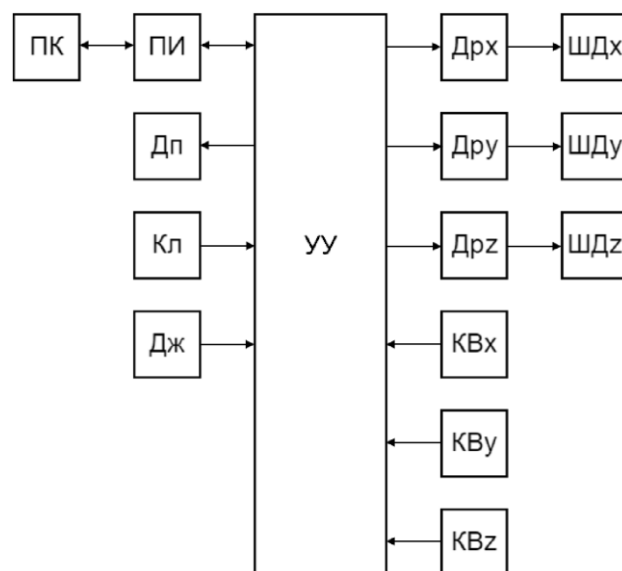


Рис. 1. Структурная схема автоматической системы управления перемещением фрезы

Символьный жидкокристаллический дисплей Дп отображает текстовую информацию для оператора, такую как текущий режим работы, состояние процесса обработки детали, результат выполнения очередной макрокоманды. Клавиатура Кл используется оператором для пуска, остановки и управления режимами работы системы, а также ручного вертикального перемещения фрезы по оси z. Джойстик Дж служит для ручного перемещения фрезы по осям x и y перед началом обработки детали.

Микроконтроллерное УУ осуществляет организацию работы с оператором, прием макрокоманд от ПК, формирование сигналов управления шаговыми двигателями, передачу в ПК сообщения о результате выполнения текущей макрокоманды. В алгоритме работы УУ целесообразно применить непрерывный контроль положения фрезы. Для этого УУ перед выполнением очередной макрокоманды вычисляет новые значения координат и в случае их выхода за пределы рабочего поля производит остановку выполнения программы обработки и вывод в ПК и на дисплей сообщения об ошибке. Эта функция позволит предотвратить брак и повреждение механической части системы при наличии ошибок в ПО.

Драйвер ШД осуществляет питание и коммутацию обмоток статора ШД, обеспечивая вращение ротора ШД в прямом и обратном направлении. При этом драйвер ШД выполняет необходимые функции управления ШД: выбор направления вращения; перемещение ротора ШД на один шаг в заданном направлении; обеспечение микрошагового режима ШД с коэффициентами деления шага от 1/2 до 1/32; защиту выходных каскадов от короткого замыкания, перегрузок по току и перегрева. Концевые выключатели КВ<sub>z</sub>, КВ<sub>x</sub>, КВ<sub>y</sub> вырабатывают логические сигналы при достижении фрезой начала каждой из осей [3], что используется для перевода фрезы в исходное положение перед началом и в процессе обработки.

Основные параметры выполнения программы управления также отображаются на мониторе ПК. При этом оператор имеет возможность управлять процессом обработки, используя клавиатуру ПК. Так, в частности, возможен останов процесса обработки и ввод макрокоманд вручную с клавиатуры ПК, что может быть использовано для корректировки программы обработки.

При длительной эксплуатации механических систем с ШД возможно ослабление креплений подвижных узлов вследствие вибраций, возникающих при выполнении операций обработки заготовки. Предлагаемый алгоритм работы системы управления имеет функцию контроля текущего состояния креплений подвижных узлов, как перед началом обработки заготовки, так и непосредственно в процессе обработки. Для этого вначале фреза устанавливается в начало координат по моменту срабатывания КВ каждой из осей. Далее производится пробное перемещение фрезы на заданное число шагов и последующий возврат фрезы в начало координат с одновременным подсчетом числа шагов до момента срабатывания КВ. По величине разности подсчитанного и заданного числа шагов делается вывод о текущем состоянии механической части системы.

Рассмотренная структурная схема автоматической системы управления перемещением фрезы является основой для дальнейшей разработки и исследования системы. Предложенные алгоритмы работы позволяют повысить надежность системы и качество выполнения операций обработки.

### **Источники**

1. Фрезерные станки: высокоточная гравировка на практически любом материале [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vektor.us/blog/gravirovka-na-frezernom-stande-s-chpu.html> (дата обращения 01.03.2022).

2. Преобразователи интерфейсов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://kip.su/info/kip\\_kipovich/dlya-chego-nuzhny-preobrazovateli-interfeysov/](https://kip.su/info/kip_kipovich/dlya-chego-nuzhny-preobrazovateli-interfeysov/) (дата обращения 02.03.2022).

3. Электрические и электронные аппараты: учебник для вузов / Под ред. Ю.К. Розанова. М.: Энергоатомиздат, 2001. 752 с.

УДК 628.9

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОСЛЕДНИХ ЛЕТ НА ОСНОВЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

А.Ю. Васина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

AnzhYan@yandex.ru

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. Р.Х. Тукшаитов

На основании параметров, представленных в каталогах фирм-производителей светодиодного оборудования последних лет, проведена предварительная оценка качества и экономической целесообразности приобретения осветительного электрооборудования. Проведено разбиение источников света на классы по показателю коэффициента технико-экономической эффективности.

**Ключевые слова:** осветительное электрооборудование, оценка качества, коэффициент технико-экономической эффективности, светоотдача.

Объективность составляемых рейтингов в значительной степени определяется совершенством применяемых методик обработки данных. Существующий способ, отражающий сведения о светодиодном оборудовании на основе единой десятибалльной шкалы, не учитывает значимость отдельных параметров, из-за чего достоверность рейтинга оказывается недостаточной [1]. Ранее также было установлено, что световой поток, на основе которого зачастую начинают проводить комплексную оценку, зависит от исходной мощности модели [2, 3]. По этой причине наиболее достоверную информацию дает светоотдача, которая определяется как отношение светового потока ( $\Phi$ ) к мощности ( $P$ ). Она принята в качестве одного из исходных показателей при проведении сравнительной оценки осветительных приборов [4].

Среди экономических показателей наиболее важным для покупателя остается стоимость, которая зачастую у приборов с разной светоотдачей имеет одинаковое значение. Поэтому целесообразно цену прибора приводить к стоимости единицы светового потока. Другие параметры, такие как гарантийный срок и коэффициент мощности на первом этапе по информативности могут быть отнесены к вторичным [5].

Из этого следует, что показатель светоотдачи и удельная цена единицы светового потока являются наиболее информативными параметрами на этапе предварительной оценки осветительного электрооборудования, которые следует использовать для комплексного определения коэффициента технико-экономической эффективности по формуле [3]:

$$K_{тээ} = \frac{\eta}{\gamma_{руб/лм}}, \frac{лм^2}{Вт \cdot руб},$$

где  $\eta$  – светоотдача светильника, лм/Вт;  $\gamma_{руб/лм}$  – цена единицы светового потока.

Данный интегральный показатель не зависит от мощности, что позволяет несколько увеличить размах значений оценок в относительных единицах и дает более достоверное представление о качестве и экономической целесообразности приобретения осветительного электрооборудования. Для более полной их характеристики следует о качестве приборов судить по их принадлежности к тому или иному классу из пяти [6]. Некоторые значения (8; 473 и 732 у.е.) изделий фирм Ферекс, Geliomaster и Комлед были исключены из рассмотрения, так как единичны и статистически могут быть отнесены к промахам. Результаты вычислений представлены в процентах относительно количества промышленных и уличных светильников для каждого производителя (табл. 1). Полученные значения были округлены до целых чисел и для наглядности представлены с меньшей шириной класса.

В результате анализа, к числу наиболее энергоэффективных и экономичных приборов отнесены изделия фирм Geliomaster, к среднеэффективным – изделия Barrus Group и NEWLED. Существенно меньшей технико-экономической эффективностью обладают приборы фирм Комлед и Ферекс. Также можно заметить, что распределение приборов у рассмотренных фирм существенно различается и по процентному соотношению в классах (табл. 2).

Таблица 1

Результаты вычислений относительно количества промышленных и уличных  
светильников для каждого производителя

№	Фирма	№ класса и значение $K_{тээ}$				
		I 295–384	II 250–294	III 205–249	IV 115–204	V 25–114
1	Barrus Group	13	2	36	27	24
2	Geliomaster	19	28	16	18	18
3	NEWLED	–	–	24	76	–
4	Комлед	2	4	9	55	30
5	Ферекс	–	–	–	22	78

Таблица 2

Распределение приборов у рассмотренных фирм

№	Фирма	Удельная доля ОП % в пределах 120- 180 лм/Вт	Максимальная светоотдача ОП, лм/Вт и уд. доля, %	Минимальная светоотдача ОП, лм/Вт и уд. доля, %
1	Barrus Group	76	160/8,8	92/2,2
2	NEWLED	100	140/59	135/27
3	Geliomaster	97	178/6,3	85/3,1
4	Ферекс	85	178/3,0	107/3,0
5	Комлед	97	173/2,0	119/2,0

При характеристике производителей с точки зрения обеспечения светоотдачи по-прежнему в качестве нижней границы диапазона выбрано критериальное значение равное 120 лм/Вт, так как данные ранних исследований показали, что большинство рассмотренных фирм обеспечивают светоотдачу не ниже этого уровня [7]. В результате проведенных исследований предложен новый диапазон критериального значения светоотдачи. Установлено, что верхний предел критериального значения за последние 5–7 лет увеличился почти в 2 раза как за счет повышения светоотдачи электроприборов, так за счет снижения их стоимости.

В результате проведенных исследований установлено новое предельное значения для коэффициента технико-экономической эффективности. За последние 5 лет верхнее значение  $K_{тээ}$  у приборов отдельных фирм повысилось практически в два раза (до 384 от. ед.).

## Источники

1. Тукшаитов Р.Х., Абдуллазянов Э.Ю., Исыхакэфу А. Методика оценки технико-экономической эффективности промышленных светодиодных светильников // Современная светотехника. 2014. № 1. С. 58-60.

2. Тукшаитов Р.Х. Алгоритмы предварительной оценки качества светодиодных светильников на этапе их приобретения // Энергетика Татарстана. 2014. № 1 (33). С. 48-50.

3. Тукшаитов Р.Х., Исыхакэфу А., Нургалиева Э.И. Сравнение светодиодных светильников ряда ведущих фирм на основе результатов первого этапа анализа из технико-экономических показателей // Современная светотехника. 2014. № 4. С. 51-54.

4. Айхайти И., Тукшаитов Р.Х. Экспертиза качества светодиодных ламп разных производителей на основе оценки технико-экономической их эффективности // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2014. № 7-8. С. 144-148.

5. Васина А.Ю. Сравнительная оценка бренда ряда фирм на основе значений коэффициента технико-экономической эффективности светодиодных светильников // Тинчуринские чтения - 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: сб. тр. Межд. молод. науч. конф. Казань, 2020. Т. 1. С. 231-234.

УДК 621.3.048

## МЕТОДИКА И ПРИБОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.Г. Галиева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

galieva.kgeu@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.А. Иванов

Наличие частичных разрядов является одним из наиболее ярких показателей дефектов и протекающего процесса деградации систем электроизоляции. Непрерывный контроль состояния изоляции имеет преимущество по сравнению с имеющимся сейчас периодическим мониторингом. В данной работе предлагается методика и прибор для непрерывной диагностики высоковольтных диэлектрических элементов в процессе эксплуатации на основе динамической регистрации электромагнитного излучения. Метод заключается в измерении набора диагностических параметров с помощью электромагнитных датчиков, определяющих уровень принимаемого сигнала.

**Ключевые слова:** диагностика изоляционных элементов, электрофизические процессы, твердые диэлектрики, частичные разряды, компьютерная обработка сигналов, надежность, дистанционный контроль, система мониторинга.



Наличие частичных разрядов (ЧР) в течение длительного времени в изоляционном оборудовании может привести к катастрофическим сбоям в системах высокого напряжения, что приведет к экономическим, энергетическим и даже человеческим жертвам. Таких сбоев и потерь можно избежать, постоянно контролируя деятельность ЧР [1]. В настоящее время метод регистрации электромагнитного излучения на ультравысоких частотах (300-3000 МГц) широко используется для обнаружения ЧР в энергетическом оборудовании [2–5].

ЧР возникают в виде импульсов тока, имеющих длительность намного меньше  $10^{-6}$  с, так, например, в твердой изоляции импульсные токи ЧР имеют длительность  $10^{-9}$ – $10^{-6}$ , а у токов поверхностных ЧР он составляет  $10^{-7}$  с. Поэтому, существующие сегодня системы мониторинга изоляции, основанные на методах, измеряющих время распространения сигналов, а именно: определение времени прибытия сигнала до приемников (англ. time of arrival – TOA) и разницу во времени прибытия (англ. time difference of arrival – TDOA) [2,6] являются сложными и дорогостоящими, поскольку они требуют синхронизации по времени, высокочастотных аналоговых систем измерения и обработки, высокочастотных аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) и, как следствие, высоких вычислительных мощностей, что значительно усложняет и повышает стоимость системы.

В данной работе предложен алгоритм регистрации и локализации ЧР на основе уровня принимаемого сигнала (англ. received signal strength indicator – RSSI) пропорционального амплитуде ЧР с фазовой синхронизацией сетевого напряжения. Метод не требует сверхвысокой синхронизации по времени. Основное преимущество метода RSS по сравнению с методами TDOA и TOA заключается в том, что он не требует сложного и дорогостоящего оборудования для синхронного сбора данных, что значительно удешевляет систему мониторинга.

Новизна предлагаемого метода заключается в том, что сканируется весь диапазон 400 МГц – 1 ГГц узкими полосами по 5 МГц с усреднением. Полосы, на которых уровень шума не позволяют выделить полезный сигнал – отбрасываются. Такой подход позволяет отделить сигнал ЧР от других сигналов в радиозфире, исключить сохранение осциллограмм сигналов и сложную математическую обработку.

В системе для верификации местонахождения источника ЧР предполагается использовать модель затухания для пространственного определения источников. Нами был проведен эксперимент по регистрации затухания электромагнитного сигнала (рис. 1), который подтверждает возможность использования этого метода в работе.

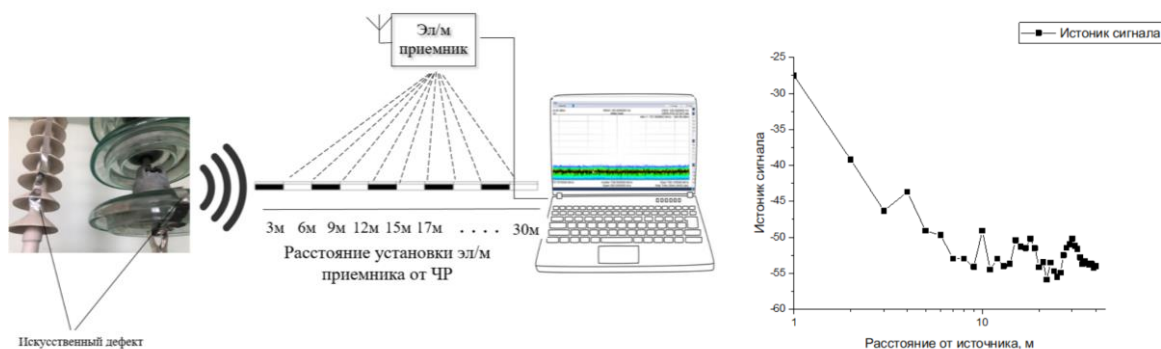


Рис. 1. Схема эксперимента по определению зависимости затухания электромагнитного сигнала от расстояния (слева) и полученная модель затухания (справа)

Прибор для диагностики высоковольтных изоляторов (ВИ) представляет собой диагностическую часть, состоящую из электромагнитного датчика и датчика фазы, микроконтроллер, память и передающую часть (рис. 2).

Система диагностики ВИ состоит из трех приборов, которые устанавливаются по одному на каждый фазный провод воздушной линии (ВЛ) вблизи ВИ. Все полученные данные передаются по радиоканалу на диспетчерский пункт. Дефекты будут проецироваться на карту ВЛ. По всей ширине спектра с использованием нескольких каналов измеряется амплитудно-разрешенный сигнал с синхронизацией по фазе высокого напряжения. Устройство сбора и обработки данных с помощью разработанной и обученной модели нейронной сети вычисляет местоположение источников ЧР, учитывая возможные варианты расположения.

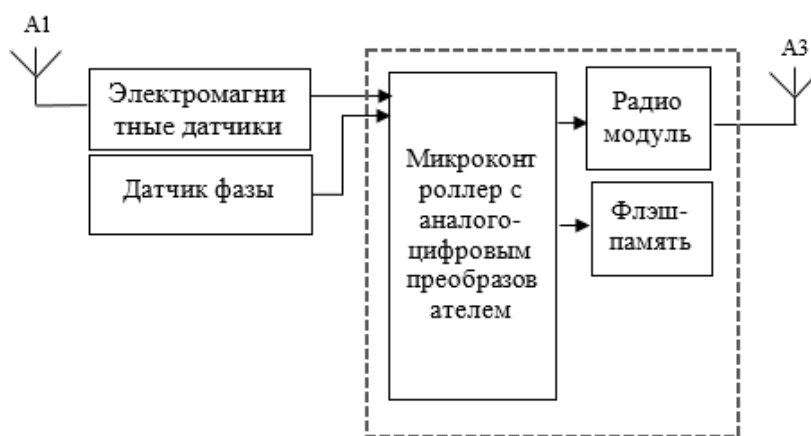


Рис. 2. Блок-схема прибора для диагностики ВИ

Таким образом, разработаны методика и прибор для диагностики высоковольтных диэлектрических элементов в процессе эксплуатации на основе динамической регистрации электромагнитного излучения. Система диагностики высоковольтных изоляторов дает возможность контролировать их удаленно непрерывно, не нарушая рабочий процесс.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90145.

### **Источники**

1. Зарипов Д.К., Лопухова Т.В. Метод дистанционной диагностики высоковольтной изолирующей конструкции // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2006. № 3-4. С. 56-60.

2. PD-Map – система оперативного поиска и локации дефектов оборудования открытых высоковольтных подстанций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dimrus.ru/pdmap.html>.

3. Long J., Wang X., Zhou W., Zhang J., Dai D., Zhu G. A Comprehensive Review of Signal Processing and Machine Learning Technologies for UHF PD Detection and Diagnosis (I) // Preprocessing and Localization Approaches. Received April 5, 2021, accepted April 29, 2021, date of publication May 4, 2021, date of current version May 17, 2021.

4. Патент 014207 В1. Устройство и способ для определения местоположения и анализа процессов искрения. Андерсон Ларри, Бил Джон У., Эллис Дэвид С., Лаулетта Джон (US). Опубл. 29.10.2010. Заявл. 31.07.2007, №200900251.

5. Голенищев-Кутузов А.В., Иванов Д.А., Потапов А.А., Кротов В.И. Использование бесконтактных методов диагностики высоких электрических полей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 4. С. 123-133.

6. Dhara S., Koley C., Chakravorti S. A UHF Sensor Based Partial Discharge Monitoring System for Air Insulated Electrical Substations // IEEE Transactions on Power Delivery. 2020. doi: 10.1109/TPWRD.2020.3046276.

## ДИСТАНЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ РЕЛЕ НА БАЗЕ МОДУЛЯ ESP-01

А.И. Гимадиев<sup>1</sup>, Д.Р. Закиев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>azat.gimadiev.99@mail.ru, <sup>2</sup>damirzakiev@gmail.com

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Л.В. Ахметвалеева

Научно-технический прогресс в современном мире привел к усложнению всех технических и электронных систем. Это, в свою очередь, вызвало востребованность автоматизации систем, а также удаленного управления ими. Для решения задач по удаленному управлению множеством устройств и систем можно воспользоваться дистанционным устройством управления реле, осуществляющим работу по беспроводной сети Wi-Fi.

**Ключевые слова:** дистанционное управление, микроконтроллер, реле, мобильное приложение, Wi-Fi модуль, смартфон.

Микроконтроллерное устройство Arduino Mega 2560 используется в данной работе в качестве обработчика информации с модуля ESP-01, а также управляющего устройства реле [1].

Wi-Fi модуль ESP-01 используется в качестве приемника Wi-Fi сигнала со смартфона и последующей передачи информации на микроконтроллерное устройство [3].

Модуль Реле «8-Channel 5V Relay Module JQC-3FF-S-Z» используется в качестве управляемого устройства.

Смартфон используется в качестве пульта дистанционного управления. Можно использовать любой смартфон с поддержкой Wi-Fi 802.11 b/g/n и предустановленной программой управления.

Разработка программы управления реле происходит в интегрированной среде разработки Arduino IDE, которая используется для программирования всех плат Arduino. Для программирования применяется упрощенный вариант языка C++. В программу управления включены специальные библиотеки для работы с модулем ESP-01 и программной средой управления со смартфона Blynk. Для разработки приложения для дистанционного управления используется платформа Blynk, которая предназначена для создания доступной платформы для беспроводного управления электронными устройствами со смартфона.

Выход в Интернет не является необходимым условием – Blynk Server можно скачать и развернуть в домашней сети или на производстве, получив полную автономность в рамках системы. В программе инициализируются основные входы и выходы, данные для подключения к сети Wi-Fi и специальный ключ аутентификации Blynk, который уникален для каждого проекта на этой платформе [2].

Алгоритм функционирования дистанционного устройства управления реле на базе модуля ESP-01 (см. рисунок).



Функциональная схема дистанционного устройства управления реле на базе модуля ESP-01

Устройство дистанционного управления реле на базе модуля ESP-01 выполняет следующие функции:

1. Подключается к заданной точке доступа Wi-Fi.
2. Управляет различными нагрузками мощностью до 210 Вт.

### Источники

1. Белов А.В. Управление модулем Arduino по Wi-Fi с мобильных устройств. СПб.: Наука и Техника, 2020. 496 с.
2. Internet of Things with ESP8266 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.i-element.org/PDF/E09.pdf> (дата обращения 09.03.2022).
3. Шварц Марко. Интернет вещей с ESP8266: пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2019. 224 с.

## ДАТЧИКИ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕКАНТЕРНОЙ ЦЕНТРИФУГИ

А.Е. Жолдаякова<sup>1</sup>, В.В. Трабо<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново

<sup>1</sup>zholdayakovaarna@yandex.ru, <sup>2</sup>vova.trabo@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.А. Тихомирова

В статье рассматривается автоматизация участка химической водной подготовки узла осветления воды с использованием декантерной центрифуги. Обоснована важность этого технологического процесса для повышения эффективности и производительности предприятия. Описано применение датчика регулятора момента.

**Ключевые слова:** производство аммиака, декантерная центрифуга, автоматизация, регулятор, водоподготовка.

Для производства аммиака необходимо выделить основные составляющие – азот и водород, и соединить их в правильной пропорции 1/3. Основное производство направлено на обработку природных ресурсов с помощью сложного технологического процесса и приведения их к состоянию, готовому для синтеза аммиака [1].

Ресурсы, используемые для создания аммиака на производстве, – воздух, вода, природный газ (метан). Такой выбор обусловлен высоким содержанием азота в воздухе и водорода в природном газе. Водород из воды также используется в синтезе, однако вода является не только ресурсом, но и важной технологической составляющей. Она применяется как для охлаждения, так и для нагрева различных технологических участков.

Получаемые сложные соединения аммиака являются наиболее эффективными минеральными удобрениями и используются повсеместно для повышения урожайности. Растущие объёмы производства химических предприятий требуют постоянной автоматизации технологических процессов, поэтому узел химической водной подготовки обезвоживания осадка в процессе осветления поступающей воды на декантерную центрифугу оснащают множеством датчиков для регулирования параметров участков и оптимизации его работы.

На рис. 1 показаны места установки основных датчиков, необходимых для контроля технологического процесса: датчик уровня (радарный уровнемер) для поддержания и контролирования уровня воды в ёмкостях шламовых вод; датчик мутности для контроля концентрации шламовых вод; ультразвуковой уровнемер для контроля уровня в камере приготовления раствора флокулянта; расходомер раствора флокулянта; манометр, контролирующей давление на входе насосов фугата [2].

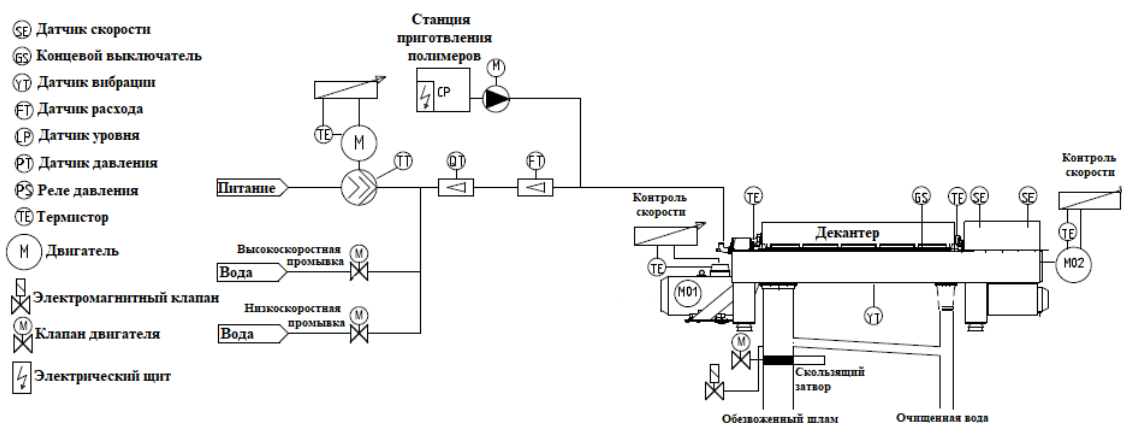


Рис. 1. Функциональная схема декантерной центрифуги с местами установки технологических датчиков

Особое внимание к данному процессу обуславливается постоянной потребностью в воде всего предприятия. Для корректной работы центрифуги используется ПИ регулятор, показанный на рис. 2, который рассчитывает дифференциальную скорость между главным и обратным приводами, необходимую для поддержания уставки момента на обратном приводе.

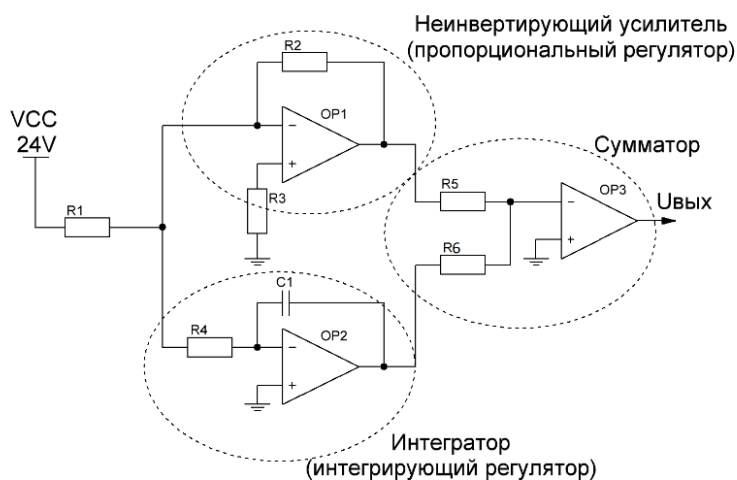


Рис. 2. Упрощенная схема ПИ-регулятора

Диапазон регулирующего воздействия регулятора является динамическим. Шкала аналогового сигнала момента расчетная [3]. Верх шкалы рассчитывается по формуле:

$$\text{Шкала}_{\text{верх}} = u \cdot 0,001 \cdot \frac{P \cdot 9550}{\omega},$$

где  $u$  – передаточное число,  $P$  – номинальная мощность,  $\omega$  – номинальная скорость двигателя.

Низ шкалы выбирается в зависимости от шага алгоритма, т.е. низ шкалы – это дифференциальная скорость, которая будет поддерживаться регулятором при моменте ниже уставки.

Регулятор дифференциальной скорости не является регулятором в полном смысле этого слова. Регулирующее воздействие от регулятора момента корректирует значение скорость вращения главного привода, и результат коррекции передается как уставка скорости вращения обратного привода:

$$SP_{\text{оп}} = V_{\text{гп}} - MV_{\text{рег}} \cdot u,$$

где  $V_{\text{гп}}$  – скорость вращения главного привода со знаком (отрицательное значение – обратное вращение),  $MV_{\text{рег}}$  – регулирующее воздействие регулятора момента,  $u$  – передаточное число.

Таким образом, результат автоматизации технологического процесса позволяет удовлетворить потребности предприятия в очищенной воде для производства аммиака и охлаждения или нагреве необходимых узлов цеха.

### Источники

1. Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот: справочник. М.: Федеральное агентство по техническому регулированию метрологии. 2015. 909 с.
2. Датчики контроля параметров в промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech\\_414.html](https://www.equipnet.ru/articles/tech/tech_414.html).
3. Рабочая документация. Математическое обеспечение «Описание алгоритмов условий пуска, работы, пусковой и остановочной последовательности установки «АЛЬФА ЛАВАЛЬ»». ООО «Северокавказский технический центр». 2020. 13 с.



## ДЕТЕКТОРЫ СКРЫТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДКИ

Д.В. Куличихин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

danilkulichihin43@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Шириев

В работе приводятся результаты сравнительного анализа принципов действия, технических параметров и области применения детекторов скрытой проводки.

**Ключевые слова:** скрытая проводка, электростатический детектор, электромагнитный детектор, металлодетектор.

При проведении ремонтных работ в помещении электромонтажному персоналу необходимо знать точное местонахождение электрического кабеля и проводов в стенах и перекрытиях, а также иметь возможность проверить их целостность. Независимо от отсутствия или наличия монтажной схемы расположения электропроводки при проведении ремонтных работ необходимо применять специальный прибор, выполняющий функцию детектора скрытой проводки. Проведение электромонтажных работ без него чревато возникновением серьезных негативных последствий для здоровья человека, которые могут возникнуть при повреждении проводки во время ведения ремонтных работ [1, 2].

Самые простые по конструкции электрические детекторы не обладают высокой точностью и способны осуществлять лишь поиск скрытых кабелей. Более дорогие и современные модели детекторов имеют существенно шире возможности применения. Они отличают обесточенную электрическую проводку от той, которая находится в данный момент под напряжением. При возникновении обрыва электрической цепи очень сложно обнаружить место непосредственного повреждения электрического провода. В случае наличия достоверных данных о местонахождении трассы электрических проводов, процесс вскрытия этой проводки относится к дорогостоящим и довольно-таки трудоемким процессам. Универсальные электрические детекторы скрытой проводки позволяют избегать подобных проблем при ведении электромонтажных работ [3, 4].

Различают электростатические, электромагнитные и металлодетекторные приборы. Электростатические детекторы имеют широкий радиус действия. Такие устройства могут применяться для поиска и обнаружения электрических проводов, находящихся под напряжением. Кроме того, такой прибор весьма чувствителен к помехам, которые вызываются наличием металлических изделий или повышенным уровнем относительной влажности внутри конструкции стен. Подобные детекторные электронные устройства применимы для нахождения скрытой проводки в жилых помещениях [3–5].

Электромагнитные детекторы обеспечивают более качественный и точный результат. Они считаются более комфортными в работе и обладают более высоким уровнем надежности. Однако в случае проведения поисковых работ электрической линии под малой нагрузкой или обесточенных проводов результаты подобного сканирования могут оказаться сильно искаженными.

Металлодетекторные приборы способны обнаруживать обесточенные электрические провода внутри конструкции стен. К сожалению, этот детектор будет подавать сигнал обнаружения электрического проводника при наличии любых предметов из металла, будь то шуруп, арматура или гвоздь. Эта особенность существенно осложняет процедуру поиска скрытой проводки.

Комбинированные детекторные приборы относятся к профессиональному и более дорогостоящему оборудованию, ведь они сочетают в себе элементы конструкции принципиально различных систем поиска. Однако эти приборы способны обнаружить место непосредственного расположения электрического кабеля, а также глубину его залегания. К тому же они позволяют определить наличие или отсутствие токов в проводе и приложенного напряжения на нем (см. таблицу).

Характеристики детекторов скрытой проводки

Марка		Bosch GMS 120 Professional	Mastech MS6906	UNI-T UT387B	Floureon TH210	Skil detector 550	ADA Wall Scanner 80
Глубина обнаружения, мм	проводка под напряжением	50	75	50	76	50	50
	черный металл	120	30-50	80	76	80	80
	цв. металл	80	–	80	76	60	60
	дерево	38	30-50	20	38	20	20
Цена, руб.		8400	3400	4000	2400	4600	3400

Исходя из изученного материала, можно выделить комбинированный детектор. Комбинирование электростатического, электромагнитного и металлодетекторного принципов поиска скрытых электрических сетей позволяют точно определить местоположение электропроводки с учетом внешних помех, а также определить наличие электрической нагрузки или напряжения на кабеле. В силу этих особенностей универсальные искатели проводки в стенах и других конструктивных элементах зданий обладают высокой популярностью среди специалистов. Приборы для поиска скрытой проводки значительно облегчают деятельность электромонтажного персонала.

### **Источники**

1. Иванова В.Р., Фетисов Л.В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С.120-129.

2. Андреев А.Ю., Качалуба О.Д. Детектор скрытой проводки // Студенческая наука об актуальных проблемах и перспективах инновационного развития регионального АПК: сб. тр. XVII научно-практ. конф. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2018. С. 175-178.

3. Гайнуллин И.И., Орлов А.В. Детекторы для поиска скрытых кабелей // Роль инноваций в трансформации современной науки: сб. тр. Межд. науч.-практ. конф.: в 6 частях. Уфа, 2017. С. 36-39.

4. Пахомов А.В., Бояринов Е. Детектор скрытой проводки // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сб. тр. IV Студ. науч.-практ. конф. 2021. С. 747-752.

5. Исаев А.А., Ларин Д.А. Универсальный малогабаритный искатель // Гагаринские чтения: сб. тез. докл. XLIV Межд. молод. науч. конф. 2018. С. 158-159.

## ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА УДАЛЕННОГО ПРИСУТСТВИЯ

А.Д. Назарова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nastyanasarova3@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.В. Семенников

В статье предложена модель источника питания для роботизированного устройства удаленного присутствия, основанного на микроконтроллере линейки Arduino. Разобраны основные характеристики современных аккумуляторных батарей различных типов, проведен их сравнительный анализ. Приведено технико-экономическое обоснование выбранной модели.

**Ключевые слова:** литий-ионный аккумулятор, ёмкость, Power Bank, Arduino.

Для питания современных электронных устройств широко используются аккумуляторные батареи различных типов и конструкций. Но наибольшее распространение в качестве источников энергии получили литий-ионные аккумуляторы. Существует несколько типов таких аккумуляторов, достаточно сильно различающихся своими характеристиками [3]:

1) литий-кобальтовые (NCR) аккумуляторы отличаются высокой емкостью, широким рабочим диапазоном напряжений (от 3 до 4,2 В), высокой удельной энергоемкостью (до 250 Вт·ч/кг). Литий-кобальтовые аккумуляторы имеют небольшой срок жизни и выдерживают не более 500 циклов «заряд-разряд»;

2) литий-марганцевые (IMR или INR) аккумуляторы более долговечны и безопасны, чем кобальтовые, допустима зарядка большим током. Рабочий диапазон напряжений от 2,5 до 4,2 В. Ресурс порядка 5–6 лет – до 1000 циклов «заряд-разряд». Такие аккумуляторы достаточно безопасны и отличаются низким саморазрядом;

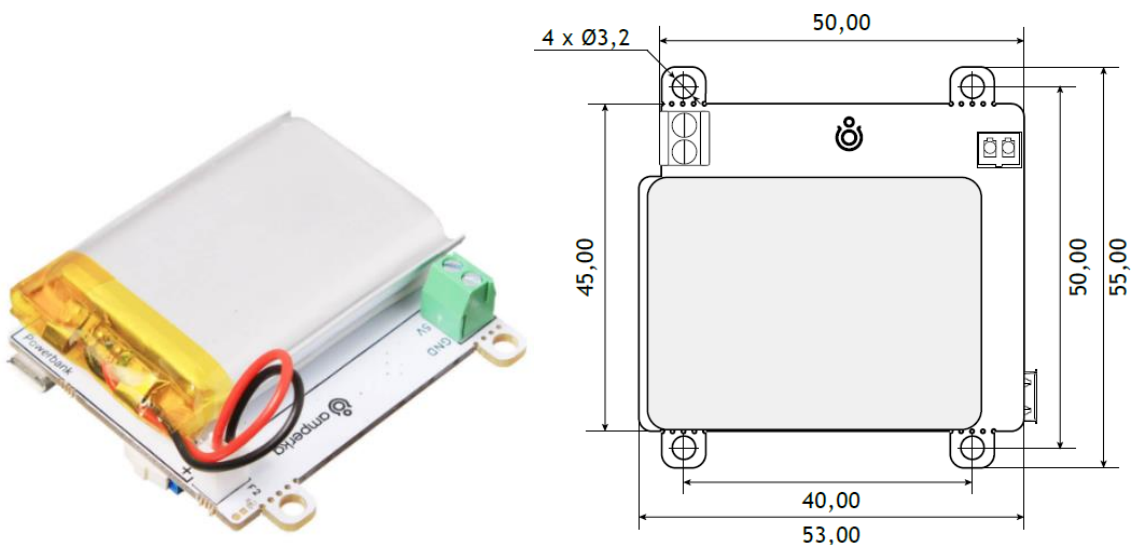
3) для железofосфатных аккумуляторов (LiFePO<sub>4</sub>, LiFe, LFP, IFR) характерен наибольший ресурс (1500–3000 циклов «заряд-разряд»). Они применяются в электромобилях и устройствах с силовыми аккумуляторами;

4) литий-титанатные аккумуляторы обладают наивысшей долговечностью (до 15000 циклов «заряд–разряд») и широким температурным интервалом работы. Удельная энергоемкость не превышает 100 Вт·ч/кг. Они имеют очень низкое сопротивление, позволяющее использовать сверхбыстрый заряд, и низкий саморазряд;

5) литий-полимерные аккумуляторы (LIP) являются «золотой серединой» для устройств, не требующих очень высоких токов. Они отличаются высокой удельной энергоемкостью (до 160 Вт·ч/кг), низким саморазрядом, широким температурным диапазоном работы и относительной дешевизной [1, 2].

При проектировании устройств на основе микроконтроллеров линейки Arduino часто возникает необходимость организовать их автономное бесперебойное питание. Удобнее всего в этом случае использовать готовые решения, называемые источниками питания «Power Bank». Подобные устройства специально оптимизированы для работы с платами Arduino, имеют необходимые контроллеры заряда/разряда и модули защиты. Они достаточно дешевы, неприхотливы и отличаются высокой надежностью.

Например, для устройства удаленного присутствия, представляющего из себя мобильную платформу с возможностью дистанционного управления, позволяющую наблюдать за окружающей обстановкой через камеру планшетного компьютера или смартфона, установленного на этой платформе, отлично подойдет источник питания «Power Bank v2» емкостью от 2000 мАч и номинальным напряжением 5 В, в котором использован литий-полимерный аккумулятор [4].



Внешний вид и габаритный чертеж источника питания Power Bank v2 (5 В, 2000 мА·ч)

Power Bank v2 выполнен в форм-факторе дополнительного модуля и может надежно крепиться к корпусу устройства винтами через специальные проушины. За управление зарядом отвечает микросхема BQ24090, а импульсный повышающий DC-DC преобразователь LM27313-Q1 поддерживает выходное напряжение на уровне 5 В. На плате имеются индикаторы состояния и зарядки, а также механический выключатель питания. Плата Arduino подключается к модулю с помощью специального клеммника. Зарядка Power Bank может осуществляться от любого мобильного зарядного устройства или от USB порта компьютера. Также в модуле встроена защита от перегрузки: если ток превысит 600 мА, то сработает контур предохранителя и устройство отключится. Это позволяет избежать чрезмерного перегрева и повреждения аккумулятора [5].

Такой источник питания отлично подходит для микроконтроллера Arduino и полностью соответствует предъявляемым требованиям.

### **Источники**

1. Сердечный Д.В., Томашевский Ю.Б. Особенности эксплуатации накопителя энергии на базе многоэлементной литий-ионной аккумуляторной батареи // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 9-10.

2. Миура Такаси, Китайоси Масанори, Ямадзаки Нобуюки. Литий-ионный вспомогательный аккумулятор и способ изготовления литий-ионного вспомогательного аккумулятора // Пат. RU 2614057 С1 Рос. Федерация № 2016100212; заявл. 11.01.2016; опубл. 22.03.2017.

3. Литий-ионный аккумулятор, виды [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery) (дата обращения 12.03.22).

4. Power Bank v2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://amperka.ru/product/zelo-power-bank?utm\\_campaign=powerbank&utm\\_medium=youtube&utm\\_source=announcement](https://amperka.ru/product/zelo-power-bank?utm_campaign=powerbank&utm_medium=youtube&utm_source=announcement) (дата обращения 12.03.22).

5. LabVIEW. Вводный курс. Система поддержки инженерных знаний технологий National Instruments (Россия, СНГ и Балтия). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://training-labview.ru/templates/standard/opencore/scormStartLV/mobile/index.html> (дата обращения 07.03.2022).

## ОБЗОР РОБОТОВ ИНСПЕКТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛЭП

И.Н. Хамидуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ildar.ildar-xam2017@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. М.Ф. Садыков

В настоящее время в сфере энергетики все чаще применяются роботы. Применение роботов в энергетике обусловлено экономией затрат на обслуживание объектов промышленной энергетики и с целью облегчить труд человека. В статье представлен литературный обзор на разработку и использование роботов с дистанционным управлением для диагностики ЛЭП. Наиболее передовыми разработками роботов занимались японские инженеры и канадские разработчики. Обобщив опыт японских и канадских инженеров, а также используя их наработки, на базе ФГБОУ ВО КГЭУ разработана экспериментальная модель робота инспектора ЛЭП. В статье представлено описание разработанной модели робота.

**Ключевые слова:** высоковольтные линии электропередач, робот, разработка, экспериментальная модель.

В настоящее время в сфере электроэнергетики широко применяются роботы. Использование роботов в энергетике обусловлено более экономичными затратами на обслуживание объектов промышленной энергетики и с целью облегчить труд человека [6]. Учитывая тот факт, что для энергетиков осмотр и инспектирование высоковольтных линий электропередач (ЛЭП) сопряжен с целым рядом трудностей, уместно говорить о применении мобильных полностью автономных роботов или роботов с дистанционным управлением. Применение вышеупомянутых роботов целесообразно там, где обход ЛЭП человеком не всегда возможен из-за сложного рельефа местности и неподходящих метеоусловий. При этом роботы должны быть сконструированы грамотными специалистами и настроены должным образом [2–4].

Одной из первых разработкой роботов начала заниматься японская фирма Hi Bot по просьбе энергетической компании Kansai Electric Power Company (KEPCO). Она разработала и в 2011 г. запустила в эксплуатацию робота Expliner, предназначенного для диагностики и обслуживания высоковольтных ЛЭП. Работа робота была довольно простой – его подвешивали к проводам линии, а оператор удаленно осуществлял визуальный контроль с экрана компьютера [6].

Робот Expliner оборудован камерами с высоким разрешением в количестве восьми штук. Передвигаясь с небольшой скоростью вдоль линии, робот выявляет места коррозии на проводах, используя при этом лазерные датчики. Используя канал GPS, робот фиксирует данные о своем местоположении, и отправляет полученную информацию оператору. Оператору через камеры хорошо видны все механические повреждения на проводе (оплавленный провод, трещина и т.д.). Используя полученные данные от робота, специалисты службы ремонта уже точно знают, какие неисправности имеются на данном участке провода, что конкретно необходимо исправить, как именно отремонтировать данные повреждения. У робота подвижный центр тяжести, за счет чего он самостоятельно преодолевает различного рода зажимы и прокладки. Применение данной модели робота позволяет существенно сэкономить время на обследование линий традиционным путем, и, следовательно, минимизировать расходы [6].

Начиная с 1998 г., канадские разработчики из института Hydro Québec решили создать более сложного робота для диагностики и обслуживания высоковольтных линий электропередач. В 2009 г. разработанный робот Line Scout привлек большое внимание, и завоевал премию от Электротехнического института Эдисона.

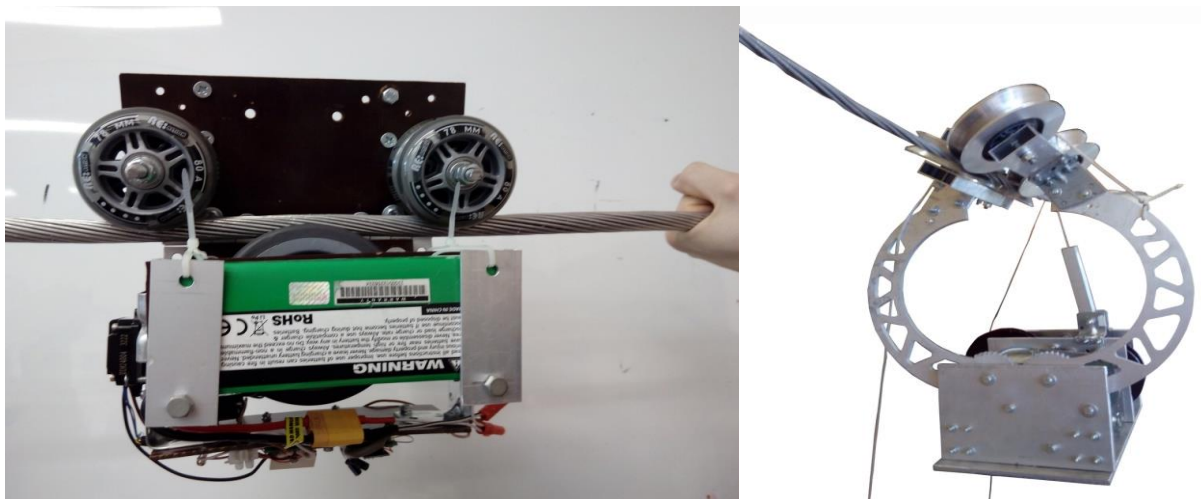
Идеей разработки робота послужил мощный снежный шторм. Шторм повредил провода одной из значимых линий электропередач. Под грузом намерзшего льда часть проводов была оборвана.

Разработанный канадскими робототехниками робот также оснащен камерами и GPS, но его уникальной особенностью стало то, что он способен очищать провода от снега, а также производить небольшой ремонт болтовых соединений. Необходимо также отметить, что робот оснащен тепловизорами, при этом робот с точностью оценивает температуру проводов.

Управление роботом осуществляет оператор с компьютера, используя специальный джойстик. Робот Line Scout зарекомендовал себя довольно эффективным в период многократных испытаний в 2010 г. на линиях с током до 2 кА, под напряжением 735 кВ.

Обобщив опыт японских и канадских инженеров, а также используя их наработки [1, 3–5], на базе ФГБОУ ВО «КГЭУ» была разработана экспериментальная модель робота инспектора ЛЭП (см. рисунок).





Экспериментальные модели роботов

Разработанная нами модель использовалась для сканирования и очистки проводов ЛЭП от снега и наледи. Экспериментальная модель по себестоимости значительно экономичнее зарубежных аналогов.

Исследования выполнены в рамках НИР 075-00063-20-02.

### Источники

1. Большанин Г.А., Плотников М.П., Шевченко М.А. Экспериментальное определение параметров трехпроводной ЛЭП // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. № 21 (4). С. 85-94.

2. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф. Разработка устройства для системы мониторинга и количественного контроля гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 19 (3-4). С. 69-79.

3. Федоров О.В., Семёнов А.С., Егоров А.Н., Хубиева В.М. Технико-экономическое обоснование внедрения системы непрерывного мониторинга показателей качества электроэнергии на объектах горных предприятий // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 9-10. С. 91-97.

4. Ярославский Д.А., Нгуен В.В., Садыков М.Ф., Горячев М.П., Наумов А.А. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. № 22 (3). С. 97-106.

5. Ярославский Д.А., Садыков М.Ф., Конов А.Б., Иванов Д.А., Горячев М.П., Ямбаева Т.Г. Методика мониторинга гололедных отложений на проводах ВЛ с учетом разрегулировки линейной арматуры // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 19 (5-6). С. 89-97.

6. Примеры использования роботов в энергетике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/1188-ispolzovanie-robotov-v-nergetike.html> (дата обращения 11.03.2022).

УДК 537.633.9

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМ ИСТОЧНИКОВ ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Э.Р. Шарифуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

morgan.alz@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.В. Семенников

В данной работе рассмотрены основные особенности типовых схем источников вторичного электропитания, приведены преимущества и недостатки каждой из них и проведен сравнительный анализ этих схем.

**Ключевые слова:** источники вторичного электропитания, трансформатор, широтно-импульсная модуляция, конвертор, коэффициент полезного действия, массогабаритные параметры.

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) – это устройства, которые преобразовывают электроэнергию от первичных источников, таких как аккумуляторные батареи, генерирующие электростанции и т.п., в электрическую энергию, предназначенную для питания разного рода электрических устройств и приборов, применяющихся, в том числе, и для передачи, приёма и преобразования информации с помощью энергии электромагнитного поля. Напряжение первичной сети переменного тока, как правило, составляет 220 В. Однако подавляющее большинство электронных приборов требуют постоянного напряжения, не превышающего нескольких вольт. Его получают с помощью ИВЭП [1].

Любой ИВЭП включает в себя следующие основные компоненты: трансформатор, который изменяет уровень переменного напряжения, выпрямитель, преобразующий переменное напряжение в постоянное, сглаживающий фильтр, уменьшающий уровень пульсаций напряжения, стабилизатор, подавляющий колебания напряжения на нагрузке и саму нагрузку [2]. Рассмотрим две самые распространённые структурные схемы построения ИВЭП: с трансформаторным входом без изменения частоты и с бестрансформаторным входом с преобразованием частоты.

Первая схема представляет собой классический вариант построения ИВЭП (рис. 1). Основными её недостатками являются большая масса и значительные габариты (из-за присутствия в схеме низкочастотного трансформатора). Это связано с тем, что масса и габариты магнитопровода трансформатора обратно пропорциональны частоте переменного тока. Также к недостаткам нельзя не отнести относительно низкий коэффициент полезного действия (КПД) и довольно высокую конечную стоимость. Однако есть и плюсы – эта схема крайне проста и может использоваться тогда, когда требования к мощности и испускаемому сигналу невысокие. При таких условиях схема вполне справляется со своей работой и является крайне надёжной [3].

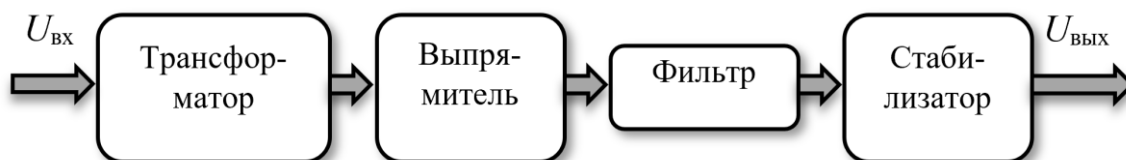


Рис. 1. Схема ИВЭП с трансформаторным входом без преобразования частоты

Вторая схема была создана в стремлении исправить недостатки первой. Схема с бестрансформаторным входом с преобразованием частоты (рис. 2) имеет важное преимущество – возможность значительно уменьшить массогабаритные параметры трансформатора и дросселя за счет повышения частоты сигнала.

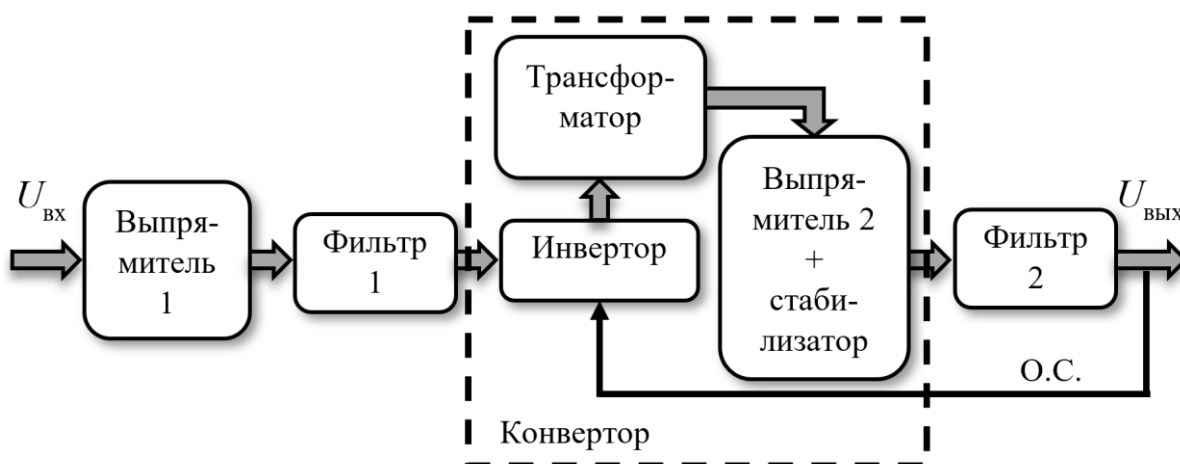


Рис. 2. Схема ИВЭП с бестрансформаторным входом и с преобразованием частоты

Сетевое напряжение в данной схеме сначала выпрямляется и фильтруется, после чего поступает в специальное устройство, называемое конвертором, включающим в себя инвертор, высокочастотный трансформатор, выпрямитель и стабилизатор. Здесь с помощью инвертора с использованием принципа широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выпрямленное напряжение вновь преобразуется в переменное, но уже с повышенной частотой (до десятков кГц). Лишь теперь высокочастотное напряжение поступает в трансформатор, уменьшается до необходимого уровня, выпрямляется и стабилизируется. Несмотря на то, что в этой схеме, по сравнению с классической, большее количество узлов и двойное преобразование тока (между переменным и постоянным), ИВЭП с бестрансформаторным входом имеет меньшие вес и габариты и практически не уступает классической схеме в плане надежности. Также схема характеризуется высоким КПД (может достигать до 98 %), широким диапазоном входного напряжения и невысокой стоимостью [4].

После прочтения вышперечисленного, кажется, что такое исполнение идеально, но и тут есть свои минусы. Серьёзным недостатком ИВЭП с бестрансформаторным входом является низкий коэффициент мощности (около 0,6) и высокий уровень гармоник потребляемого из сети тока (более 30 %). Также подобные схемы являются генераторами импульсных помех, значительно влияющих на окружающие устройства. Поэтому присутствует необходимость качественного заземления и экранирования компонентов схемы [5].

В итоге, мы имеем две схемы, каждая из которых характеризуется как плюсами, так и минусами, однако перевес всё-таки остаётся за схемой с бестрансформаторным входом. Это обусловило повсеместное ее применение в современной электронике.

### **Источники**

1. Хазиева Р.Т., Иванов М.Д. Выбор оптимальных параметров устройства для генерации постоянного магнитного поля // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. № 22(6). С. 176-187.
2. Кашкаров А.П. Импульсные источники питания. Схемотехника и ремонт. М.: ДМК Пресс, 2017. 184 с.
3. Парфенкин А.И., Белов О.А. Схемотехника. М.: Моркнига, 2018. 368 с.
4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника (для бакалавров): учебник. М.: КноРус, 2018. 800 с.
5. Битюков В.Н., Симачков Д.С. Источники вторичного электропитания: учебник. М.: Инфра-инженерия, 2017. 326 с.

## СРАВНЕНИЕ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЯ И ВИТОЙ ПАРЫ

Э.Р. Шарифуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
morgan.alz@mail.ru  
Науч. рук. преп. С.Б. Харченко

В данной работе рассмотрены два вида кабеля передачи информации: оптоволоконно и витая пара. Представлены их характеристики и строение, проведён сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** оптоволоконно, кабель, витая пара, диаметр, монтаж, скорость передачи информации, прочность.

Оптоволоконно – это тончайшие провода из пластика или стекла, переносящие свет за счёт эффекта полного внутреннего отражения. Оптоволоконный кабель используется для передачи информации с очень высокой скоростью на значительные расстояния. Рекордная скорость передачи в оптическом кабеле составляет 255 Тбит/с [1]. Такой кабель состоит из трёх частей – сердцевины (ядра), оболочки и защитного покрытия (рис. 1). Сердцевину производят из оргстекла, оболочку – из фторсодержащих полимеров. Недостатком этих материалов является низкая пропускная способность в зонах инфракрасного излучения. Сердцевина имеет диаметр 9 мкм для одномодового (сигнал распространяется по одной волне) волокна и 50 или 62,5 мкм для многомодового (сигнал распространяется синусоидами). Диаметр оболочки колеблется от 124 до 126 микрон. Одним из серьёзных недостатков при использовании таких кабелей является высокая цена оборудования и монтажа [2].

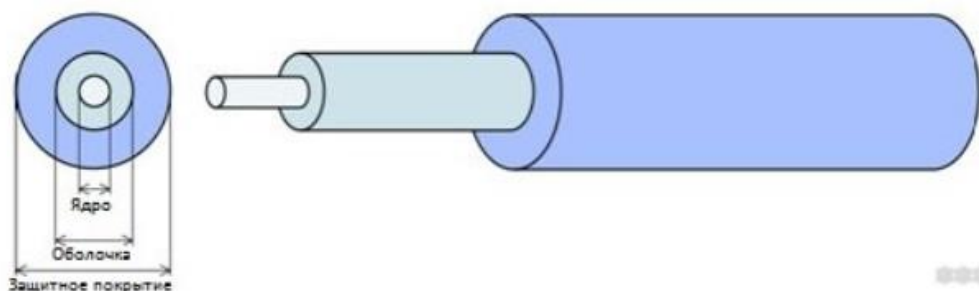


Рис. 1. Строение оптоволоконного кабеля

Витая пара – вид кабеля, внутри которого одна или несколько пар скрученных изолированных проводников. Витая пара – одно из важнейших составляющих кабельных систем. Используется как в телекоммуникации, так и в компьютерных сетях. Очень распространена из-за низкой цены и несложности в монтаже [3]. Витопарный кабель состоит из проводника (как правило, медь), изоляции (поливинилхлорид) и внешней оболочки (рис. 2).

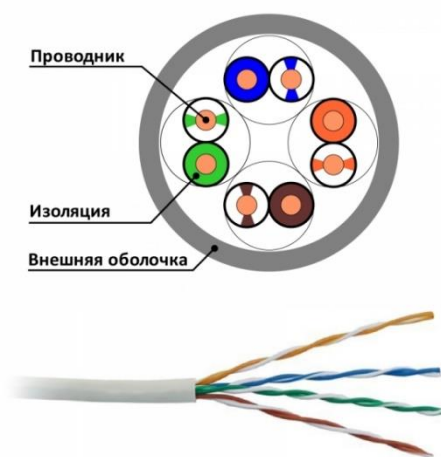


Рис. 2. Строение витой пары

Такой шнур обладает диаметром 5–6 мм. Стандартные четырёхпарные кабели используют полу миллиметровые проводники. Толщина их изоляции – примерно 0,2 мм. Информация в таких кабелях передаётся со скоростью 1 Гбит/с, что примерно в 250 000 раз меньше скорости передачи информации в оптоволокне [4].

Изучив и оптоволоконные, и витопарные кабели, сравним их, составляя список преимуществ и недостатков каждого из них относительно друг друга. Оптоволокно имеет высокую цену за метр кабеля и сложно в монтаже, низкую прочность и сам кабель крайне негибкий. Однако скорость передачи, маленький диаметр и максимальная длина проводимости на высоте. Витая пара же в точности наоборот, имеет низкую цену, низкую сложность монтажа, высокую гибкость и прочность провода, но такие характеристики, как скорость передачи информации, максимальная длина проводимости и большой диаметр провода не доставляют нужных результатов. В разных условиях использования каждый кабель «покажет себя» в лучшем виде, раскрывая свои технические особенности [5]. Я считаю, стоит пойти на компромисс и использовать оба. Оптоволокно проложить до объекта, а витую пару – при создании сети на месте.

## Источники

1. Жизан Николая. Квантовая случайность. Нелокальность, телепортация, и другие квантовые чудеса. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. 208 с.
2. Астапенко В.А. Оптические информационные технологии: учеб. пособие. М.: МФТИ, 2015. 184 с.
3. Тулайкова Т.М. Волоконно-оптические датчики для экологических применений. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 212 с.
4. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология электромонтажных работ. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2014. 352 с.
5. Солуянов Ю.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Энергоресурсосберегающий эффект в системах электроснабжения жилых комплексов от актуализации нормативов электрических нагрузок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. № 23(1). С. 156-166.

УДК 621.316.727

## СХЕМА КОММУТАЦИИ ВЕСОВЫХ КОНДЕНСАТОРОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Р.Р. Ялалов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rustam.yalal@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.С. Каминский

Рассмотрен микроконтроллерный компенсатор реактивной мощности с использованием предложенного принципа формирования значения компенсирующей емкости на основе весовых конденсаторов. Предложен алгоритм коммутации весовых конденсаторов, в соответствии с которым разработана электрическая схема платы управления.

**Ключевые слова:** компенсация реактивной мощности, микроконтроллерный регулятор, конденсаторная батарея.

Одной из актуальных задач улучшения качества электрической энергии и повышения эффективности ее использования является компенсация реактивной мощности (РМ), позволяющая уменьшить потери электроэнергии, снизить требования к полной мощности оборудования и сечению проводников, уменьшить падение напряжения в линиях передачи, улучшить режим работы электрооборудования [1, 2].

Эффективным средством компенсации реактивной мощности является применение конденсаторных батарей (КБ), включаемых параллельно активно-индуктивной нагрузке и обладающих малыми потерями активной мощности и простотой эксплуатации [1]. При работе различных видов электрооборудования может происходить периодическое изменение тока потребления и коэффициента мощности нагрузки, что требует применения автоматического регулирования реактивной мощности конденсаторной установки. Для решения этой задачи разрабатывается микроконтроллерный компенсатор реактивной мощности (МКРМ), адаптивно изменяющий значение компенсирующей емкости в зависимости от текущего значения угла сдвига по фазе между напряжением и током нагрузки.

Дискретность регулирования РМ определяется количеством секций КБ, при этом избыточное число секций регулируемой КБ усложняет и удорожает установку [3]. По этой причине представляется целесообразным организовать компенсирующую емкость в виде группы параллельно включенных весовых конденсаторов, номинальные значения емкости которых соответствуют весам двоичной системы:  $C$ ,  $2C$ ,  $4C$ ,  $8C$ . В этом случае имеется возможность регулирования значения емкости в пределах от 0 до  $15C$  с шагом, равным  $C$ .

Предлагаемая схема МКРМ содержит датчики напряжения и тока, микроконтроллерное устройство управления (УУ) и группу весовых конденсаторов, каждый из которых коммутируется с помощью электронного и электромеханического переключателей. В основе работы МКРМ используется непрерывное измерение угла сдвига по фазе между напряжением и током с использованием моментов их перехода через ноль. Далее измеренное значение угла сдвига по фазе сравнивается с пороговыми значениями и при необходимости осуществляется корректировка значения компенсирующей емкости.

Электрическая схема платы управления, выполняющая коммутацию отдельного весового конденсатора, показана на рисунке. Управление производится с использованием сигналов уровня ТТЛ, подаваемых от УУ через разъем ХЗ.



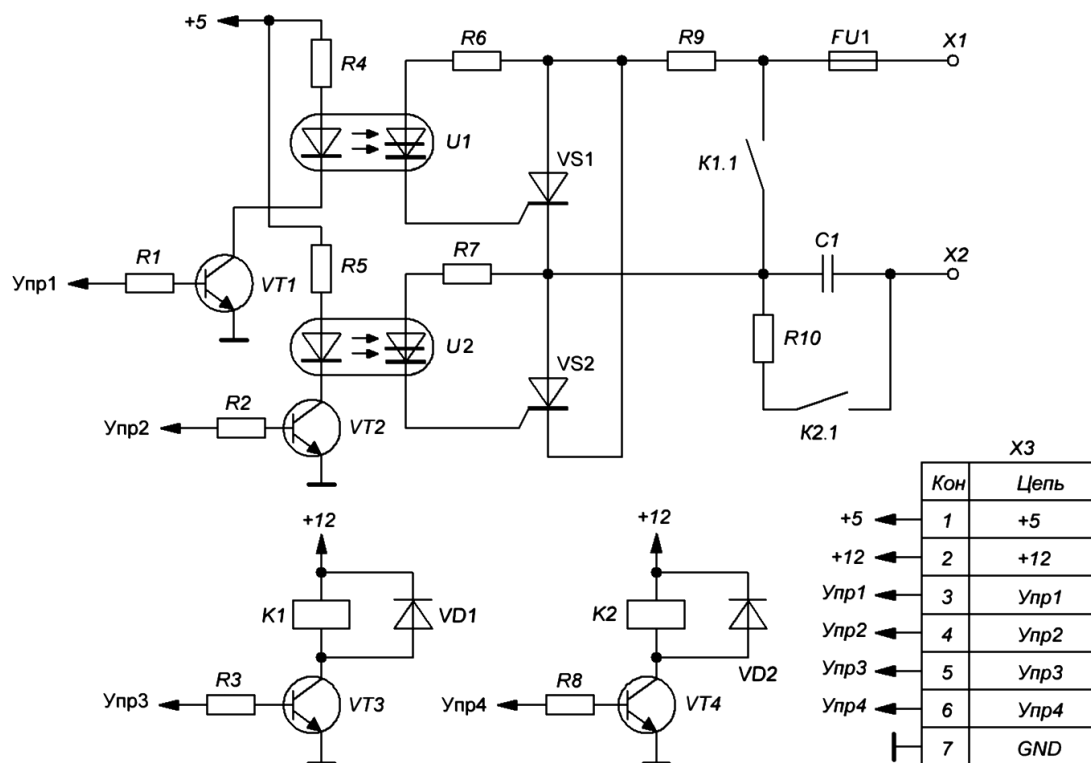


Схема коммутации весовых конденсаторов

Для минимизации зарядного тока весовой конденсатор  $C1$  подключается в момент перехода напряжения через ноль с помощью тиристоров  $VS1$  и  $VS2$ , имеющих относительно малое время включения [4]. Дополнительное ограничение силы зарядного тока обеспечивает сопротивление  $R9$ . Управление тиристорами осуществляют транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  с помощью тиристорных оптопар  $U1$  и  $U2$ . При подаче от УУ сигналов управления, имеющих высокий логический уровень, открываются транзисторы  $VT1$  и  $VT2$ , через светодиоды оптопар  $U1$  и  $U2$  начинает протекать ток, оптопары  $U1$  и  $U2$  открываются, что приводит к отпиранию тиристоров и подключению конденсатора  $C1$  к нагрузке. Далее с целью снижения мощности тепловых потерь тиристоры и сопротивление  $R9$  шунтируются контактами  $K1.1$  реле  $K1$ , после чего УУ отключает тиристоры. Отключение конденсатора выполняется в обратном порядке при минимальном значении коммутируемого тока. Контакты  $K2.1$  реле  $K2$  используются для разряда конденсатора  $C1$  после его отключения и обеспечения нулевого напряжения на конденсаторе  $C1$  в выключенном состоянии. Силу разрядного тока ограничивает резистор  $R10$ .

Транзисторы  $VT3$  и  $VT4$  используются для управления катушками реле  $K1$  и  $K2$ . Диоды  $VD1$  и  $VD2$  служат для защиты транзисторов  $VT3$  и  $VT4$  от пробоя при их выключении.

Предлагаемая схема позволяет осуществить дальнейшую разработку, изготовление и исследование проектируемого устройства. Рассмотренный порядок коммутации весовых конденсаторов позволяет снизить зарядные токи, повысить надежность работы оборудования, уменьшить потребляемую устройством активную мощность.

### **Источники**

1. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 234 с.

2. Поперечная емкостная компенсация реактивной мощности в распределительных сетях / А. Кувшинов [и др.] // Новости электротехники. 2017. № 1(103). С. 28–31.

3. Константинов Б.А., Зайцев Г.З. Компенсация реактивной мощности. Л.: Энергия, 1976. 104 с.

4. Опыт разработки и внедрения динамического тиристорного компенсатора реактивной мощности на сталеплавильных печах / А. Клоков [и др.] // Силовая электроника. 2017. № 1. С. 71–76.

## Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

УДК 629.78:621.74.04

### ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗ БАЗАЛЬТА

Д.А. Ануфриев<sup>1</sup>, И.О. Одинцов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт» г. Москва

<sup>2</sup>ТМПУ ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» г. Москва

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «МГУПП» г. Москва

<sup>1</sup>danil33243@gmail.com, <sup>2</sup>warbeast123123@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук Д.И. Борисенко

В работе приведена оценка времени остывания килограмма конструкционных изделий, изготовленных с помощью аддитивных технологий в условиях лунной поверхности.

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, время изготовления, конструкционные элементы.

Для реализации инновационных отечественных проектов по освоению Луны [1] требуются технологии аддитивного производства из горных пород, представленных на Луне. Целью настоящей работы является оценить время, необходимое для печати изделия массой 1 кг из базальта.

Время печати изделия определяется скоростью застывания капель расплавленного вещества. Для этого нужно оценить время застывания одной капли и количество таких капель.

Из балансового уравнения определим, какую энергию нужно отвести от перегретой капли для её затвердевания. Эта величина складывается из теплоты, отводимой от капли в процессе остывания и теплоты фазового перехода:

$$J = m c_p (\Delta T) + \lambda m,$$

где  $c_p = 1466$  Дж/ (кг °С) – теплоёмкость расплава базальта [2];  $\Delta T$  – перегрев капли относительно температуры плавления, примем её равной 200 °С;  $\lambda = 10^6$  Дж/кг – теплота фазового перехода базальта [3].

Поскольку на Луне нет атмосферы, охлаждение осуществляется излучением. Используя закон Стефана-Больцмана, можно оценить интенсивность теплоотвода от капли [4]:

$$q = \sigma \varepsilon (T_1^4 - T_2^4).$$

Соответственно отводимый от капли тепловой поток равен:

$$Q = q S,$$

где  $S$  – площадь поверхности капли.

Следующим шагом необходимо узнать, сколько энергии нужно отвести от капли расплава, чтобы она застыла. Для этого нужно знать массу и размер капли.

Для упрощения расчёта примем, что капля имеет форму идеальной сферы, тогда масса ( $m$ ) и радиус ( $R$ ) капли связаны соотношением:

$$m = 4/3 \pi R^3 \rho,$$

где  $\rho = 2710 \text{ кг/м}^3$  – плотность базальта.

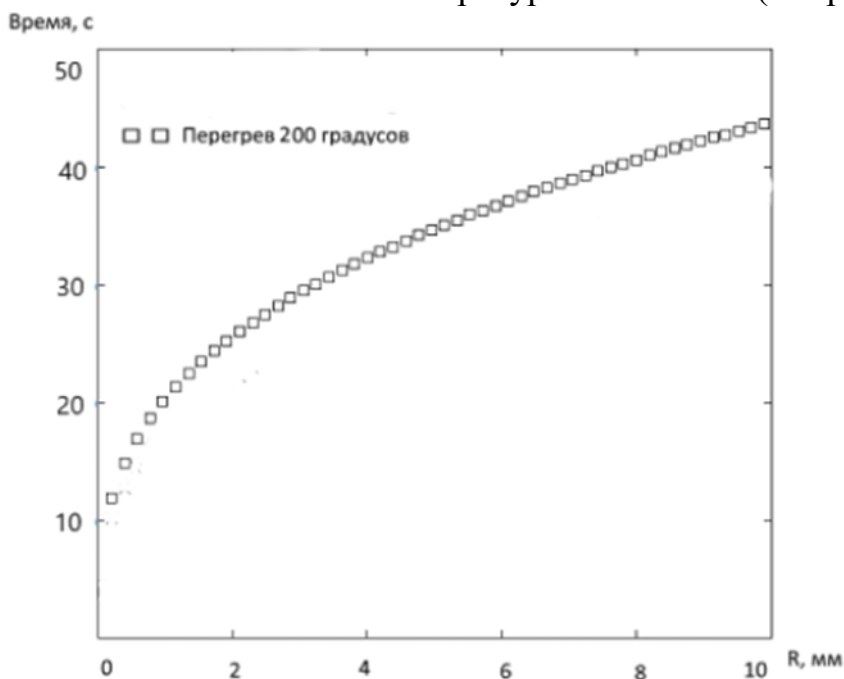
Соответственно площадь поверхности охлаждения капли будет равна:

$$S = 4 \pi R^2.$$

Тогда время застывания одной капли равно:

$$\tau = J/Q.$$

В результате решения записанных уравнений получаем зависимость продолжительности застывания капли базальта от радиуса капли для перегрева в  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  относительно температуры плавления (см. рисунок).



Зависимость времени застывания капли от радиуса для перегрева в  $200 \text{ }^\circ\text{C}$

Рассчитаем время, необходимое для печати детали массой 1 кг из капле радиусом 2 мм в предположении, что капли выходят последовательно (следующая выходит после застывания предыдущей). Из рисунка видно, что застывать такая капля будет 26 с. Её масса  $m_{2\text{мм}} = 4/3 \pi R^3 \rho = 4/3 \pi 0,002^3 2710 = 9,08 \cdot 10^{-5}$  кг. Значит, в 1 кг содержится  $m_{1\text{кг}}/m_{2\text{мм}} = 1/9,08 \cdot 10^{-5} = 11012$  таких капель. Соответственно, продолжительность печати такой детали составит:  $\tau_{1\text{кг}} = 26 \cdot 11012 = 2,86 \cdot 10^5$  с, т.е. примерно 80 часов.

Из балансовых соотношений получается, что изготовление деталей из горной породы со свойствами базальта в условиях лунной поверхности методом аддитивного производства вполне реально. Точное время определяется как свойствами материала, так и технологическими параметрами: размером капель и величиной перегрева.

Работа выполнена при поддержке НИЦ «Курчатовский институт» (приказ №2768 от 28.10.2021).

### Источники

1. Борисенко Д.И. Природоподобный принцип освоения Луны // Воздушно-космическая сфера. 2021. №3. С. 42–49.
2. СП 50.13330 Свод правил тепловая защита зданий СНиП 23-02-2003. Утвержден 2012 Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 июня 2012 г. N 265. 100 с.
3. Плечов П.Ю., Фомин И.С., Мельник О.Э., Горохова Н.В. Эволюция состава расплава при внедрении базальтов в кислый магматический очаг // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2008. №4. С. 35-44.
4. Орлов М.Е. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ. 2013. 204 с.

## СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТОВ, ПОДВЕРГАЕМЫХ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКЕ

М.С. Ваганов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

misha.vaganov00@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. А.Е. Бунтин

В данной статье рассмотрена перспектива применения СВЧ-обработки для совершенствования технологий переработки алюмосиликатного сырья. Представлены результаты СВЧ воздействия на бентонит Нурлатского месторождения РТ.

**Ключевые слова:** силикаты, керамика, СВЧ обжиг, обработка, бентонит.

СВЧ обработка – это процесс, при котором микроволны соединяются с материалами, которые объемно поглощают электромагнитную энергию и преобразуют ее в тепло. Это отличается от обычных методов, при которых тепло передается между объектами с помощью механизмов проводимости, излучения и конвекции.

СВЧ обжиг (микроволновая высокотемпературная обработка) связан с объединением микроволновой энергии вместе с более традиционными источниками энергии, например, лучистым газом или электрическим нагревом, для обработки керамических материалов и компонентов до высоких температур, необходимых для прокаливания и спекания. СВЧ-обжиг дает значительные экономические преимущества при производстве высокотемпературных керамических порошков и компонентов [1]. Также СВЧ-обработка позволяет осуществлять более гибкий контроль за степенью обжига материала [2]. При СВЧ обработке фазовые процессы протекают быстрее, что проявляется в сокращении времени уплотнения компактов из керамического порошка [3].

В работах [4, 5] в результате СВЧ обжига было отмечено снижение температуры фазообразования алюмосиликатных композиций и формирование в них наноразмерных включений. Для всех образцов, обработанных в поле СВЧ, наблюдается снижение величины эндотермических эффектов в области 450–800 °С. В зоне температур выше 650°С происходят эндотермические процессы разложения солей, образования стеклофазы и высокотемпературных фаз. Существенное увеличение скорости фазовых превращений происходит при добавке в сырьевую композицию электролитов [6].

СВЧ обработка использована в качестве дополнительной технологической операции для совершенствования технологии модифицирования щелочноземельного бентонита Нурлатского месторождения Республики Татарстан. СВЧ обработка (750 W, 4 мин.) производилась после перевода бентонита в натриевую форму мокрым способом, модифицирования его наночастицами оксида кремния 6,5–10,5 нм [7], ультразвуковой обработки (40 кГц, 10 мин.) и термической сушки суспензии при 180°С.

В результате СВЧ обработка способствовала увеличению показателя адсорбции по метиленовому голубому с 129,3 до 134,4 мг/г, что объясняется освобождением адсорбционного пространства от молекул воды путем их десорбции. Исследования в работе [8], проведенные при аналогичных параметрах обработки, позволили увеличить адсорбцию ММТ (95%) по парам воды в 5.5 раз. Отличие в полученных данных связано с тем, что при определении адсорбции по МГ взаимодействие адсорбента и адсорбтива осуществляется в водной среде, способствующей гидратации адсорбционных центров и заполнению порового пространства, а также значительно меньшим содержанием в исследуемом бентоните ММТ. Исходя из полученных результатов, микроволновую обработку возможно использовать для интенсификации процесса сушки с одновременным увеличением адсорбционной емкости. При микроволновой обработке, в отличие от термической, энергия микроволн по закону Бугера поглощается в большей степени молекулами воды, диполи которой непрерывно вращаются перпендикулярно направлению движения волны, что приводит к разрыву межмолекулярных связей между ними, быстрому разогреву образца во всём объёме и, как следствие, их десорбции [8].

Данные рентгенографического анализа, модифицированного по технологии [7] и обработанного СВЧ полем бентонита, показали уменьшение интенсивности базальной дифракции смектитов в его составе и межплоскостного расстояния в монтмориллоните с 15,05 Å до 12,71 Å. Указанные изменения в дифракционной картине отразились на минеральном составе бентонита – уменьшилась доля кварца на 7 %, каолинита – на 2 %, хлорита – на 22 %, и возросла доля мусковита на 14 %.

СВЧ обработки бентонита РТ в рамках совершенствования технологии его модифицирования способствует интенсификации процессов дегидратации минеральных компонентов и ростом дефектности структуры, что подтверждается уширением дифракционных линий и ослаблением их интенсивности.

### Источники

1. Болотов В.А., Черноусов Ю.Д., Удалов Е.И. Особенности проведения высокотемпературных химических реакций под действием сверхвысокочастотного поля // Вестник НГУ. Серия Физика. 2009. Т. 4 Вып. 2. С. 78–83.
2. Ратников Е.В. Изменение физических и технологических свойств минерального сырья в результате обработки в микроволновом поле // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1995. №2 С.83-85.
3. Menezes R.R., Souto V.P., Kiminami R.H.G.A. Microwave Fast Sintering of Ceramic Materials // Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques. 2012. С. 3-26.
4. Женжурист И.А. Влияние микроволновой энергии на фазовые преобразования алюмосиликатов и свойства материалов на их основе // Неорганические материалы. 2018. Т. 54. №9. С. 924–928.
5. Женжурист И.А. Влияние поля СВЧ на структуру и свойства силикатов с алюмонатрийхлорным модификатором // Стекло и керамика. 2016. № 11. С. 35–38.
6. Рахманкулов Д.Л., Бикбулатов И.Х., Шулаев Н.С., Шавшукова С.Ю. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов. М.: Химия. 2003. С. 220.
7. Buntin A.E., Influence of Nano-Modification on Structural Mechanical and Physico-Chemical Characteristics of Bentonite // Solid State Phenomena. 2021. Т.316. С. 34-39.
8. Krupskaya V.V., Zakusin S.V., Tyupina E. A., Dorzhieva O. V., Zhukhlistov A. P., Belousov P. E., Timofeeva M. N., Experimental study of montmorillonite Structure and transformation of its properties under treatment with inorganic acid solutions // Minerals. 2017. Т.7. №49. С. 1-15.

УДК 543.421

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРОДНОЙ ВОДЫ МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Р.Ф. Габдрахманов<sup>1</sup>, В.В. Иванов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>doc8956@gmail.com, <sup>2</sup>vadim\_2002@list.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.И. Погорельцев

В данной работе проведены исследования водородной воды на ее оптические свойства. Изучение проводилось методами оптической спектроскопии с использованием оригинальной разработки.

**Ключевые слова:** водородная вода, генератор водородной воды, спектр, оптическая спектроскопия.



Водородная вода – это чистая питьевая вода, только насыщенная молекулами водорода в наиболее эффективной для организма концентрации [1]. Научные и клинические исследования доказали, что молекулярный водород является наилучшим естественным антиоксидантом (веществом, которое очищает организм от повреждающих молекул). Из-за небольших размеров молекулы водорода могут проходить сквозь биологические мембраны и поглощать токсичные для организма кислородные радикалы внутри клеток. Продуктом реакций является обычная вода, поэтому водород не имеет побочных эффектов и противопоказаний. Также водородная вода обладает высоким восстановительным потенциалом, так что не только прекрасно усваивается организмом, но и насыщает его энергией. Для сравнения: обычная вода выступает в роли окислителя, и, следовательно, для ее усвоения организм затрачивает энергию, тем самым начинает стареть и изнашиваться.

Вода – это носитель водорода, с помощью которого он поступает в ткани, клетки и клеточные компоненты организма. Самый простой, удобный и безопасный из всех применяемых методов это потребление водорода в виде жидкости.

Можно и дышать водородом, а также делать насыщенные водородом инъекции, используя изотонический раствор. Но для этого нужны специальные условия и оборудование, которые имеются и используются только в медицинских учреждениях. Так что водородная вода – это самое удобное на данный момент, что можно использовать в домашних условиях.

Формула водородной воды как была, так и остаётся  $H_2O$ , а водород  $H_2$  растворяется в воде, как, например, углекислый газ в газировке. Молекулы водорода распределяются между молекулами воды, и их функциональные группы при этом не меняются. Поэтому специальной и определённой формулы водородной воды (как и любой питьевой воды или газировки) не существует, так как любые напитки содержат в своём составе разнообразное количество примесей и добавок для широкого потребления.

В нашем распоряжении имеется генератор водорода ALTHY (рис. 1), который используется для производства водородной воды (рис. 2). Он работает со всеми типами питьевой воды: минеральная, очищенная, дистиллированная, вода RO, холодная (температура воды ниже  $65^{\circ}C$ ) и теплая кипяченая вода. Имеется несколько режимов генерации водорода:

3 минутный режим в течение 1 часа: 900ppb ~ 1200ppb;

10 минутный режим в течение 1 часа: 1500ppb ~ 1800ppb;

10 минутный режим в течение 2 часов: 2000ppb ~ 2800ppb;  
10 минутный режим в течение 3 часов: 3000ppb ~ 4000ppb;



Рис. 1. Генератор водорода ALTHY



Рис. 2 Схема получения водорода

Нами был проведен спектральный экспресс анализ получаемой водородной воды в зависимости от концентрации водорода с помощью разработанного ранее устройства [2]. Проведен анализ полученных спектров. К сожалению, нет четких рекомендаций по приему водородной воды – так при длительном ее приеме может возникнуть сухость во рту, потеря аппетита и вкуса.

## Источники

1. В чем главные преимущества водородной воды перед обычной – тоже, несомненно, важной для человека? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tianshisrael.com/tiens-health-cup/faq.html> (дата обращения 08.03.22).

2. Зиганшина Д.Е., Помысова А.Ю., Попов Г.С., Использование смартфона в качестве приставки к геологическому спектро스코пу // Тинчуринские чтения-2021 «Энергетика и цифровая трансформация» Казань, 2021. Т. 1. С. 209-211.

УДК 539.143.4

## ПОСТРОЕНИЕ КАРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В СИСТЕМЕ $Sb_2S_3$ . ПЕРЕХОД 5/2 - 3/2

Д.С. Китанин<sup>1</sup>, В.Д. Галиахметов<sup>2</sup>, В.В. Иванов<sup>3</sup>, А.Д. Назарова<sup>4</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zak7235@mail.ru, <sup>2</sup>valer\_orl2000@mail.ru, <sup>3</sup>vadim\_2002@list.ru,

<sup>4</sup>nastyanasarova3@gmail.com

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.И. Погорельцев

В настоящей работе приведены предварительные результаты исследования карты распределения электронной плотности ядер  $^{123}Sb$  в системе  $Sb_2S_3$ . Был проведен анализ распределения электронной плотности в рамках теории Р.Бейдера и функции локализации электронов (ELF).

**Ключевые слова:** ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР), ab initio расчеты электронной структуры, распределение электронной плотности, функция локализации электронов (ELF).

Соединение  $Sb_2S_3$  (стибнит) имеет весьма широкое применение [1–6]. Исследование распределения электронной плотности в области квадрупольного ядра  $Sb$  может быть полезным, в частности, при анализе химической связи в стибните.

На рис. 1 представлен фрагмент кристаллической структуры (единичная ячейка). Как видно из рисунка, данная структура образована зигзагообразными цепочками  $-Sb-S-$ , образующими ленты. Имеется два неэквивалентных положения атомов  $Sb$  - позиции  $Sb1$  и  $Sb2$ .

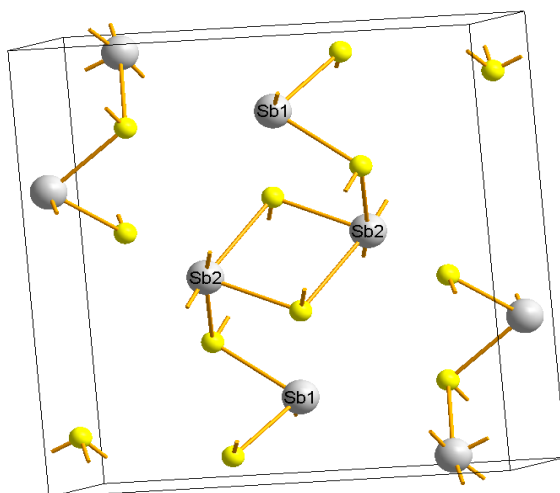


Рис. 1. Фрагмент кристаллической структуры  $Sb_2S_3$ : серые – атомы Sb, желтые – атомы S. Sb1 и Sb2 – два неэквивалентных положения атомов Sb

В силу того, что стибнит содержит два квадрупольных изотопа  $^{121}Sb(I = 5/2, \text{переходы } 5/2 - 3/2, 3/2 - 1/2)$  и  $^{123}Sb(I = 7/2, \text{переходы } 7/2 - 5/2, 5/2 - 3/2, 3/2 - 1/2)$ , которые занимают две неэквивалентные позиции, то в спектре ЯКР стибнита наблюдается 10 резонансных линий [7], лежащих в диапазоне 26,93 – 88,69 МГц для температуры 300 К и 32,27 – 95,41 МГц для температуры 77 К. Данные частоты были использованы в качестве опоры при построении соответствующих карт распределения электронной плотности и ELF. Особое внимание уделялось переходу  $5/2 - 3/2$ . Для оценок параметров ГЭП использовался кластерный подход. В данной работе рассматривались относительно небольшие кластеры: для позиции Sb1 использовался кластер  $(Sb_{17}S_{23})_n, R \sim 6 \text{ \AA}$ , а для позиции Sb2 – кластер  $(Sb_{15}S_{19})_n, R \sim 6 \text{ \AA}$ .

На рис. 2 представлен кластер Sb1. На нем показана плоскость, проходящая через атомы Sb1, S25, S26.

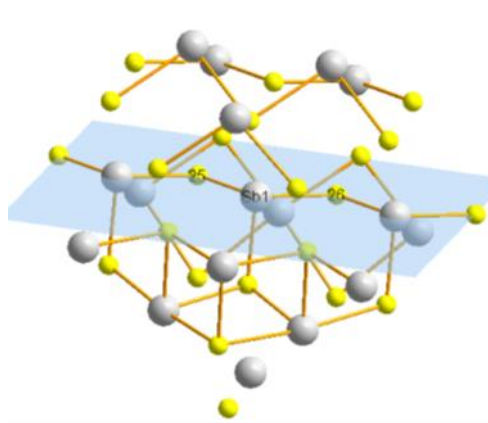


Рис. 2. Кластер  $(Sb_{17}S_{23})_n$ : серые – атомы Sb, желтые – атомы S. Плоскость проведена через атомы Sb1, S25, S26

Оценки параметров ГЭП проводились методом самосогласованного ограниченного поля Хартри-Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF). В DFT режиме использовались различные обменные и корреляционные функционалы. Была использована программа Firefly [8]. Таким образом, можно предположить, что связь в стибните близка к ионной. Данное предположение подтверждается анализом распределения функции локализации электронов (ELF). Полученные в результате расчетов Бейдеровские волновые функции использовались для построения соответствующих карт распределения электронной плотности. Анализ карт распределения электронной плотности показал, что наибольшей общей электронной плотностью обладают изолинии на уровне 0.04(эл./Bohr<sup>3</sup>) — они охватывают все атомы. В то же время, изолинии на уровне 0.08(эл./Bohr<sup>3</sup>) сильно локализованы в областях своих ядер. На рис. 3 в качестве примера приведена рельефная карта распределения ELF с проекцией на плоскость (цветная контурная карта). Построение выполнено для плоскости, проходящей через атомы Sb1, S25, S26.

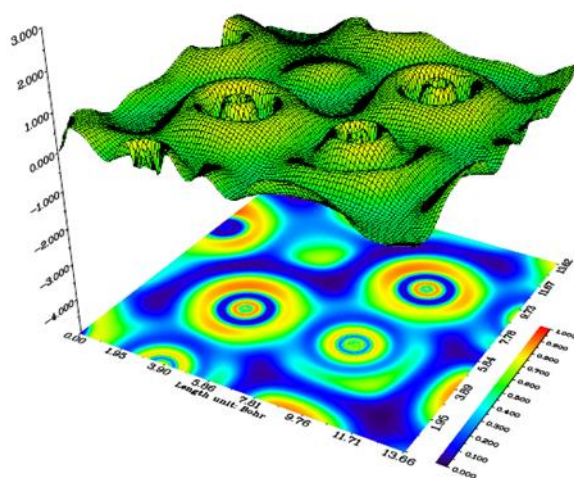


Рис. 3. Рельефная карта ELF с проекцией на плоскость, проходящую через атомы Sb1, S25, S26

Здесь центральный атом - Sb1, атом слева - S25, справа - S26. Как видно из приведенного рисунка на рельефной части карты, в межатомной области наблюдается спад ELF, никаких гребней не наблюдается. При этом на контурной карте межатомная область темная, что говорит о малой концентрации свободных неспаренных электронов.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно предположить, что связь в соединении  $Sb_2S_3$  носит преимущественно ионный характер.

## Источники

1. Messina S., Nair M.T.S., Nair P.K. Solid Films, 517, 2503 (2009).
2. Maghraoui-Meherzi H., T. Ben Nasr, N. Kamoun, M. Dachraoui. Physica B, 3101. 2010. 405.
3. Maghraoui-Meherzi H., Ben T. Nasr, Kamoun N., Dachraoui M. Comptes Rendus Chimie. 2011. 14. 471.
4. Han Q., Chen J., Lu J., Yang X., Lu L., Wang X. Mater. Lett. 2008. 62. 2050.
5. Arun P., Vedeshwara A.G. J. Appl. Phys. 1996. 79. 4029.
6. Shaji S., Arato A., O'Brien J.J., Liu J., Castillo G.A., Palma M.I.M., Roy T.K.D., Krishnan B. // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. 43. 075. 404.
7. Сафин И.А., Пеньков И.Н. // Доклады Академии Наук СССР. 147. N2. С. 410-413.
8. Granovsky A.A. Firefly version 8.2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html> (дата обращения 12.03.2022).

УДК 537.12

## ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЯХ

С.П. Максимов, И.Р. Нафиков, С.О. Гарькавый, Е.В. Шмидт

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.Л. Матухин

В настоящем докладе приводятся результаты исследования методом ЯМР полупроводниковых минералов, из рудных объектов Срединно-Атлантического хребта.

**Ключевые слова:** глубоководные гидротермальные источники, электрическая генерация, топливные элементы, ядерный магнитный резонанс в локальном поле.

Глубоководные гидротермальные источники открыли в 1978 году в Тихом океане, сначала на Галапагосском рифте, а потом и в других местах Мирового океана. В этом докладе приводятся результаты исследования методом ЯМР полупроводниковых минералов из рудных объектов Срединно-Атлантического хребта. В трещинах земной поверхности, на границах литосферных плит, были обнаружены горячие источники, из которых извиваются черные дымы, их называли «черными курильщиками». В рифтовых зонах происходит постоянный подъем к поверхности мантийного вещества, обеспечивающего высокий тепловой поток.

Горячие растворы, поднимающиеся к поверхности, смешиваются с холодной океанской водой, и многие химические элементы выпадают в твердую фазу. Они фиксируются в виде взвешенных частиц и скапливаются у устья подводных гидротермальных источников, а затем разносятся придонными течениями на отдаленные расстояния и, осаждаясь, становятся металлоносными осадками. «Черные курильщики» извергают геотермальную воду с температурой до 400 °С. Из-за большого давления эта вода не кипит, а находится в сверхкритическом состоянии. Причина чёрного цвета и мутности — взвесь сульфидов металлов. Соприкасаясь с океанской водой, геотермальная охлаждается, из неё первыми выпадают сульфиды железа, меди и никеля, окрашенные в чёрный цвет. Именно из них образуются трубы «черных курильщиков». Непосредственно у выхода источников образуются сравнительно большие (до нескольких десятков метров) гидротермальные постройки, имеющие форму башен, конусов труб или столбов. Размеры гидротермальных полей с постройками сульфидов, среди которых преобладают пирит ( $\text{FeS}_2$ ), пирротин ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), сфалерит ( $\text{ZnS}$ ), халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ ), достигают нескольких квадратных километров, а запасы в них металлов оцениваются миллионами тонн.

Недавно путем анализа электрических свойств минеральных образцов, отобранных из глубоководных гидротермальных источников и проведения электрохимических измерений в глубоком море, было обнаружено явление спонтанной электрической генерации в глубоководных гидротермальных системах [1–5]. Исследовательская группа М. Ямамото и др. проводила на месте электрохимические измерения гидротермальной жидкости и окружающей морской воды в искусственных, глубоководных гидротермальных источниках в желобе «Окинава» [2]. Этой группе удалось получать электроэнергию на глубоководном дне, установив топливный элемент (HF-SW fuel cell, топливный элемент «гидротермальная жидкость-морская вода»), который может использовать гидротермальную жидкость и морскую воду в качестве топлива в искусственном гидротермальном источнике. Искусственный гидротермальный источник был получен путем глубокого бурения до гидротермального бассейна под морским дном с использованием выемки грунта на морском дне.

Исследовались образцы халькопиритов из массивных сульфидных руд гидротермальных полей «Семенов-2» на площади Российского разведочного района Срединно-Атлантического хребта. Образцы представляли собой поликристаллические порошки с размером зерен 0,3–1 мм. Измерения спектров проводились на многоимпульсном спектрометре ЯМР/ЯКР Tecmag-Redstone. Регистрация формы линий ЯМР<sup>63,65</sup>Cu осуществлялась с использованием квадратурного детектирования путем записи квадрупольного спинового эха с пошаговым прохождением частотного диапазона и накопления сигналов. Полученные в данной работе параметры спектров в целом соответствуют известным данным для халькопиритов подобных древних гидротермальных отложений. Основной особенностью наблюдаемых спектров ЯМР <sup>63,65</sup>Cu в образцах CuFeS<sub>2</sub>, гидротермальных полей, является асимметричная форма центральной линии, что предполагает присутствие, как минимум, двух перекрывающихся линий. Наличие двух перекрывающихся центральных компонент указывает на существование вблизи резонансных ядер структурных областей с различным типом искажений. Полученные результаты указывают на большой уровень дефектности образца полученного из массивных сульфидных руд гидротермальных полей «Семенов-2». На данном этапе исследований наиболее вероятным источником уширения резонансных линий, в сильно дефектных образцах халькопирита, являются различного рода примеси. Халькопирит рудного поля «Семенов-2» содержит Co, Ni и As (по данным микронзондового анализа). Co и Ni, по-видимому, замещают железо, а As – серу [6].

Таким образом, полученные результаты показывают, что глубоководные гидротермальные источники функционируют как огромные природные топливные элементы, в которых постоянно генерируется электрический ток [2–5]. Импульсный ЯМР <sup>63,65</sup>Cu в локальном поле может быть одним из перспективных методов изучения дефектной структуры глубоководных полиметаллических сульфидов Мирового океана.

### Источники

1. Nakamura R., Takashima T., Kato S., Takai K., Yamamoto M. and Hashimoto K. Electrical Current Generation across a Black Smoker Chimney. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010. 49. 7692-7694.
2. Yamamoto M., Nakamura R., Oguri K., Kawagucci S., Suzuki K., Hashimoto K., Takai K. Generation of Electricity and Illumination by an Environmental Fuel Cell in Deep-Sea Hydrothermal Vents // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2013. 52. 10758-10761.



3. Ang R., Khan A.U., Tsijii N., Takai K., Nakamura R., Mori T. Thermoelectricity Generation and Electron-Magnon Scattering in a Natural Chalcopyrite Mineral from a Deep-Sea Hydrothermal Vent // *Angew. Chem., Int. Ed.* 2015. 54. 12909-12913.

4. Yamamoto M., Nakamura R., Kasaya T., Kumagai H., Suzuki K., Takai K. Spontaneous and Widespread Electricity Generation in Natural Deep-Sea Hydrothermal Fields // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2017. 56. 1-5.

5. Yamamoto M., Nakamura R., Takai K. Deep-Sea Hydrothermal Fields as Natural Power Plants // *ChemElectroChem.* 2018. 5, 2162-2166.

6. Matukhin, V.L., Pogoreltsev, A.I., Gavrilenko, A.N. et al. Features of  $^{63,65}\text{Cu}$  NMR Spectra in the Local Field of Samples of  $\text{CuFeS}_2$  Semiconductor Mineral from Oceanic Sulfide Deposits // *Semiconductors.* 2018. 52. P. 969–972.

УДК 621.3.035.223

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРЕМНИЙ-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ АЦЕТОНИТРИЛА

Т.С. Михайлова<sup>1</sup>, В.И. Калюта<sup>2</sup>, В.В. Пташник<sup>3</sup>  
<sup>1,2</sup>ФГАОУ ВО «ЮФУ», <sup>3</sup>АО «ТНИИС», г. Таганрог  
<sup>1</sup>tmihaylova@sfnu.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, в.н.с. Т.Н. Мясоедова

В работе представлены результаты исследования электрохимических характеристик электродов на основе кремний-углеродных пленок, полученных из органических растворов. Показано, что удельная емкость материалов, оцененная по кривым заряда-разряда достигает 742 Ф/г, а сами материалы являются перспективными для создания электрохимических конденсаторов на их основе.

**Ключевые слова:** электрохимическое осаждение, кремний-углеродные пленки, электрод.

Ограниченная безопасность, устойчивость и возможность вторичной переработки являются ключевыми недостатками современной технологии литий-ионных батарей, наряду с ограниченной доступностью исходных материалов (например, кобальта). В поисках альтернативных электрохимических систем хранения энергии для использования в электронной мобильности и для хранения энергии из возобновляемых источников, очень перспективным является сочетание аккумулятора и конденсатора: «гибридный суперконденсатор».

Он заряжается и разряжается так же быстро, как конденсатор, и может хранить почти столько же энергии, сколько обычные батареи. По сравнению с последними, его можно заряжать и разряжать гораздо быстрее и гораздо чаще: в то время как срок службы литий-ионной батареи составляет несколько тысяч циклов, суперконденсатор выдерживает около миллиона циклов зарядки. Использование суперконденсаторов в электродвигателях нового поколения обеспечивает экономию энергоресурсов планеты, а также значительно сокращает выбросы выхлопных газов от двигателей внутреннего сгорания. Вследствие выше сказанного, очевидно, что актуальным направлением является разработка материалов для энергоэффективных суперконденсаторов [1].

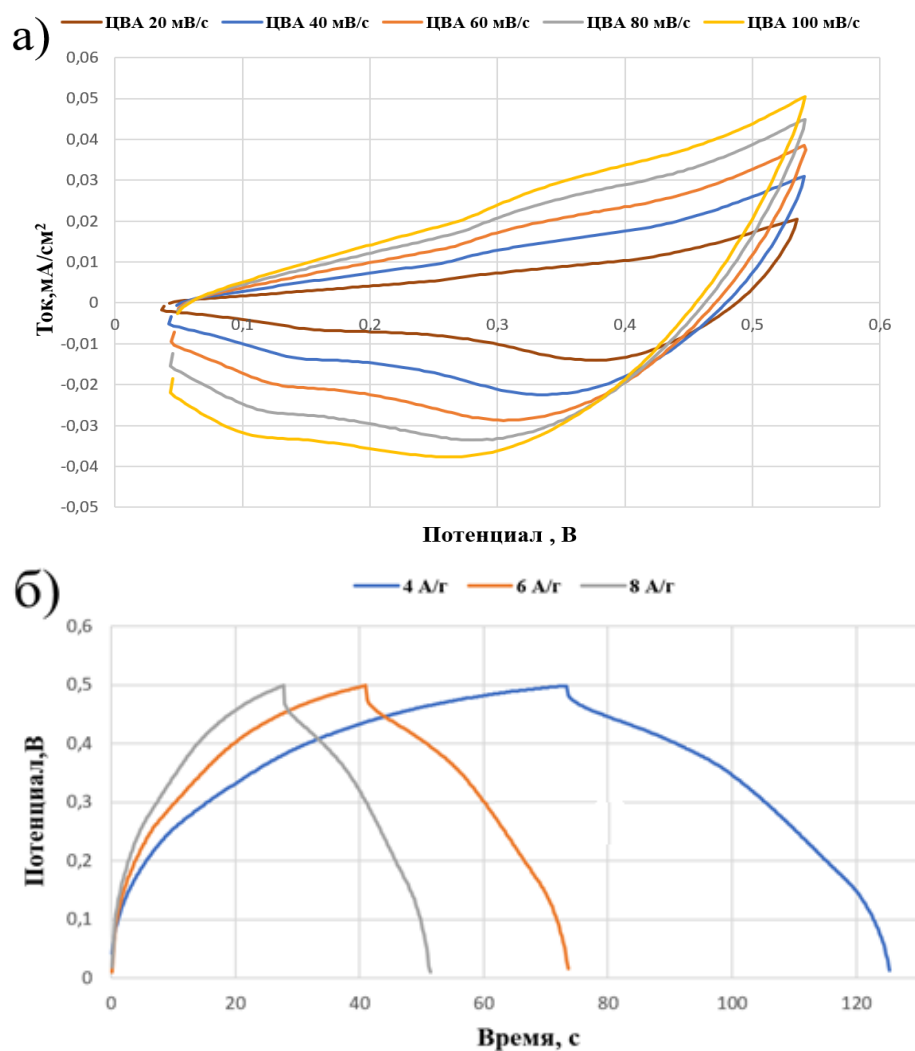


Рис. 1. Циклические вольтамперные характеристики образца (а) и кривые заряда-разряда (б)

В работе проведены исследования электродов на основе кремний-углеродных пленок, полученных методом электрохимического осаждения из органических растворов на медные подложки. Растворы готовили из метанола, ацетонитрила и гексаметилдисилазана в соотношении 4,5:4,5:1 при напряжении 40 В и начальной плотности тока  $50 \text{ mA/cm}^2$  в течение 40 мин. Осаждение осуществляли на установке, описанной в работах [2, 3].

Далее проводили исследования электрохимических характеристик в трехэлектродной ячейке по отношению к хлорсеребряному электроду сравнения в 3,5 М КСl. Рабочий и вспомогательный электрод погружали в раствор 8N NaOH.

Вид циклических вольтамперных кривых (ЦВА) указывает на псевдоемкостную природу кремний-углеродной пленки. Причем при сдвиге происходит увеличение площади внутри кривых с увеличением скорости развертки с 20 до 100 мВ/с и сдвиг окислительно-восстановительного пика в сторону меньших потенциалов.

По кривым заряда-разряда была произведена оценка емкости материала электрода, которая составила 742, 634, 571 Ф/г при плотности тока 4, 6 и 8 А/г, соответственно. Масса материала электрода составила 0,0007 г.

Из выше приведенного можно сделать вывод, что кремний-углеродные пленки, полученные из растворов на основе ацетонитрила являются перспективными материалами для создания электрохимических суперконденсаторов.

### Источники

1. Григорьев М.Н., Михайлова Т.С., Мясоедова Т.Н. Разработка электродов электрохимических конденсаторов на основе кремний-углеродных структур // Электроника: наука, технология, бизнес. 2019. №9 (00190). С. 96-102.

2. Григорьев М.Н., Михайлова Т.С., Мясоедова Т.Н. Получение кремний-углеродных пленок на электропроводящей и диэлектрической подложках методом электрохимического осаждения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 7. С. 56–66.

3. Grigoryev M.N., Myasoedova T.N., Mikhailova T.S. The electrochemical deposition of silicon-carbon thin films from organic solution // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1124(8). P. 081043.

## **АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ГОМО- И ГЕТЕРОЯДЕРНЫХ ВЕЩЕСТВ (ОКСИДОВ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПОЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ (СХСС) В ВИДЕ «ХИМИЧЕСКОГО ТРЕУГОЛЬНИКА»**

Р.Р. Насыбуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ruzil.nasybullin@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. О.С. Сироткин

В настоящей работе впервые сделана попытка оценки комплексного влияния состава и типа химической связи элементов вещества на их агрегатное состояние в рамках Системы химических связей и соединений (СХСС) в виде «Химического треугольника». В результате, на площади «Химического треугольника», определены области существования гомо-и гетероядерных соединений элементов со связями Э-О (оксидов) в газообразном, жидком и твердом агрегатных состояниях.

**Ключевые слова:** гомо- и гетероядерное вещество, оксид, система химических связей и соединений, состав, тип связи, агрегатное состояние.

Куда угодно не взгляни, везде можно обнаружить химические вещества, которые обеспечивают потребности человечества в энергии, материалах, питании и т.д. Раньше, а то и даже в современное время, люди часто не придают этому значения и забывают, насколько огромно их разнообразие, исчисляемое миллионами разновидностей химических веществ. Особую важность имеет оценка способности веществ к нахождению в различных агрегатных состояниях, так как это определяет их свойства и образование различных по практической значимости материалов (конструкционных, специальных, сырьевых и др.), определяющих области их практического применения. Но для начала нужно вспомнить определение термина «агрегатное состояние». Агрегатное состояние – это состояние любого вещества, характеризующееся определенными качественными свойствами: способностью и неспособностью сохранять форму и объем, наличием или отсутствием дальнего и ближнего порядка. Традиционно различают четыре агрегатных состояния вещества: газообразное (пар и газ), жидкое (раствор и расплав), твердое и плазменное.

При этом не исследовано влияние на агрегатное состояние веществ химического состава и типа связи. Для решения этой проблемы необходима новая фундаментальная научная основа, позволяющая системно провести исследование в этом направлении.

Для системного решения поставленной задачи было решено попытаться исследовать причину того, из-за чего изменяется агрегатное состояние веществ в зависимости от положения их в «Системе химических связей и соединений» (СХСС), которая была создана в рамках формирования и развития научной школы Сироткина О.С., Сироткина Р.О и др. [1–5]. В начале необходимо было оценить влияние соотношения компонент химических связей в ряде гомо- и гетероядерных соединениях элементов на их агрегатное состояние (см. таблицу).

Соотношение компонент химических гомо- и гетероядерных связей веществ и их агрегатное состояние

Связь	C <sub>к</sub>	C <sub>м</sub>	Агрегатное состояние	Связь	C <sub>к</sub>	C <sub>м</sub>	C <sub>и</sub>	Агрегатное состояние
Гомо				Гетеро				
F-F	100	0	Газ	NO <sub>2</sub>	81,56	15,42	3,02	Газ
O-O	89,4	10,6	Газ	Cl <sub>2</sub> O	76,53	17,26	6,21	Газ
N-N	78,8	21,2	Газ	CO <sub>2</sub>	70,61	18,91	10,49	Газ
Cl-Cl	73,79	26,21	Газ	SO <sub>2</sub>	67,71	19,58	12,71	Газ
Br-Br	71,06	28,94	Жидкость	SeO <sub>2</sub>	67,21	19,68	13,11	Твёрдое
[C] <sub>n</sub>	68,35	31,65	Твёрдое	Br <sub>2</sub> O	62,06	20,7	17,24	Жидкость
[S] <sub>n</sub>	65,75	34,25	Твёрдое	IO <sub>2</sub>	60,64	20,95	18,41	Твёрдое
[Se] <sub>n</sub>	65,29	34,71	Твёрдое	PO <sub>3</sub>	57,9	21,41	20,69	Твёрдое
I-I	59,24	40,76	Твёрдое	TeO <sub>2</sub>	56,19	21,68	22,13	Твёрдое
[P] <sub>n</sub>	56,62	43,38	Твёрдое	H <sub>2</sub> O	54,5	21,94	23,56	Жидкость
At-At	55,69	44,31	Твёрдое	Cu <sub>2</sub> O	50,88	22,47	26,65	Твёрдое
[Te] <sub>n</sub>	54,92	45,08	Твёрдое	ZnO	48,43	22,82	28,75	Твёрдое
[As] <sub>n</sub>	54,29	46,71	Твёрдое	Pb <sub>2</sub> O	47,12	23,01	29,87	Твёрдое
H-H	53	47	Газ	BeO	43	23,62	33,37	Твёрдое
[B] <sub>n</sub>	51,03	48,97	Твёрдое	Au <sub>2</sub> O	42,09	23,76	34,15	Твёрдое
[Si] <sub>n</sub>	50,27	49,73	Твёрдое	Li <sub>2</sub> O	33,07	25,55	41,38	Твёрдое
[Sb] <sub>n</sub>	50,07	49,93	Твёрдое	Na <sub>2</sub> O	32,61	25,67	41,72	Твёрдое
Cu <sub>м</sub>	49,33	50,67	Твёрдое	K <sub>2</sub> O	31,72	25,91	42,37	Твёрдое
Al <sub>м</sub>	44,52	55,48	Твёрдое	Cs <sub>2</sub> O	30,75	26,2	43,05	Твёрдое
Fe <sub>м</sub>	44,02	55,98	Твёрдое					
Au <sub>м</sub>	38,43	61,57	Твёрдое					
K <sub>м</sub>	20,67	79,33	Твёрдое					
Cs <sub>м</sub>	18,59	81,41	Твёрдое					

Теперь начнем разбираться с влиянием химического состава и типа связи на агрегатное состояние веществ в зависимости от их положения в СХСС в виде «Химического треугольника» (см. рисунок). По данному рисунку можно заметить тенденцию: при повышении степени металличности и ионности агрегатное состояние веществ меняется в ряду: газообразное – жидкое (расплав, раствор) – твёрдое. Это связано с изменением соотношения компонент, то есть типом химической связи, которое через изменение локализации-делокализации ОЭ приводит к изменению химической структуры веществ от молекулярных к немолекулярным. Можно заметить в системе СХСС снизу вверх с ростом ковалентной компоненты связи уменьшается число элементов, входящих в состав веществ приведенных в таблице. В результате, при приближении химических связей к вершине *К* «Химического треугольника» уменьшается способность вещества существовать в твердом агрегатном состоянии, с одновременным ростом способности существовать в жидком (расплав и раствор) или газообразном состояниях. Ближе к вершине *М* образуется плазма [3–5].

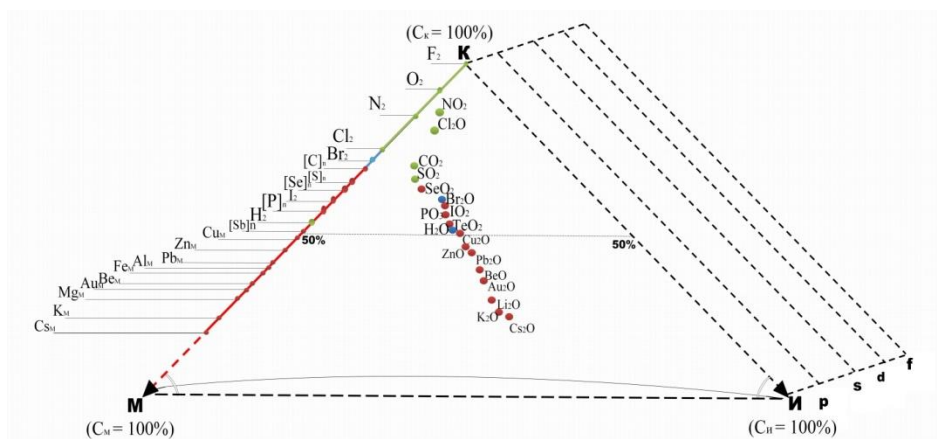


Рис. 1. Агрегатное состояние веществ в «Химическом треугольнике»

Таким образом, подводя итог настоящему исследованию, можно сделать вывод, что впервые установлен факт того, что агрегатное состояние химических соединений и веществ определяется их положением в СХСС. Это доказывает, что появилась новая возможность оценки агрегатного состояния любого вещества и материала, через анализ его состава и типа химической связи в рамках СХСС.

### Источники

1. Сироткин О.С. Основы современного материаловедения. М.: ИНФРА-М, 2015-2019. 364 с.
2. Sirotkin O.S., Sirotkin R.O., Trubacheva A.M. On the necessity and procedure of taking into account the metallic component of a heteronuclear bond // Russian Journal of Inorganic Chemistry. 2005. 1. P. 67-71.
3. Сироткин Р.О. Физикохимия гомо- и гетероядерных бинарных веществ и материалов на их основе (особенности комплексного влияния элементного состава химической связи на структуру и свойства). М.: РУСАЙНС, 2018. 238с.
4. Sirotkin R.O., Sirotkin O.S. Metallicity of Chemical Bonds and Its Role in Their Systematization and Effect on the Structure and Properties of Substances // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2020. 94 (6). P. 1153-1158.
5. Сироткин О.С., Сироткин Р.О. Химия (Основы единой химии). М.: КНОРУС, 2017. 364 с.

УДК 621.7; 66.096.5

## ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДА СВС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА КЕРАМИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

Д.А. Слюднева  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
diana67890@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.А. Женжурист

В статье рассмотрены результаты применения СВС-технологии для получения наноматериалов различного назначения. Наноконпозиты могут быть использованы в различных областях промышленности для получения трибологических, инструментальных материалов, порошков металлов и керамики, экструзионных материалов и др. Отмечена наноразмерная структура материала. Технология СВС значительно упрощает и удешевляет производства материалов.

**Ключевые слова:** высокотемпературный синтез, композит, керамика, нанопорошки.

Керамические материалы обладают высокой твердостью, жесткостью, жаростойкостью, жаропрочность. Эти свойства делают керамику и композиционные материалы на их основе незаменимыми в таких областях техники, как автомобильная, авиакосмическая, энергетическая и др. областях. В составе композиционного материала традиционная хрупкость керамики может быть значительно снижена, что делает керамические композиты особенно привлекательными [1].

В сравнении с традиционными керамическими материалами нанокерамические композиты обладают уникальными свойствами, поэтому особое внимание уделяется технологиям создания нанокерамики [2]. Имеет значение экономическая составляющая технологии. К экономически эффективной технологии относится самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

Под технологией СВС понимают химический процесс, который проходит с выделением тепла в автоволновом режиме горения, в процессе которого получают твердые продукты (см. рисунок). Технология может работать на автоматизированной линии. Технология СВС основана на экзотермической реакции взаимодействия исходных компонентов в форме горения с образованием тугоплавких неорганических соединений (оксидов, боридов, карбидов и др.), которые используются для изготовления керамических, композиционных и наноматериалов на их основе [3].

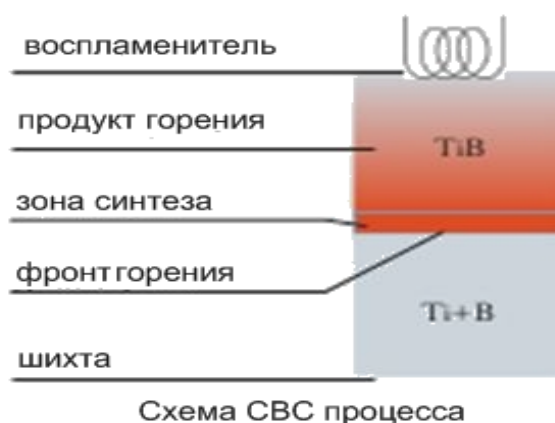


Схема технологии СВС

В технологии СВЧ используется простое оборудование, отсутствуют затраты электроэнергии, что является признаком экономической выгоды. Для технологии наноматериалов, которые характеризуются высокой стоимостью, особенно важен экономический аспект.

СВС технология применяется для получения металломатричных композиционных материалов, дискретно армированных наноразмерными и волокнистыми частицами оксидов, карбидов кремния и титана, силицидов, нитридов кремния. СВС технология может быть использована для получения нанопорошков металлов различного состава и композиционных наноматериалов [4].



По технологии СВС получают разнообразные металлокерамические материалы, которые отличаются высокой прочностью и вязкостью разрушения. Большое значение имеет процесс СВС для прямого получения металлокерамики *ex situ* или *in situ* армированных керамическими наночастицами инструментальных материалов, которые изготавливаются силовым СВС-компактированием, методом СВС-литья и СВС-в расплаве [5]. Методом СВС-экструзии получают оксидную керамику, упрочненную частицами боридов и карбидов.

Особенность твердофазного синтеза методом СВС состоит в использовании процессов деформации твердых материалов в сочетании с процессами горения и спекания, например СВС-экструзия. Горение смеси компонентов протекает за счет восстановления оксида и экзотермической реакции образования карбидов, боридов и других соединений [6].

### Источники

1. Амосов А.П. Наноматериалы технологии СВС для триботехнического применения. Обзор // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2016. № 4. С. 17-33.

2. Camargo P.H.C., Satyanarayana K.G., Wypych F. Nanocomposites: synthesis, structure, properties and new application opportunities // Materials Research. 2009. Т. 12. № 1. С. 1-39.

3. Амосов А.П. Материалы и покрытия триботехнического назначения, получаемые по технологии СВС // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. №. 1. С. 15-20.

4. Palmero P. Structural ceramic nanocomposites: a review of properties and powders synthesis methods // Nanomaterials. 2015. Т.35. С. 477- 486.

5. Sanin V, Andreev D., Ikornikov D., Yukhvid V. Cast intermetallic alloys and composites based on them by combined centrifugal casting – SHS process // Open Journal of Metal. 2013. № 3. С. 12-24.

6. Чичиков А.П. СВС-экструзия оксидной керамики, дисперсно-упрочненной частицами боридов и карбидов: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.17. Черноголовка, 2019. 138 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ХАЛЬКОПИРИТА МЕТОДОМ ЯМР В ЛОКАЛЬНОМ ПОЛЕ

С.А. Тараскин, З.А. Матюшенцев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ololoiev77@mail.ru

Науч. рук. асс. С.О. Гарькавый

В представленной работе приведены результаты изучения образцов полупроводникового минерала халькопирита  $\text{CuFeS}_2$  методом ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле.

**Ключевые слова:** твердотельные термоэлектрические преобразователи, ядерный магнитный резонанс, магнитные полупроводники.

Халькопирит – минерал с формулой  $\text{CuFeS}_2$ . Представляет собой сложное сульфидное соединение, кристаллизующееся в тетрагональной сингонии. Халькопирит это один из наиболее часто встречающихся минералов меди. В природе он, как правило, встречается в магматогенных месторождениях медно-никелевых сульфидных руд на суше, и в гидротермальных источниках срединно океанических хребтов на дне Мирового океана.  $\text{CuFeS}_2$  является магнитным полупроводниковым минералом [1–3]. Полупроводниковые свойства данного минерала могут значительно отличаться от наличия в нем примесей, различных структурных искажений и неоднородностей. Огромную роль в этом играет неоднородность месторождений минеральных ресурсов и различия в стехиометрии образцов полученных из разных участков одного месторождения. Одним из наиболее результативных методов изучения свойств данного соединения являются методы ядерного магнитного резонанса.

В данной работе приводятся результаты сравнительных анализов спектральных характеристик двух образцов полученных из месторождения «Новая залежь» г. Сибай.

Образцы представляли собой поликристаллические порошки с размером зерен 0,3–1 мм. Измерения проводились на многоимпульсном спектрометре ЯМР/ЯКР Tecmag-Redstone.

Спектры ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле в образцах минерала  $\text{CuFeS}_2$  были исследованы при комнатной температуре. Спектр каждого изотопа состоит из трех резонансных линий – центральной линии и двух квадрупольных сателлитов, возникающих из-за взаимодействия квадрупольного момента ядра меди с градиентами электрических полей (ГЭП). Спектры второго образца халькопирита практически полностью совпали с частотами спектра первого образца, однако они продемонстрировали меньшую интенсивность резонансных линий и значительное уширение, а также небольшое смещение в сторону высоких частот и асимметричную форму линий. Уширение обнаруженных линий в спектре может свидетельствовать о заметном отклонении состава второго образца от стехиометрического.

Главной особенностью наблюдаемого спектра ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  во втором образце  $\text{CuFeS}_2$ , является асимметричная форма резонансных линий, что предполагает присутствие, дополнительных компонент. Наличие таких перекрывающихся компонент, указывает на существование вблизи резонансных ядер меди структурных областей с различным типом искажений. Такие области могут быть связаны с нарушением упорядоченного расположения атомов железа и меди в металлической подрешетке халькопирита.

Наиболее вероятной причиной этого являются примеси родственных минералов халькопирита, такие как халькозин, пирит, кубанит, хейкоцит.

На данном этапе исследований нельзя также исключить наличие в образце системы суперпарамагнитных кластеров [4]. Появление таких кластеров возможно при нарушении упорядоченного чередования атомов  $\text{Cu}$  и  $\text{Fe}$  в металлических слоях кристаллической структуры халькопирита. Один атом  $\text{Fe}$ , поменявшись с соседним атомом  $\text{Cu}$ , приводит к образованию кластера из пяти соседних атомов  $\text{Fe}$  в ферромагнитном металлическом слое. При большом беспорядке размеры кластеров железа могут увеличиваться. Появление магнитных кластеров в халькопирите вызывает разброс магнитных полей в месте расположения резонансных ядер меди и может привести к асимметричной форме линий центрального перехода спектра ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$ .

В представленной работе метод ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле был использован для сравнения и изучения образцов халькопирита полученных из различных участков одного месторождения. Обнаружено, что образец из участка 2 обладает большей шириной линий спектра по сравнению с образцом, полученным из участка 1, помимо этого наблюдается небольшой сдвиг спектра в сторону более высоких частот. Уширение линий спектра, в первую очередь, может быть вызвано нестехиометрическим составом образцов и наличием примесей. Незначительный сдвиг спектра, вероятно, обусловлен примесным замещением.

## Источники

1. Tsujii N.. J. Electron. Mater. 2013. 42. P. 1974.
2. Tsujii N., Mori T., Isoda Y.. J. Electron. Mater. 2014. 43 (6). P. 2371.
3. Li Y., Zhang T., Qin Y., Day T., Snyder G.J., Shi X., Chen L. J. Appl. Phys. 2014. 116. P. 203705.
4. Попов В.В., Кижяев С.А., Рудь Ю.В. ФТТ. 2011. 53 (1). С. 70.

УДК 539.17.013

## СТРУКТУРА И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ МАРГАНЦА В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ КРИСТАЛЛЕ ГАЛЕНИТА

Т.А.Н. Хушея

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

takeihousheya1992@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Уланов;

канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Р. Зайнуллин

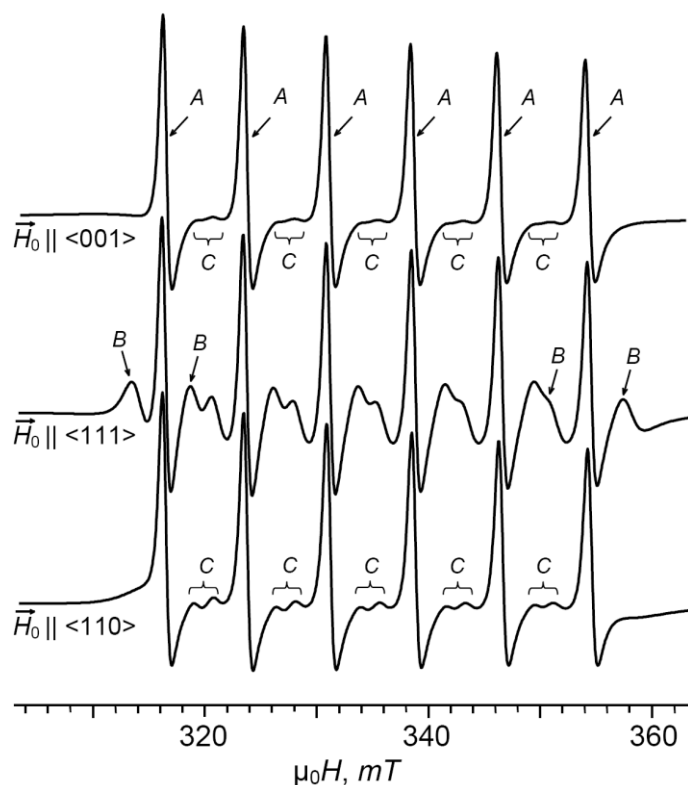
Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) при  $T = 4,2$  К изучены структура и угловые зависимости в спектрах ЭПР парамагнитных центров марганца в кристалле узкозонного полупроводника галенита (PbS). Установлено, что марганец является примесью катионного замещения и находится в объеме координационного многогранника (октаэдра) в состоянии  $Mn^{2+}$ . Обнаружена аномальная анизотропия интенсивностей линий тонкой структуры, соответствующих электронным переходам  $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\mp 3/2\rangle$ . Определены параметры спинового гамильтониана исследуемых центров.

**Ключевые слова:** галенит, примесь марганца, ЭПР, аномальная анизотропия ширины линий тонкой структуры.

Полупроводник галенит (PbS) с кристаллической структурой типа NaCl до настоящего времени привлекает внимание исследователей как материал с большими возможностями в области термоэлектрического преобразования энергии [1]. Вследствие узкой запрещенной зоны галенит может также стать перспективным материалом для быстроразвивающегося направления электроники, называемого спинтроникой [2]. Для использования в таком качестве галенит должен быть допирован парамагнитными примесями, из которых наиболее многообещающим является марганец.

Известно, что магнитные свойства галенита с примесью марганца очень сильно зависят от занимаемой ионами марганца позиции в допированном кристалле и от их валентного состояния. Но в отношении характеристик центров марганца в галените пока еще не все выяснено. По этой причине определение структуры и валентного состояния образующихся центров марганца является важной задачей.

Целью данной работы явилось изучение структуры и низкотемпературных магнитных характеристик парамагнитных центров марганца в кристалле PbS, определяемых, прежде всего, их валентным состоянием. В качестве метода исследования был выбран метод ЭПР. Спектры ЭПР регистрировались на спектрометре «E-12 Varian» в диапазоне  $X$  при температуре жидкого гелия (4,2 К). Исследование было выполнено с кристаллическим образцом  $Pb_{1-y}Mn_yS$ , содержащим примесь марганца с концентрацией  $y = 0,0002 \pm 0,00002$ . На рисунке представлены спектры ЭПР образца  $Pb_{1-y}Mn_yS$ , зарегистрированные в трех ориентациях вектора внешнего магнитного поля  $\vec{H}_0$  относительно кристаллографических осей образца:  $\vec{H}_0 \parallel \langle 001 \rangle$ ,  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$  и  $\vec{H}_0 \parallel \langle 110 \rangle$ .



Спектр ЭПР образца  $Pb_{1-y}Mn_yS$  ( $y = 0,001$ ;  $T = 4,2$  К;  $f = 9338 \pm 5$  МГц)

В спектрах, представленных на рисунке, присутствуют шесть линий одинаковой интенсивности, расположенных эквидистантно и соответствующих сверхтонкой структуре (СТС) на электронном переходе  $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$  парамагнитного центра марганца. Положение этих линий (они отмечены буквой *A*) не меняется при изменении направления внешнего постоянного магнитного поля  $\vec{H}_0$ , что указывает на практически изотропный характер сверхтонкого взаимодействия. В спектре для ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$  присутствуют линии, выходящие за пределы диапазона резонансных магнитных полей, занимаемого шестеркой линий СТС на электронном переходе  $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$ . Таких линий две (по одной с двух сторон от каждой линии СТС, они обозначены буквами *B*). Между шестью линиями *A* наблюдаются относительно слабые дополнительные линии *C*, которые представляют собой так называемые «запрещенные» линии, связанные с переходами между электронными состояниями  $|+1/2\rangle$  и  $|-1/2\rangle$ , происходящими без сохранения проекции ядерного спинового момента. Появление таких «запрещенных» переходов указывает на анизотропию кристаллического поля, действующего на примесный ион марганца. Следовательно, в спектрах ЭПР должны также присутствовать линии от переходов между другими парами электронных уровней. В данном случае такими являются линии *B*, наблюдаемые только в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$ . Три линии тонкой структуры могут говорить о том, что марганец в исследуемом центре находится в состоянии  $Mn^{4+}(d^3, {}^4F)$ . Однако, поскольку величина *g*-фактора наблюдаемых центров (1,9916) близка к величине *g*-фактора свободного электрона (2,0003), такое предположение маловероятно. Поэтому следует положить, что валентное состояние марганца в исследуемом образце соответствует  $Mn^{2+}(d^5, {}^6S)$ . В таком случае каждая из явно уширенных линий *B* представляют собой неразрешенные линии иона  $Mn^{2+}$ , соответствующие электронным переходам  $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\mp 3/2\rangle$ .

Таким образом, зарегистрированные на рисунке спектры могут быть описаны спиновым гамильтонианом:

$$H_S = \beta_e g \left\{ H_{0x} \cdot S_x + H_{0y} \cdot S_y + H_{0z} \cdot S_z \right\} + A \left\{ S_x \cdot I_x + S_y \cdot I_y + S_z \cdot I_z \right\} - \\ - \beta_N g_N \left\{ H_{0x} \cdot I_x + H_{0y} \cdot I_y + H_{0z} \cdot I_z \right\} + B_4 (O_4^0 - 5O_4^4), \quad (1)$$

где  $g = 1,9916 \pm 0,0005$ ;  $A = 76,3 \pm 0,2$  Э;  $B_4 = -0,4 \pm 0,03$  МГц. Следует отметить, что в настоящем исследовании обнаружена аномальная угловая зависимость амплитуд линий  $B$  – интегральная интенсивность этих линий максимальна в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$ , но быстро падает почти до нуля при отклонениях вектора  $\vec{H}_0$  от этого направления. В результате такой аномальной анизотропии линии тонкой структуры, обязанные электронным переходам  $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\mp 3/2\rangle$ , в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 001 \rangle$  совершенно не наблюдаются. Природа обнаруженной аномалии обсуждается.

### Источники

1. Wang Heng. High thermoelectric efficiency of *n*-type PbS // Adv. Energy Mater. 2013. V.3. P. 488-495.
2. Dyakonov M.I. Spin physics in semiconductors // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2017. 532 p.

УДК 539.17.013

## ЭФФЕКТЫ ДВОЙНОГО ДОПИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КРИСТАЛЛА ГАЛЕНИТА ПРИМЕСЯМИ МАРГАНЦА И МЕДИ: ДАННЫЕ ЭПР

Т.А.Н. Хушея

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

takeihousheya1992@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.А. Уланов;

канд. физ.-мат. наук, доц. Р.Р. Зайнуллин

Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) при  $T = 4,2$  К изучены эффекты, являющиеся результатами легирования узкозонного полупроводника галенита (PbS) марганцем и медью. Установлено, что примесь меди в образце  $Pb_{1-x-y}Cu_xMn_yS$  ( $x = 0,004$ ;  $y = 0,0002$ ) приводит к появлению уширенных линий тонкой структуры в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 001 \rangle$ , в то время как в образце  $Pb_{1-y}Mn_yS$  в этой ориентации видны только 6 линий сверхтонкой структуры. Кроме того, в образце с медью обнаружено большее значение  $g$ -фактора (1,9952) по сравнению с образцом  $Pb_{1-y}Mn_yS$  (1,9916). Однако величина константы сверхтонкой структуры в обоих образцах оказались практически одинаковыми ( $A = 76,25$  Э). Природа наблюдаемых эффектов обсуждается.

**Ключевые слова:** галенит, примесь меди, примесь марганца, дефекты структуры, ЭПР.

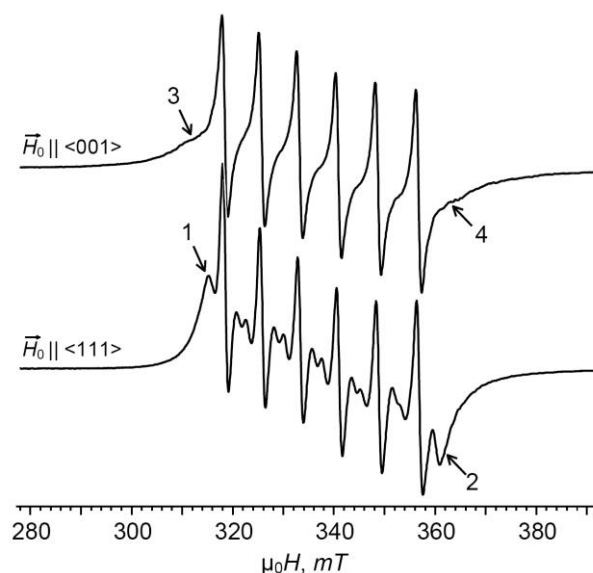
Узкозонный полупроводник PbS (галенит), допированный парамагнитными примесями (марганцем или гадолинием) является перспективным материалом для изготовления приборов спинтроники. Известно, что магнитные свойства полупроводниковых сплавов  $Pb_{1-y}Mn_yS$  в значительной степени зависят от концентрации и типа основных носителей заряда, от позиции, занимаемой ионами марганца в допированном кристалле, от валентного состояния ионов марганца, а также от различных возмущающих воздействий со стороны дефектов кристаллической решетки (собственных и искусственно созданных путем дополнительного допирования кристалла примесями других элементов). В работе [1] было найдено, что в кристаллах PbS примесь меди выступает в некоторой степени как акцептор, способный при достаточно высоких концентрациях к изменению типа проводимости этого кристалла (без примеси меди PbS характеризуется электронной проводимостью). Поэтому в кристаллических сплавах  $Pb_{1-x-y}Cu_xMn_yS$  можно ожидать так называемого эффекта Найта [2]. По указанным причинам выявление различных эффектов, обусловленных искажениями структуры со стороны дополнительно введенных примесных атомов, является важной задачей.

Целью данной работы явилось изучение влияния на структуру и магнитные свойства парамагнитных центров марганца в кристалле PbS со стороны ионов меди, дополнительно введенных в решетку кристалла-матрицы PbS.

Спектры ЭПР регистрировались на спектрометре «E-12 Varian» в диапазоне  $X$  при температуре жидкого гелия (4,2 К). Исследования были выполнены с двумя видами образцов. На первой стадии исследования были изучены спектры ЭПР кристаллического образца  $Pb_{1-y}Mn_yS$  (образец №1), содержащего только примесь марганца с концентрацией  $y = 0,0002 \pm 0,00002$ . Было установлено, что марганец в этом образце находится в состоянии  $Mn^{2+}(d^5, {}^6S)$ . Были определены основные параметры спинового гамильтониана центров  $Mn^{2+}$ :  $g = 1,9916 \pm 0,0005$ ;  $A = 76,3 \pm 0,2$  Э. Была обнаружена аномальная угловая зависимость ширины линий тонкой структуры спектра, соответствующих электронным переходам  $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\mp 3/2\rangle$ . Этот параметр минимален в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$ , но очень быстро растет при отклонениях вектора  $\vec{H}_0$  от этого направления.



На второй стадии данного исследования были изучены спектры ЭПР кристаллического сплава  $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Cu}_x\text{Mn}_y\text{S}$  ( $x = 0,004$ ;  $y = 0,0002$ ; образец №2). Наиболее характерными оказались спектры ЭПР, зарегистрированные при  $T = 4,2$  К в ориентациях  $\vec{H}_0 \parallel \langle 001 \rangle$  и  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$ . Они представлены на рисунке и характеризуются параметрами:  $g = 1,9952 \pm 0,0005$ ;  $A = 76,2 \pm 0,2$  Э;  $B_4 = -0,4 \pm 0,02$  МГц. Спектр образца №2 в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 111 \rangle$  оказался примерно таким же, как и спектр образца №1 в этой же ориентации. Но интервал между наложенными друг на друга линиями от электронных переходов  $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\mp 3/2\rangle$  (линии 1 и 2) и соседней компонентой СТС на переходе  $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$  в образце №2 на 17 % меньше, чем в образце №1. Однако во втором образце крылья линий 1 и 2 значительно более растянуты, чем в первом, что говорит о случайном характере распределения деформаций по ансамблю парамагнитных центров марганца в образце №2. В спектре ЭПР образца №2, зарегистрированном в ориентации  $\vec{H}_0 \parallel \langle 001 \rangle$ , слева и справа от линий СТС на переходе  $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$  наблюдаются «плечи», которых нет в соответствующем спектре образца №1. Можно полагать, что своим появлением эти «плечи» обязаны линиям от электронных переходов  $|\pm 5/2\rangle \leftrightarrow |\mp 3/2\rangle$  в центрах  $\text{Mn}^{2+}$ . Их присутствие говорит о том, что в этих центрах ион  $\text{Mn}^{2+}$  в среднем находится в центре слабо деформированного октаэдра, на вершинах которого находятся шесть ионов  $\text{S}^{2-}$ .



Спектр ЭПР образца  $\text{Pb}_{1-x-y}\text{Cu}_x\text{Mn}_y\text{S}$  ( $x \approx 0,004$ ;  $y = 0,0002$ ;  $T = 4,2$  К;  
 $f = 9413,6 \pm 0,5$  МГц)

Акцепторное действие меди в образце №2 проявилось в том, что  $g$ -фактор этого образца (1,9952) оказался заметно больше, чем  $g$ -фактор образца №1 (1,9916). Параметр кубического кристаллического поля образца №2 оказался меньше. Случайный характер распределения деформаций по ансамблю парамагнитных центров марганца в образце №2 проявляется также тем, что относительно узкие линии СТС на переходе  $|+1/2\rangle \leftrightarrow |-1/2\rangle$  оказались на фоне широкой линии гауссовой формы.

### Источники

1. Голенищев-Кутузов В.А., Синицин А.М., Уланов В.А. Концентрационные зависимости термо-электрических характеристик твёрдых растворов  $Pb_{1-x}Ag_xS$  и  $Pb_{1-x}Cu_xS$  ( $0 \leq x \leq 0,011$ ) // Известия Российской академии наук. Серия Физическая. 2018. Т. 82, № 7. С. 7-10.

2. Story T., Swuste C.H.W., Eggenkamp H.J.M., Swagten H.J.M. Electron paramagnetic resonance Knight shift in semimagnetic (diluted magnetic) semiconductors // Phys. Rev. Lett. 1996. V.77. С.2802-2805.

УДК 67.014

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Е.И. Чернов<sup>1</sup>, В.Р. Аглиуллин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>wertyguer@gmail.com, <sup>2</sup>agliullin.00@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, ст. преп. А.Е. Бунтин

В современной энергетике применяется большое количество разнообразных материалов. Особое внимание уделяется наноматериалам. Данные материалы существенно повышают характеристики изоляции элементов энергосистемы, решают проблемы электромагнитной совместимости, используются в сверхпроводниках и солнечных коллекторах. В настоящей статье произведен обзор таких материалов.

**Ключевые слова:** энергетика, наноматериалы, нанотрубки, аэрогели, парафин, аккумуляторы.

Еще в 1980-х гг. были разработаны так называемые высокотемпературные сверхпроводящие материалы на керамической основе. Их использование оказалось нерентабельным. Поэтому учёные пришли к идее использования нанотехнологий для получения сверхпроводящих материалов. В частности, для создания сверхпроводников могут использоваться углеродные нанотрубки (УНТ). На данный момент они применяются при изготовлении проводников и полупроводников [1]. Помимо УНТ могут применяться сверхпроводящие материалы на основе висмута и иттрия.

Следующим примером использования нанотехнологий является тонкодисперсный порошок  $\text{SiO}_2$ , внедренного химическим способом в полиамидную изоляцию. Использование этого нанонаполнителя приводит к самоочищению провода, что потенциально может увеличить эксплуатационный срок службы катушек реакторов, трансформаторов и электродвигателей [1].

Достаточно остро в современной электроэнергетике стоит проблема электромагнитной совместимости. Наличие сильных электромагнитных полей в электроустановках (ЭУ) мешает каналам связи. Эти поля создают сильные помехи при передаче сигналов. Для устранения помех можно применять наноматериалы. В качестве такого материала можно использовать радиопоглощающий материал, в структуре которого преобладает наноструктурный ферромагнитный микропровод (НФМП) в стеклянной изоляции [2].

Наноматериалы могут решить проблему накопления и хранения электроэнергии посредством применения наноструктурированных катодов и анодов из композитной серы с улучшенной электронной проводимостью для литий-ионных аккумуляторов [3].

Ещё одним решением проблемы накопления электроэнергии является применение графенового аэрогеля, благодаря пористой структуре которого обеспечивается быстрый перенос электронов или ионов. Этот аэрогель может применяться не только для литий-ионных батарей, но и в других элементах, таких как суперконденсаторы, накопители водородной и тепловой энергии.

Помимо электроэнергетики, наноматериалы могут применяться и в теплоэнергетике. Так, УНТ используются в солнечных коллекторах для снижения тепловых потерь. Использование парафина, модифицированного УНТ, вместо воды позволяет накапливать до 2 раз больше количества теплоты [4].

Также в теплоэнергетике наноматериалы используются в теплоизоляции. Применяются аэрогели – наноструктурированные материалы с мезопористой структурой. Примером послужит кремнийоксидный аэрогель. Кремнийоксидный аэрогель представляет собой гибкий рулонный материал, используемый для уменьшения потерь тепла с поверхности технологического оборудования и трубопроводных систем [5].

Напоследок следует еще раз обратить внимание на углеродные нанотрубки. Их сфера применения весьма широка. Помимо вышеуказанных способов применения, УНТ могут использоваться, например, в качестве фильтров в системах водоподготовки теплоносителя для реакторов АЭС. В водородной энергетике их можно применить в электролизёрных установках для производства водорода (УНТ снизят экологические выбросы при производстве водорода).

#### **Источники**

1. Константинов Г.Г., Арсентьев О.В. Применение наноматериалов и нанотехнологий в кабельной промышленности // Энергетика. 2010. № 2. С. 186-191.
2. Устименко Л., Хандогина Е., Владимиров Д. Наноматериалы для поглотителей электромагнитных волн и защиты информации // Компоненты и технологии. 2010. № 12. С. 144–146.
3. Guangmin Zhou, Kai Liu, Yi Cui, Yayuan Liu. Design of Complex Nanomaterials for Energy Storage: Past Success and Future Opportunity // Accounts of Chemical Research. 2017.
4. Щегольков А.В., Щегольков А.В., Плотницкий И.О. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов для солнечных энергетических установок // Вестник аграрной науки дона. 2017. №4 (40). С. 46–52.
5. Байков И.Р., Смородова О.В., Трофимов А.Ю., Кузнецова Е.В. Экспериментальное исследование теплоизоляционных наноматериалов на основе аэрогелей // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Т. 11. С. 462–477.

## ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ МЕТАЛЛИЧНОСТИ И КОВАЛЕНТНОСТИ ГОМОЯДЕРНЫХ СВЯЗЕЙ НА ЧИСЛО ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРУ ИХ СОЕДИНЕНИЙ

Г.А. Чичкова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
sam.monsters.sm@gmail.com

Науч. рук. канд. хим. наук, доц. Р.О. Сироткин, д-р техн. наук, зав. каф. О.С. Сироткин

В настоящей работе была сделана попытка системного изучения влияния соотношения металличности и ковалентности гомоядерных связей на число химических элементов и структуру их соединений. Показано как преобладание одной из компонент над другой влияет на количество элементов и связей в структуре и как это может позволить точнее прогнозировать свойства и области применения.

**Ключевые слова:** степень ковалентности, степень металличности, локализация–делокализация обобществленных электронов, число элементов.

Традиционно структуру и свойств веществ и материалов связывают с их элементным составом, без учета влияния особенностей их химической связи. Однако достаточно часто вещества и материалы с одинаковым химическим составом имеют разную структуру и свойства, например алмаз, графит, графен или фуллерены. Таким образом, дополнительный учет комплексного влияния состава и типа химической связи, является необходимым условием для более точного прогнозирования структуры и свойств веществ и материалов. Однако существует проблема адекватной оценки разницы в типе химических связей, так как большинство их являются не 100 % ковалентными, металлическими или ионными, а смешанными между ними.

Объектом исследования являются гомоядерные химические связи различных элементов периодической системы Д.И. Менделеева (ПС), которые в рамках единой модели, развиваемой научной школой О.С. и Р.О. Сироткиных [1–4] представляют собой «смесь» ковалентной и металлической составляющих (компонент) выражаемой, через соотношение степени металличности ( $C_M$ ) и ковалентности ( $C_K$ ) в виде  $C_M/C_K$ . Увеличение  $C_M$  и уменьшение  $C_K$  гомоядерных связей в ряду элементов ПС приводит к «вырождению» химической связи, определяя изменение числа элементов ( $n$ ), структуры и свойств соединений, переходя от низко- к олиго-, высокомолекулярным и полимерным телам и далее к немалекулярным – металлическим.

Целью настоящей работы является попытка системного изучения влияния соотношения  $C_M/C_K$  гомоядерных связей элементов ПС на их число ( $n$ ) в соединениях при трансформации структуры веществ. от низкомолекулярной к полимерной – высокомолекулярной (ВМС) и далее - металлической.

Как ранее было показано [1–4], что при увеличении  $C_M$  и уменьшении  $C_K$  происходит трансформация структуры веществ и переход от молекулярных к немолекулярным соединениям. В преимущественно ковалентных связях имеет место быть более сильная локализация ОЭ в межъядерном пространстве, что обеспечивает наличие у этих связей таких свойств, как направленность и насыщенность. То есть это сильная межъядерная связь характеризуется возможностью присоединить к себе только ограниченное число элементов, обычно от 2 до 4, приводя к образованию низко-, олиго- и высокомолекулярных структур или полимерных тел, в отличие от преимущественно от металлических связей.

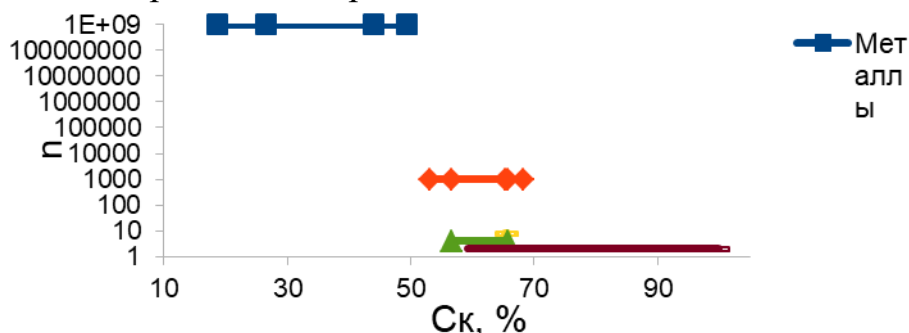
Значение  $C_M/C_K$  и  $n$  в металлических и неметаллических высокомолекулярных (ВМС) и низкомолекулярных соединениях элементов

	$C_M/C_K$ , %	$n$	
$C_{SM}$	91,41/18,59	1000000000	Металлы
$Ca_M$	73,49/26,51	1000000000	
Fe	55,98/44,02	1000000000	
Cu	50,67/49,33	1000000000	
As	46,84/53,16	1000	Полимеры – ВМС
C	31,65/68,35	1000	
P	43,38/56,62	1000	
S	34,25/65,75	1000	
Se	34,71/65,29	1000	
$S_8$	34,25/65,75	8	Низкомолекулярные соединения
$Se_8$	34,71/65,29	8	$n=8$
$P_4$	43,38/56,62	4	$n=4$
$S_4$	34,25/65,75	4	
$I_2$	40,76/59,24	2	$n=2$
$Br_2$	28,94/71,06	2	
$N_2$	21,2/78,8	2	
$O_2$	10,6/89,4	2	
$F_2$	0/100	2	

Из таблицы следует, что с уменьшением  $C_K$  и увеличением  $C_M$  гомоядерных связей число элементов в структуре рассмотренных веществ снизу вверх, начиная с  $F_2$  и кончая типичными металлами, типа  $Cs_M$  закономерно изменяется в ряду веществ: низко-, олиго-, высокомолекулярные, полимерные тела и немолекулярные – металлические, с 2 до 4, 8, далее условно 1000 и до практически бесконечности 1000000000.

На рисунке ниже представлен характер распределения веществ с различным количеством чисел элементов химической структуры ( $n$ ) от  $C_K$  в гомоядерных соединениях. Если сравнивать полимерные тела с олиго- и макромолекулы (ВМС), то в первых соотношении  $C_M/C_K$  характеризуется небольшим преобладанием степени ковалентности над металличностью. Это приводит к тому, что число элементов в структуре ВМС все ещё конечно, но намного выше 8.

В немолекулярных – металлических гомоядерных соединениях преобладает делокализация ОЭ в межъядерном пространстве, что и приводит к теоретически бесконечному числу элементов в их кристаллической структуре (1000000000) и наличию «электронного газа», который и обеспечивает такие свойства материалов на их основе, как повышенная электро- и теплопроводность, ковкость и т.д..



Зависимость числа элементов химической структуры ( $n$ ) от  $C_K$  в гомоядерных соединениях

Таким образом, соотношение  $C_M/C_K$  в гомоядерных связях через изменение локализации – делокализации ОЭ в межъядерном пространстве оказывает прямое влияние на число химических элементов и структуру соединений на их основе (низко-, олиго-, высокомолекулярные, полимерные тела и немолекулярные – металлические вещества). При переходе от ковалентных низкомолекулярных и полимерных, к металлическим веществам, количество элементов в структуре веществ увеличивается в ряду от 2 до теоретически бесконечности. Это подтверждает вывод, что учет типа смешанной связи имеет важное значение в прогнозировании структуры и свойств веществ и материалов, что в дальнейшем позволит также более четко определять и область их наиболее эффективного практического применения.

## Источники

1. Сироткин О.С. Сироткин Р.О. Химия. М.:, КНОРУС, 2017. 364 с.
2. Сироткин Р.О. Физикохимия гомо- и гетероядерных бинарных веществ и материалов на их основе (особенности комплексного влияния элементного состава химической связи на структуру и свойства). М.: РУСАЙНС, 2018. 238с.
3. Sirotkin R.O., Sirotkin O.S. Metallicity of Chemical Bonds and Its Role in Their Systematization and Effect on the Structure and Properties of Substances // Russian Journal of Physical Chemistry A. 2020; 94 (6). P. 1153-1158.

УДК 517.98

## ГРАДУИРОВКА $C^*$ -АЛГЕБР, ПОРОЖДЕННЫХ СВОБОДНЫМИ ПРОИЗВЕДЕНИЯМИ АБЕЛЕВЫХ ПОЛУГРУПП

А.Ш. Шарафутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

shash1996@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. С.А. Григорян

Работа посвящена исследованию градуировки полугрупповой  $C^*$ -алгебры, порожденной регулярным представлением свободных произведений абелевых полугрупп. Утверждается, что градуировку таких алгебр можно задать с помощью локальной подгруппы свободной группы. Таким образом можно получить абстрактный вариант теоремы Фурье о представлении элемента полугрупповой  $C^*$ -алгебры в виде формального ряда, коэффициенты которого индексированы локальной группой.

**Ключевые слова:** локальная группа, регулярное представление, градуированная  $C^*$ -алгебра, свободное произведение, частичное произведение.

**Необходимые сведения.** Пусть группа  $\Gamma = \Gamma_1 * \dots * \Gamma_n$  есть свободное произведение абелевых групп  $\Gamma_l$ . Каждый элемент  $a \in \Gamma$  представим в виде  $a = a_{j_1} * \dots * a_{j_m}$ , где  $a_{j_k} \in \Gamma_l$ ,  $l = 1, \dots, n$ . Семейство функций  $\{e_a\}_{a \in \Gamma}$ , где  $e_a(b) = \delta_{a,b}$  – символ Кронекера, образует ортонормированный базис в гильбертовом пространстве  $l^2(\Gamma)$ . Определим представление  $\Gamma$  на  $l^2(\Gamma)$ , отображая элементы  $a$  в операторы  $T_a$  такие, что  $T_a(e_b) = e_{a*b}$ .  $C^*$ -алгебру, порожденную операторами  $T_a$ , будем обозначать  $C_r^*(\Gamma)$  и говорить, что эта алгебра порождена регулярным представлением группы  $\Gamma$ .



Пусть  $S$  – полугруппа в  $\Gamma$ , порожденная свободными произведениями полугрупп  $S_j \subset \Gamma_j$ ,  $j=1, \dots, n$ , и  $C_r^*(S)$  –  $C^*$ -алгебра, порожденная регулярным представлением  $S$  на  $l^2(S)$ .

**Частичное представление и расслоение Фелла.**

**Определение 1 [1, 2].** Локальной группой будем называть набор  $G = \{G, G^2, e, m, i\}$ , где  $G$  – дискретное множество,  $G^2$  является подмножеством  $G \times G$ ,  $m: G^2 \rightarrow G$  и  $i: G \rightarrow G$  – отображениями, если выполняются следующие условия:

1) ассоциативность отображения  $m$ , то есть если пары  $(a, b), (b, c) \in G^2$ , то пары  $(m(a, b), c)$  и  $(a, m(b, c))$  принадлежат  $G^2$  одновременно, и  $m(m(a, b), c) = m(a, m(b, c))$ ;

2) существует такой элемент  $e \in G$ , что для любого элемента  $a \in G$  пары  $(e, a), (a, e) \in G^2$ , и  $m(e, a) = m(a, e) = a$ ;

3) для любого элемента  $a \in G$  пары  $(i(a), a), (a, i(a)) \in G^2$  и верно равенство  $m(i(a), a) = m(a, i(a)) = e$ ;

4) если пара  $(a, b)$  принадлежит  $G^2$ , то пара  $(i(b), i(a))$  также принадлежит  $G^2$ , и  $m(i(b), i(a)) = i(m(a, b))$ .

**Определение 2 [3, 4].** Частичным представлением  $G$  называется отображение  $\pi: G \rightarrow A$  на унитарную  $C^*$ -алгебру  $A$ , если выполняются следующие условия:

1) единичный элемент отображается в единичный:  $\pi(e) = I$ ;

2)  $\pi(a^{-1}) = (\pi(a))^*$ ;

3)  $\pi(a)\pi(b)\pi(b^{-1}) = \pi(ab)\pi(b^{-1})$ ;

4)  $\pi(a^{-1})\pi(a)\pi(b) = \pi(a^{-1})\pi(ab)$ .

Естественное вложение  $S$  в  $\Gamma$  порождает изометрию  $J: l^2(S) \rightarrow l^2(\Gamma)$ .

Определим отображение  $\pi: \Gamma \rightarrow B(l^2(S))$  как  $\pi(a) = J^* T_a J$ . В таком случае имеет место следующая лемма.

**Лемма 1.** 1) Отображение  $\pi$  является частичным представлением группы  $\Gamma$ .

2) Семейство  $\mathfrak{g} = \{a \in \Gamma: \pi(a) \neq 0\}$  есть локальная группа в  $\Gamma$ , при этом  $e \in \mathfrak{g}$ .

Для доказательства этой леммы достаточно показать, что если элемент  $a$  представим в виде  $a = b^{-1} * c$ , где  $b \in \Gamma_i$ ,  $c \in \Gamma_j$  и  $i \neq j$ , то тогда  $\pi(a) = 0$ .

**Теорема 2.** Существует градуировка по локальной группе  $\mathfrak{g}$ , то есть семейство банаховых пространств  $\{B_a\}_{a \in \mathfrak{g}}$  из  $C_r^*(S)$ , для которых выполняются следующие свойства:

- 1)  $B_a \cdot B_b \subset B_{a*b}$ , если  $a*b \in \mathfrak{g}$ ;
- 2)  $B_a^* = B_{a^{-1}}$ ;
- 3)  $B_e$  является  $C^*$ -алгеброй;
- 4)  $B_a^* \cdot B_a \subset B_e$ ;
- 5)  $C_r^*(S) = \overline{\bigoplus_{a \in \mathfrak{g}} B_a}$ .

**Теорема 3.** Для любого элемента  $a \in \mathfrak{g}$  существует сжимающее отображение  $F_a : C_r^*(S) \rightarrow B_a$ . В частности,  $F_e$  является условным ожиданием.

### Источники

1. Exel R. Partial Dynamical Systems, Fell Bundles and Applications// Mathematical Surveys and Monographs, 2017. Т. 224. 321 с.
2. Grigoryan S., Kuznetsova A. On a grading of the Cuntz algebra // Lobachevskii J. of Math. 2019. Т. 40. №10. С. 1479-1482.
3. Григорян С.А., Кузнецова А.Ю. Локальные группы и их представления // Известия вузов. Математика. 2020. №6. С. 73-78.
4. Григорян С.А., Кузнецова А.Ю. Об одном классе локальных групп и их представлений // Известия вузов. Математика. 2022. №2. С. 76-82.

УДК 54.01; 666.3

## МИКРОКРЕМНЕЗЕМ – ЭФФЕКТИВНЫЙ МОДИФИКАТОР КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ

А.А. Щетинина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

arichaschet@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.А. Женжурист

В статье представлена информация о структуре, свойствах и областях применения керамических композиционных материалов с использованием аморфного кремнезема, использовании его для производства материалов в различных областях промышленности. Показана особенность строения микрокремнезема. Дисперсность микрокремнезема в наноразмерном уровне позволяет получать материалы с особыми, экстремальными свойствами, особо низкой теплопроводностью и повышенной прочностью.

**Ключевые слова:** микрокремнезем, модификатор, керамика, композит.

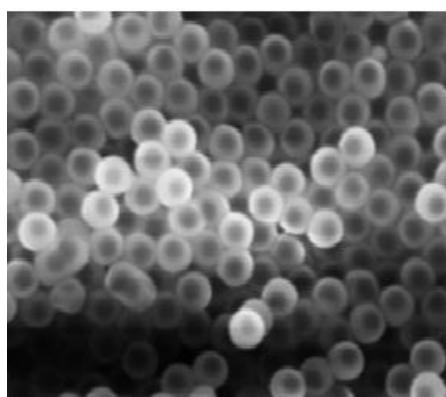
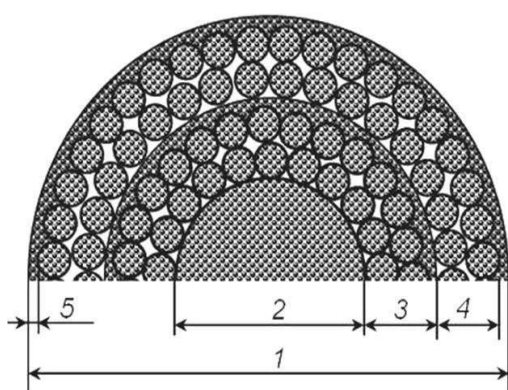
Наноструктурированные композиты на керамической основе отличаются особыми, часто экстремальными физико-механическими и специальными свойствами, которые начинают проявляться в материале при достижении размеров элементов структуры менее определенного для каждого материала критического размера [1].

Особые свойства таких материалов находят применение в различных областях техники, например, в энергетике для хранения водорода [2] и вызывают большой интерес исследователей к нанотехнологии в материаловедении [3].

Исследования показали, что наноструктурированный композит на керамической основе можно получить, если добавить в сырьевую смесь наноразмерный модификатор, способствующий формированию высокодисперсной структуры керамического композита в процессе обжига и при проведении спекания в условиях высокочастотного электромагнитного нагрева [4].

Для получения наноструктурированного керамического композита в качестве модификатора природных алюмосиликатов представляет особый интерес микрокремнезем, который в отличие от традиционного кварцевого песка представляет собой высокодисперсный материал с размером частиц в виде микросфер аморфного кремнезема размером от 0,01 до 0,7 мкм [5].

Наряду с различными формами коллоидных и микрогенных форм кремнезема (порошков, золь, гелей) микрокремнезем широко представлен на рынке кремниевого сырья. Он является отходом высокотемпературного производства кристаллического кремния и кремниевых сплавов. Сферические частицы микрокремнезема состоят из субчастиц размером 5–10 нм (см. рисунок). Благодаря высокой поверхности раздела, наличию наноразмерных пустот в сферической частице, введение микрокремнезема в сырьевую массу керамического композита придает ему свойство высокоэффективного теплоизоляционного материала в широком диапазоне температур [6].



а [5]

б [6]

Строение микрокремнезема

Высокая дисперсность и аморфный фазовый состав микрокремнезема определяет его повышенную химическую активность, что определяет перспективу использования его при получении керамических нанокомпозитов из природного алюмосиликатного и силикатного сырья, таких как силикатные стекла, бетон, огнеупоры, теплоизоляционные материалы, грубая и тонкая керамика [5].

Исследования влияния различных форм аморфного кремнезема показали повышенную реакционную активность микрокремнезема и возможность на его основе получения керамического материала высокой прочности. Обнаружено, что использование микрокремнезема в присутствии легкоплавкой соли NaCl, способствующей в температурном диапазоне разложения глинистых минералов образовывать жидкую фазу. Это приводит к образованию стеклофазы и формированию структуры композита, отвечающей повышенной прочности материала.

#### **Источники**

1. Khalaf M.M., Ibrahimov H.G., Ismailov E.H. Nanostructured materials: importance, synthesis and characterization - a review // Chemistry Journal. 2012. Т. 2. № 3. С. 118-125.

2. Фатеев В.Н., Алексеева О.К., Коробцев С.В. и др. Проблемы аккумуляирования и хранения водорода // Chemical Problems. 2018. Т.16. № 4. С. 453-483.

3. Hadjipanayis G.C., Prinz G.A. Science and Technology of Nanostructured Magnetic Materials // Springer. 2013. С. 477-582.

4. Лукуткова Н.П., Пыкин А.А. Устойчивость нанодисперсных добавок на основе метакаолинита // Стекло и керамика. 2014. № 11. С. 7-11.

5. Неверов В.А., Нищев К.Н., Селяев В.П., Панков А.А. Исследование наноструктуры конденсированного микрокремнезема методом малоуглового рентгеновского рассеяния // Прикладная физика. 2013. № 4. С. 38-42.

6. Сухинина Н.С., Масалов В.М., Жохов А.А. и др. Исследование полых наночастиц диоксида кремния методами электронной микроскопией // VI школа молодых ученых: сб. тр. XXVIII Российская конференция по электронной микроскопии. 2020. С. 92-93.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛЮРОНИКА F-127 В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРГАТОРА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Я.С. Янушевская<sup>1</sup>, А.О. Макарова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>2</sup>КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

<sup>1</sup>ynushevskaya@mail.ru, <sup>2</sup>tat355@mail.ru

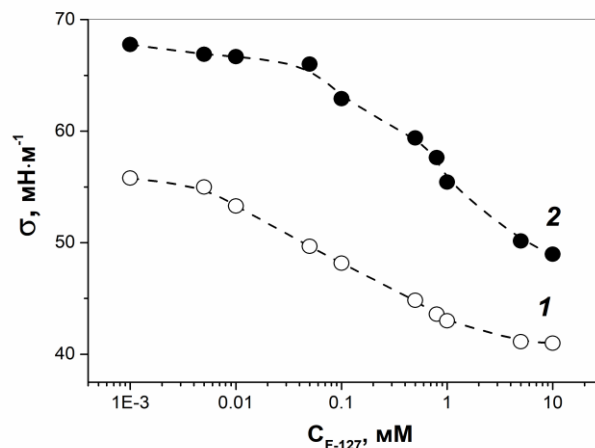
Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, проф. О.С. Зуева

Методом тензиометрии были изучены концентрационные зависимости поверхностного натяжения растворов полуксамера P407 (Pluronic F-127) и суспензий углеродных нанотрубок в указанных растворах. Показано существование взаимодействия молекул блок-сополимеров с поверхностью многостенных углеродных нанотрубок отечественного наноматериала Таунит, предотвращающего их повторное слипание. Проанализированы изменения, происходящие в системе УНТ/ПАВ/вода при изменении концентрации ПАВ.

**Ключевые слова:** блок-сополимеры, мицеллы, ПАВ, поверхностное натяжение, углеродные нанотрубки.

Углеродные наночастицы, в частности углеродные нанотрубки (УНТ), используются для улучшения функциональных характеристик материалов, их механических и электропроводящих свойств [1, 2]. Создание современных наноконпозиционных материалов требует решения вопросов эффективного диспергирования УНТ и получения однородных суспензий в растворах определенных поверхностно-активных веществ (ПАВ). Полуксамер P407 (торговое название Pluronic F-127) представляет собой ПАВ, амфифильная природа которого обусловлена особенностями строения его молекул, являющихся триблок-сополимерами. Водный раствор F-127 является перспективным кандидатом на роль диспергатора УНТ, поскольку триблок-сополимеры могут эффективно адсорбироваться на гидрофобную поверхность УНТ, изолируя часть поверхности нанотрубок, препятствуя тем самым слипанию УНТ. Понимание процесса взаимодействия молекул триблок-сополимера с поверхностью УНТ предоставляют ценную информацию о процессах, происходящих в системе УНТ/ПАВ/вода и о возможных механизмах адсорбции.

В данной работе с помощью тензиометра Krüss K06 методом отрыва кольца Дю Нуи было исследовано поверхностное натяжение растворов плуороника F-127 и суспензий УНТ на основе данного раствора в широком интервале концентраций при комнатной температуре (23°C). В качестве многостенных углеродных нанотрубок использованы УНТ серии «Таунит».



Концентрационная зависимость поверхностного натяжения в водных растворах плуроника F-127 (1) и в суспензиях с УНТ (2) при  $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$

Концентрационная зависимость поверхностного напряжения позволяет изучить особенности ассоциации F-127. Сравнение кривых поверхностного натяжения в растворах (1) и в суспензиях УНТ (2) показывают наличие взаимодействия гидрофобных цепей F-127 с поверхностью УНТ. Молекулам F-127 выгоднее располагаться в связанном состоянии с УНТ, а не на поверхности раздела вода/воздух. Поэтому при малых концентрациях его молекулы эффективно адсорбируются поверхностью УНТ и уходят внутрь воды, приводя значение поверхностного натяжения ближе к значению воды ( $\sigma \approx 72,4\text{ мН}\cdot\text{м}^{-1}$ ).

### Источники

1. Parveen S., Rana S., Fanguero R., Paiva M.C. Characterizing dispersion and long term stability of concentrated carbon nanotube aqueous suspensions for fabricating ductile cementitious composites // Powder Technology. 2017. Т. 307. С. 1–9.

2. Макарова А.О., Зуева О.С. Богданова Л.Р. и др. Биотехнологические приемы использования полисахаридных гидрогелей для доставки витаминов и диагностических маркеров // Бутлеровские сообщения. 2021. Т. 10. С. 147–155.

## Секция 5. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.316.7

### ВЛИЯНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ

А. Альзаккар<sup>1</sup>, Н.П. Местников<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>2</sup>ФГАОУ ВО СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск

<sup>1</sup>Ahmadalzakkar86@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. И.М. Валеев

Целью исследования является выполнение исследований направленных на разработку эффективных методов и средств повышения надежности электроснабжения предприятий с непрерывными технологическими процессами на базе современных накопителей электроэнергии. Областью применения данного исследования является изучения возможности применения ионисторов в виде накопителей энергии в целях компенсации пиковых нагрузок в электроэнергетической системе.

**Ключевые слова:** накопитель, мощность, нагрузки, ионистор.

На базе электротехнической лаборатории Института электроэнергетики Казанского государственного энергетического университета проведены натурные исследования по изучению особенностей работы комбинированной энергоустановки на базе электрохимических ионисторов с повышенной электро- и энергоемкостью [1].

На рис. 1. представлен схема подключения суперконденсатора (НЭ) к системе постоянного тока электростанции или подстанции.

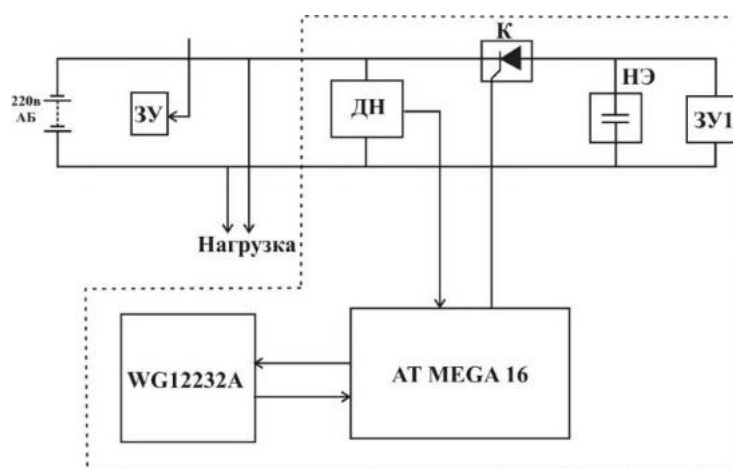


Рис. 1. Схема подключения суперконденсатора (НЭ) к системе постоянного тока электростанции

Исследования проводились с использованием традиционных аккумуляторных батарей и выпрямительных преобразователей Казанской ТЭЦ-2 в комплексе электрохимических конденсаторов (ЭК) типов:

*CAPACITOR* 14 pp – 0,5 / 0,015

$R_1 = 1,73[\text{Ом}]; R_2 = 1,49[\text{Ом}]; R_3 = 1[\text{Ом}]; R_4 = 0,56[\text{Ом}]; R_5 = 0,27[\text{Ом}];$

$C_1 = 2,5[\Phi]; U_{\text{НОМ}} = 14,2[\text{В}]; C_2 = 2,5[\Phi];$

$U_{\text{НОМ}} = 28,4[\text{В}]; C_3 = 1,66[\Phi]; U_{\text{НОМ}} = 42,6[\text{В}]$

Разрядные характеристики (см. табл. 1, 2, рис. 2) определялись посредством применения цифрового запоминающего осциллографа модели «Tektronix P2220 200MHz» [2].

$R_L(\text{Ом})$ : Сопротивление нагрузки;  $P_{\text{потр}}$  (Вт·кВт): Потр мощность;  $C(\Phi)$ : Емкость ионистора;  $t_{\text{зар}}(\text{мс})$ : Время полного заряда до  $U_{\text{НОМ}}$ ;  $t_{\text{раз}}(\text{мс})$ : Время разряда до уровня  $0,9U_{\text{НОМ}}$ ;  $P_A$  (кВт/кг): Расчеты по соответствию удельной мощности в пике для нагрузки;  $P_A$  (кВт/кг): Расчеты по соответствию удельной мощности в пике для нагрузки [3].

Таблица 1

Разрядные характеристики испытуемой системы накопления энергии при  $C_1 = 5[\Phi]; U_{\text{НОМ}} = 14,2[\text{В}]$

$R_L(\text{Ом})$	$P_{\text{потр}}(\text{Вт})$	$C_1(\Phi)$	$t_{\text{зар}}(\text{мс})$	$t_{\text{раз}}(\text{мс})$	$P_A(\text{кВт/кг})$
$R_1 = 1,73$	88,04	5	35	390	1,8
$R_2 = 1,49$	110,76	5	35	280	1,8
$R_3 = 1$	142	5	35	200	1,7
$R_4 = 0,56$	284	5	35	100	1,5
$R_5 = 0,27$	568	5	35	28	0,9

Таблица 2

Разрядные характеристики испытуемой системы накопления энергии при  $C_2 = 2,5[\Phi]; U_{\text{НОМ}} = 28,4[\text{В}]$

$R_L(\text{Ом})$	$P_{\text{потр}}(\text{Вт})$	$C_1(\Phi)$	$t_{\text{зар}}(\text{мс})$	$t_{\text{раз}}(\text{мс})$	$P_A(\text{кВт/кг})$
$R_1 = 1,73$	88,04	2,5	16	180	0,6
$R_2 = 1,49$	110,76	2,5	16	140	0,4
$R_3 = 1$	142	2,5	16	100	0,34
$R_4 = 0,56$	284	2,5	16	60	0,09
$R_5 = 0,27$	568	2,5	16	12	0,03



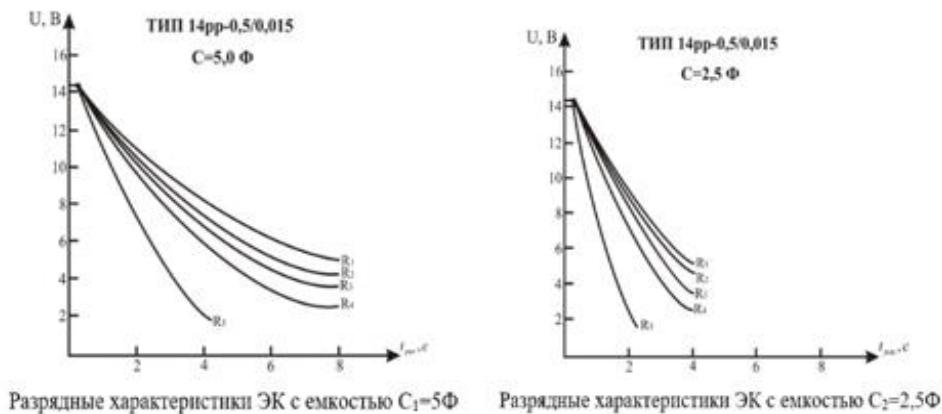


Рис. 2. Разрядные характеристики ЭК

Выполнены исследования по применению системы накопления энергии на основе ионисторов электроэнергии, как средство обеспечения бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей при кратковременных провалах напряжения источника питания. В результате проведения натурных и экспериментальных исследований определено, при соответствующем выборе емкости для конкретной нагрузки энергоемкие ионисторы способны поддерживать напряжение в допустимых пределах в течение времени воздействия кратковременных нарушений электроснабжения.

### Источники

1. Альзаккар А., Местников Н.П. Исследование применения накопителей энергии по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителей // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2022.
2. Альзаккар А., Местников Н.П. Анализ динамического воздействия электрического соединения на устойчивость угла ротора для синхронных генераторов в электроэнергетической системе Сирии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №. 4. С. 120-133.
3. Федотов А.И., Федотов Е.А. Использование электрохимических накопителей энергии в системах автономного электроснабжения для снижения расхода топлива энергоустановок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. С. 3-17.

## ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВА

Г.Р. Валеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

guzel-valeeva-99@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

В настоящей работе проведен анализ количества выбросов углекислого газа при производстве и эксплуатации автомобилей, работающих на различных источниках энергии: бензин/дизель, электроэнергия водород. Проведена оценка количества выбросов, выявлены наиболее экологичные источники энергии для дорожного транспорта. На основании данных о выбросах углекислого газа на стадиях «Производство» и «Эксплуатация», выявлен наиболее и наименее экологичный вид автомобиля.

**Ключевые слова:** электромобиль, водородное топливо, бензин, дизель, экология, углекислый газ, автомобиль.

На сегодняшний день фактором, в значительной степени влияющим на изменения в мировой энергетике и экономике, является климатическая повестка. Одной из ключевых целей в климатической повестке является замедление процесса глобального потепления, а также снижение количества выбросов парниковых газов в большинстве отраслей экономики. В качестве инструмента стимулирования и поддержания низкоуглеродной экономики выступает Парижское соглашение, к короткому Правительство Российской Федерации присоединилось 22 апреля 2016 г. Приняв Парижское соглашение, Правительство Российской Федерации поддержало международные усилия по противодействию изменению климата, охране окружающей среды и рациональному природопользованию [1]. Для поддержания целей Парижского соглашения, Правительство Российской Федерации ведет политику декарбонизации, расширяя среду применения технологии с низким углеродным следом.

Одним из ключевых факторов, воздействующих на климат, являются газы, выделяемые транспортом. Но для того, чтобы полномасштабно оценить воздействие автомобилей на окружающую среду, необходимо определить количество выбросов не только на стадии эксплуатации оборудования, но и также при его изготовлении [2].

То есть для возможности оценить вред окружающей среде от автомобилей, работающих на бензине/дизеле, водороде и электроэнергии, необходима оценка количества выбросов на всем жизненном цикле.

Этапами жизненного цикла, имеющими наибольшее количество выбросов в окружающую среду, являются «Производство», «Эксплуатация», «Утилизация». Ввиду специфичности компонентов автомобилей на водородном топливе и электромобилей, требующих специальных условий для утилизации, стадия «Утилизация» в настоящей работе не рассматривается.

В таблице представлены значения выбросов углекислого газа при производстве и эксплуатации автомобилей на бензине/дизеле, водороде и электроэнергии.

Выбросы углекислого газа при производстве и эксплуатации автомобилей на бензине/дизеле, водороде и электроэнергии

Показатель	Единица измерения	Значение (С)
Стадия «Производство»		
Средний выброс CO <sub>2</sub> на произв. авто на бензине	Тонн	5,5
Средний выброс CO <sub>2</sub> на произв. авто на водороде	Тонн	5,5
Средний выброс CO <sub>2</sub> на произв. авто на эл.-эн.	Тонн	8,1
Стадия «Эксплуатация»		
Средний выброс CO <sub>2</sub> на 1 литр бензина	Тонн	0,0024
Средний выброс CO <sub>2</sub> на 1 кг водорода	Тонн	0
Средний выброс CO <sub>2</sub> на 1 кВт электроэнергии	Тонн	0
Средний выброс CO <sub>2</sub> на 1 литр дизельного топлива	Тонн	0,0026

Для того чтобы оценить суммарные выбросы углекислого газа на стадии «Эксплуатация» автомобиля, следует рассчитать среднюю для автомобиля длительность стадии. На основании данных источников, средний пробег автомобиля в год составляет порядка 15000 км ( $S$ ), а срок его эксплуатации в среднем составляет 15 лет ( $t$ ) [3].

Данные для расчета:

Средний расход бензина на 100 км – 8,0 л;

Средний расход водорода на 100 км – 1,0 кг;

Средний расход электроэнергии на 100 км – 15,0 кВт·ч.

Поскольку на стадии «Эксплуатация» средний выброс углекислого газа для водорода и электроэнергии равен 0, расчет будет проведен для бензина и дизеля [4, 5].

$$V = (t \cdot S \cdot L \cdot C) / 100 = (15 \cdot 15000 \cdot 8 \cdot 0,0024) / 100 = 43,2 \text{ тонн},$$

где  $t$  – период эксплуатации автомобиля;  $S$  – среднегодовой пробег автомобиля;  $L$  – расход топлива на 100 км;  $C$  – количество выбросов углекислого газа.

Исходя из расчетных данных, можно сделать вывод, что наименее экологичными на стадиях жизненного цикла «Производство» и «Эксплуатация» являются автомобили на бензине или дизельном топливе. Наиболее экологичными являются автомобили на водородном топливе и на электроэнергии, поскольку отсутствует выброс углекислых газов на стадии «Эксплуатация». Электромобиль является экологически чистым видом транспорта, поскольку при его эксплуатации не происходит горения, и как следствие, полностью отсутствуют выбросы вредных веществ. Но при этом, электромобиль имеет больший выброс парниковых газов на стадии «Производство». Исходя из этого, можно сделать вывод, что наиболее экологичным транспортом является автомобиль на водородном топливе.

### Источники

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 N 2162-р «Об утверждении Концепции развития водородной энергетики в Российской Федерации». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/608226547> (дата обращения 12.03.2022).

2. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Разакова Р.И. Электрохимические технологии для автомобилей на водородном топливе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021.

3. Журнал «Движок. Про автомобили в деталях» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/eS8CJ> (дата обращения 12.03.2022).

4. Стоимость владения электромобилем против бензинового автомобиля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electro.asia/ru/investments/electro-vs-fuel/> (дата обращения 12.03.2022).

5. Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/eS8MM> (дата обращения 12.03.2022).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИНФОТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СОВРЕМЕННОМ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Е.А. Вострецов<sup>1</sup>, В.М. Сафиуллина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», <sup>2</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань

<sup>1</sup>evostretsov@gmail.com, <sup>2</sup>venera.12361@gmail.com

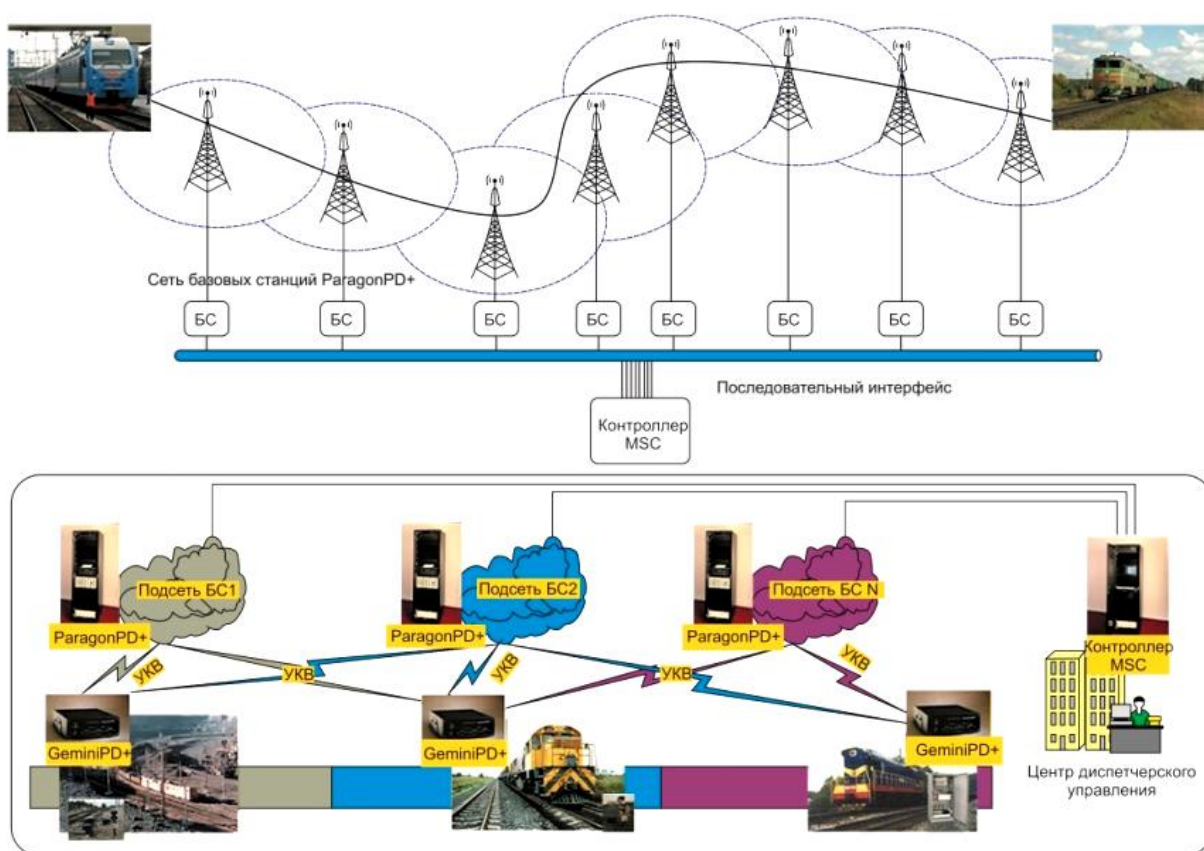
Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. П.П. Павлов

В тезисе рассмотрены вопросы взаимодействия и обмена информационными данными между элементами, системами и устройствами на современном высокоскоростном железнодорожном транспорте.

**Ключевые слова:** высокоскоростной, транспортный комплекс, автоматизированный, подвижной состав, конвенциональный, эксплуатация, обслуживание, связь.

Надежность и безопасность, при эксплуатации современного высокоскоростного железнодорожного транспорта является основной из задач перевозочного процесса. Расположение и монтаж и последующая коммутация оборудования на высокоскоростном подвижном составе должны обеспечивать безопасность обслуживающего персонала при эксплуатации, осмотре, техническом обслуживании и ремонте [1]. Требования к эксплуатации высокоскоростного железнодорожного транспорта в части обеспечения безопасности движения устанавливаются законодательством Российской Федерации о железнодорожном транспорте [2]. Синхронизацию и взаимодействие друг с другом систем, элементов и устройств подвижного состава предполагает использование различных информационных каналов связи [3]. Так, например, для поддержания регулярности интервального движения поездов метрополитена, такой комплекс задач и технических средств на каждом подвижном составе должен обеспечивать выработку и передачу определенных команд, как для диспетчерского пункта, так и для позади идущего поезда информируя о своей фактической скорости, координатах «головой» и «хвоста», исправности функционирующих поездных устройств. Таким образом, определяя поездную ситуацию на линии, идущий позади поезд должен гарантированно получать от впереди идущего информацию, с последующей передачей для дальнейшего автоматизированного регулирования перевозочного процесса [4].

Повышенная ответственность и безопасность на высокоскоростном железнодорожном транспорте должна соответствовать требованиям и выполняться полностью при создании конвенциональной технологической сети, обеспечивающей функциональность автоматизированной системы диспетчерского управления, а так же иметь полное (двойное или тройное) дублирование. Такая схема применена в системе диспетчерского управления на одном из предприятий промышленного железнодорожного транспорта. Упрощённая схема технологической сети обмена данными, используемой в системе диспетчерского управления и интервального регулирования, представлена на рисунке.



Упрощённая схема технологической сети обмена данными, используемой в системе диспетчерского управления и интервального регулирования

На данной основе, наличие квалифицированных специалистов, микропроцессорной техники, информационных технологий, связи и высокоскоростных сетей передачи данных будет способствовать переходу транспортной промышленности на новый уровень развития, где решается задача многих производственных процессов и инструментальных средств [5, 6].

Согласно принятой Транспортной стратегии до 2035 г. сформулирована необходимость достижения национальных целей развития, как обеспечение связанности транспортных артерий страны, так и эффективной перевозки грузов, доступных и качественных перевозок для пассажиров. Интегрирование транспортной системы в мировую транспортную сеть при сохранении безопасности всего транспортного комплекса, который оказывает непосредственное влияние на стандарты и тренды инновационной повестки, которая определяет условия функциональности и является драйвером для многих отраслей экономики, который влияет на возможности для ресурсов и людей передвигаться быстро, комфортно и безопасно [7].

### **Источники**

1. Технический регламент ТС «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» (ТР ТС 002/2011) от 15.07.2011 г. № 710.

2. Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» от 10.01.2003 № 17-ФЗ.

3. Гизатуллин Р.М., Павлова Э.И., Мухаммадиев А.А. Помехоустойчивость вычислительной техники при воздействии электромагнитных помех по сети электропитания // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3 (43).

4. Медуницын Н.Б., Малинин О.В. Автоматизированная система управления, диагностики и безопасности движения вагонов метро нового поколения «Витязь». Жуковский, 2006.

5. Насыров И.К., Андреев В.В. Моделирование информационного канала с использованием хаотических сигналов нелинейных динамических систем // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 4. С. 79-87.

6. Маргарян С., Саруханов В., Шелухин А. Технологические радиосети обмена данными // Беспроводные технологии. 2013. №1 (30).

7. Стенограмма доклада министра транспорта Российской Федерации «Об основных параметрах, целях и задачах Транспортной стратегии 2035» на заседании Правительства РФ от 20.03.2020 г.

## РАЗРАБОТКА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОДНОКОНТУРНОГО СКОРОСТНОГО СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

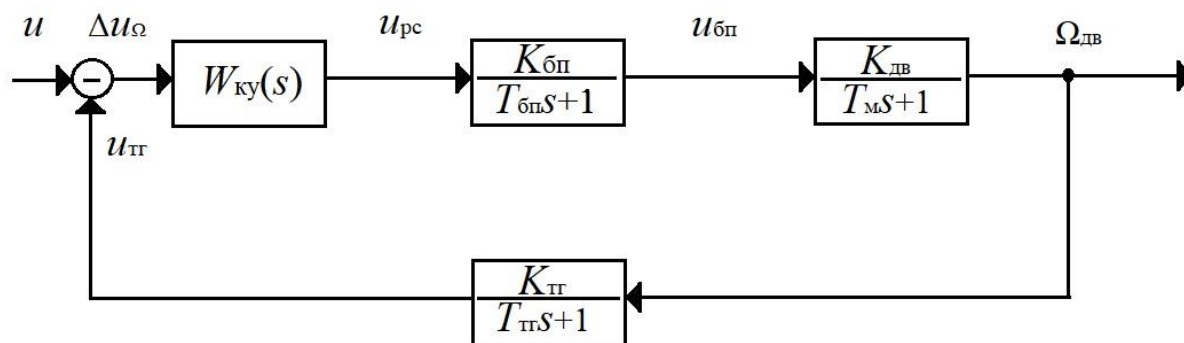
Т.А. Гатиятуллин  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
www.rexi@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.М. Бутаков

Проведена разработка регулятора скорости одноконтурного скоростного следящего электропривода постоянного тока при помощи методов стандартных настроек и логарифмических амплитудно-частотных характеристик, выявлены преимущества и недостатки каждого из них.

**Ключевые слова:** электродвигатель, динамическая модель, оптимум по модулю, симметричный оптимум, контур скорости, регулятор скорости.

Одноконтурный скоростной следящий электропривод постоянного тока (см. рисунок) состоит из корректирующего устройства, блока питания, электромеханической части двигателя и тахогенератора. [1] Настройка данного привода может быть произведена при помощи корректирующего устройства, разработанного с применением метода стандартных настроек или метода логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) [2].



Одноконтурный скоростной следящий электропривод постоянного тока

Сначала произведена настройка электропривода на оптимум по модулю и симметричный оптимум. Передаточные функции рассчитанных корректирующих устройств для настройки на оптимум по модулю (1) и симметричный оптимум (2) представляют собой пропорционально-интегральные регуляторы [3]:



$$W_{\text{ку}_{\text{ом}}}(s) = \frac{(T_M s + 1)}{K_{\text{бп}} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ТГ}} 2T_{\Sigma} s} = \frac{0,0472s + 1}{0,0721s}, \quad (1)$$

$$W_{\text{ку}_{\text{со}}} = \frac{(4T_{\Sigma} s + 1)T_M}{8T_{\Sigma}^2 s \cdot K_{\text{бп}} K_{\text{ДВ}} K_{\text{ТГ}}} = \frac{0,00264s + 0,655}{0,0404s}. \quad (2)$$

Проведена оценка качества процесса управления при различных видах задающих воздействий (постоянном, линейно возрастающем и квадратично возрастающем).

Далее произведена настройка электропривода с помощью метода ЛАЧХ путем построения ЛАЧХ неизменяемой части электропривода и желаемой ЛАЧХ с целью определения ЛАЧХ корректирующего устройства [4]. Рассмотрены два варианта настроек с корректирующими устройствами первого порядка (3) и второго порядка (4).

$$W_{\text{ку}}(s) = \frac{(T_2 s + 1)}{(T_3 s + 1)} = \frac{0,0061s + 1}{0,004s + 1}, \quad (3)$$

$$W_{\text{ку}}(s) = \frac{(T_{3\text{ж}} s + 1)(T_1 s + 1)}{(T_{1\text{ж}} s + 1)(T_{2\text{ж}} s + 1)} = \frac{0,0002s^2 + 0,052s + 1}{0,00061s^2 + 0,1061s + 1}. \quad (4)$$

Такие передаточные функции, представляющие собой комбинацию аperiodических и форсирующих звеньев, могут быть реализованы с помощью дифференцирующих  $RC$ -контуров первого и второго порядка соответственно [5].

Для электропривода с такими корректирующими устройствами также проведена оценка качества процесса управления при различных видах задающих воздействий (постоянном, линейно возрастающем и квадратично возрастающем).

На основе проделанных исследований можно сделать вывод о том, что метод ЛАЧХ является более универсальным, поскольку предоставляет большую свободу действий в выборе требуемых показателей качества, в отличие от метода стандартных настроек, который обеспечивает определенные, заранее известные показатели качества.

## Источники

1. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода: учеб. пособие; 3-е изд. М.: Изд. дом МЭИ, 2007. 162 с.
2. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник; 3-е изд. М.: Изд. Центр Академия, 2013. 288 с.
3. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-практ. конф. №3. Самара, 2016. С. 141–144.
4. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-практ. конф. № 3. Омск, 2016. С. 175–177.
5. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учеб. пособие; 5-е изд. испр. Ростов н/Д: Феникс, 2004. 480 с.

УДК 681.51

## РАЗРАБОТКА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОДНОКОНТУРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С СИСТЕМОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ

К.А. Головин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

deuceproader@gmail.com

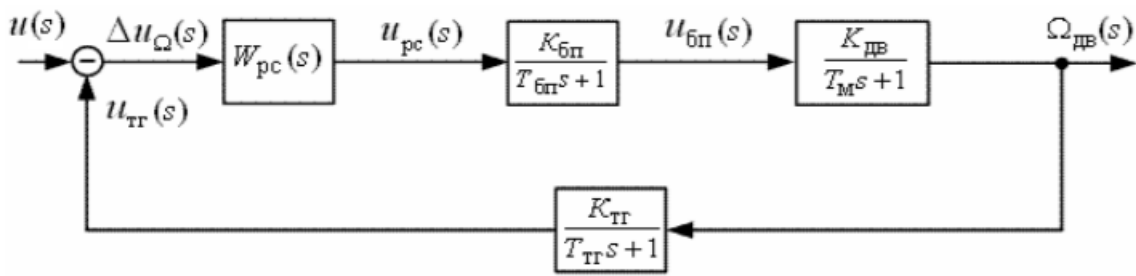
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.М. Бутаков

Проведена разработка корректирующего устройства для одноконтурного электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости с использованием различных методов.

**Ключевые слова:** электропривод, корректирующее устройство, оптимум по модулю, симметричный оптимум, метод ЛАЧХ, контур скорости.

Задача синтеза корректирующего устройства (КУ) сводится к определению его схемы и параметров по известным характеристикам и требованиям к динамическим свойствам проектируемой системы [1].

В исследовании рассмотрен одноконтурный электропривод постоянного тока с системой стабилизации скорости (см. рисунок), состоящий из регулятора скорости, блока питания, электромеханической части двигателя и тахогенератора.



Структурная схема динамической модели контура скорости

В качестве электромеханического преобразователя выбран электродвигатель МИ-31 [2].

Произведена настройка электропривода на оптимум по модулю (1) и на симметричный оптимум (2).

$$W(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)}, \quad (1)$$

$$W(s) = \frac{(4T_{\Sigma}s + 1)}{8(T_{\Sigma})^2 s^2 (T_{\Sigma}s + 1)}. \quad (2)$$

В качестве корректирующих устройств применены пропорционально-интегральные регуляторы (3)

$$W_{рс} = \frac{K_{рс}(T_{рс}s + 1)}{T_{рс}s}. \quad (3)$$

Регуляторы имеют следующие параметры:

при настройке на оптимум по модулю (ОМ)

$$K_{рс}=3,16;$$

$$T_{рс}=0,081 \text{ с.}$$

при настройке на симметричный оптимум (СО)

$$K_{рс}=3,16;$$

$$T_{рс}=0,032 \text{ с.}$$

Проведена оценка качества процесса управления по переходным характеристикам при различных видах задающих воздействий (постоянном, линейно возрастающем и квадратично возрастающем).

Для системы, настроенной на ОМ, при ступенчатом воздействии ошибка системы со временем сводится к нулю. При линейно-возрастающем воздействии ошибка принимает постоянное значение. В случае квадратично-возрастающего воздействия ошибка стремится к бесконечности, т.е. система является неработоспособной [3].

Для системы, настроенной на СО, при ступенчатом воздействии и при линейно возрастающем воздействии ошибка сводится к нулю. При квадратично возрастающем воздействии ошибка стремится к бесконечности, т.е. система является неработоспособной [4].

Метод ЛАЧХ позволил при заданных времени регулирования и перерегулировании вычислить по номограмме Солодовникова требуемую частоту среза и построить желаемую ЛАЧХ для того, чтобы определить ЛАЧХ и передаточную функцию корректирующего устройства в виде усилителя с коэффициентом  $K_y$  [5].

После введения корректирующего устройства проведено моделирование системы с построением переходных характеристик и оценкой показателей качества.

На основе проделанных исследований можно сделать вывод, что метод ЛАЧХ хорош тем, что позволяет синтезировать корректирующее устройство, обеспечивающее требуемые показатели качества переходного процесса системы в отличие от стандартных настроек, обеспечивающих стандартные показатели, соответствующие виду настройки.

### Источники

1. Ягодкина Т.В., Беседин В.М. Основы Автоматического регулирования. М.: Юрайт, 2019. 470 с.
2. Симаков Г.М., Кузнецов А.Ю., Зонов П.В. Автоматизированный электропривод: учеб. пособие. Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2015. 81 с.
3. Системы автоматического регулирования и управления: Ч. 1. Практикум / В.М. Бутаков, П.П. Павлов. Казань: Каз. гос. энерг. ун-т, 2017. 27 с.
4. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-практ. конф. № 3. Омск, 2016. С. 175–177.
5. Farid Golnaragni, Benjamin C. Kuo. Automatic Control Systems, Tenth Edition 10th Edition, McGraw-Hill Education, 2017. С. 864.

## СРАВНЕНИЕ СХЕМЫ РАБОТЫ «ПОДЗАРЯЖАЕМОГО» И «МЯГКОГО» ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

А.Р. Зинатуллин<sup>1</sup>, Э.Ф. Валиуллов, С.А. Платонов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>artur\_zinatyullin\_20001@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. О.А. Филина

Главной причиной начала производства гибридных автомобилей стал спрос потребителей на подобные автотранспортные средства, вызванный высокими ценами на топливо и постоянным повышением требований к экологичности машин.

**Ключевые слова:** гибридные автомобили, подзаряжаемая схема, схема мягкого гибрида.

Гибридные автомобили классифицируются по следующим показателям – конструкции электромеханической части силового агрегата. На данный момент выделены следующие виды гибридных схем автомобиля.

Автомобили, в которых используется схема мягкого гибрида, имеют в составе электромотор двойного действия (стартер-генератор), который соединен с бензиновым двигателем внутреннего сгорания (ДВС). Такая схема улучшает динамику автомобиля, снижает расход потребляемого топлива. За счет рекуперации при торможении вырабатывается электроэнергия, которая накапливается в дополнительной батарее небольшой ёмкости [1]. Далее запасенная энергия отдается во время повышенной нагрузки на ДВС.

Данная схема имеет следующие достоинства и недостатки: общее улучшение динамики, относительная дешевизна при производстве и лёгкость внедрения в конструкцию автомобиля, прогнозируемая экономия топлива в пределах 10 %. Большая часть энергии уходит на вращение вала ДВС это есть недостаток этой схемы.

Второй вид автомобилей с комбинированными агрегатами возникли по причине того, что при равномерном движении практически невозможна зарядка батарей, так как зарядка происходит во время торможения. Подзаряжаемая схема предполагает наличие в гибридном автомобиле батареи большой емкости и наличие универсальных разъемов для зарядки. При приемлемой ёмкости батарей и цен на них, гибридные автомобили могут позволить проехать на электрической тяге достаточные расстояния. К положительным сторонам можно отнести значительную экономию топлива (до 70 %) и экологичность [2].

Однако такая схема финансово затратная при производстве, такие гибриды имеют больший вес и имеют большую зависимость от инфраструктуры.

### Источники

1. Сафиуллин Р.Н., Резниченко В.В., Керимов М.А., Сафиуллин Р.Н. Электротехника и электрооборудование транспортных средств: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2019.

2. Анализ конструктивных схем гибридных автомобилей / Н.А. Кузьмин, И.В. Перепеченов, А.А. Беломытцев [и др.] // Молодой ученый. 2020. № 7 (297).

УДК 621-314.212

## ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Д.Т. Юсупов<sup>1</sup>, Х.М. Кодиров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем энергетики АНРУз, г. Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>ФерПИ, г. Фергана, Узбекистан

<sup>2</sup>xusanxonqodirov231@gmail.com

Приведены результаты тепловизионного обследования силового масляного трансформатора. Обследование позволило одновременно определить реальную температуру в девяти местах поверхности трансформатора.

**Ключевые слова:** силовой масляный трансформатор, диагностика, тепловизионное обследование, максимальная температура.

Повышение надежности электрооборудования является актуальной задачей. Трансформаторы являются одним из основных элементов электрооборудования. Чрезмерная эксплуатация силовых трансформаторов поднимает вопрос остаточного ресурса.

Достижение технического состояния трансформатора целесообразно путем выявления неисправностей. Многолетние исследования показали, что 70–80 % всех неисправностей связаны не с выработкой ресурса трансформатора, а с образованием и развитием неисправностей внутри трансформатора [1]. В настоящее время существуют следующие методы диагностики технического состояния трансформатора [2–4]:

- хроматографический анализ растворимых газов в масле;
- оценка влажности твердой изоляции;
- измерение сопротивления изоляции;
- измерение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции;
- испытание изоляции высоким напряжением;
- оценка состояния коммутационных аппаратов;
- тепловизионное обследование трансформаторов;
- анализ состояние трансформаторного масла.

Тепловизионное обследование является одним из взаимосвязанных методов контроля. Точность анализа результатов при осмотре маслонанополненного оборудования во многом зависит от опыта работы в этой области. Собранные эксперименты позволяют эффективно анализировать тепловое изображение трансформатора.

Тепловидение трансформатора дает информацию о техническом состоянии. Но немного сложно определить, где именно и в каком элементе дефект. Многочисленные исследования показали, что на тепловом изображении виден перепад температур по поверхности трансформатора. Различия в вертикальном положении температур обусловлены естественным и искусственным движением масла. Дефекты обнаруживаются путем сравнения различий в горизонтальном положении поверхности трансформатора.

С целью определения технического состояние эксплуатируемого силового трансформатора проведено тепловизионного обследования. Результаты исследования приведены на рис. 1. Тепловизор позволил одновременно определить реальную температуру в девяти местах поверхности трансформатора, которые были отмечены  $x_{M1} - x_{M9}$ .

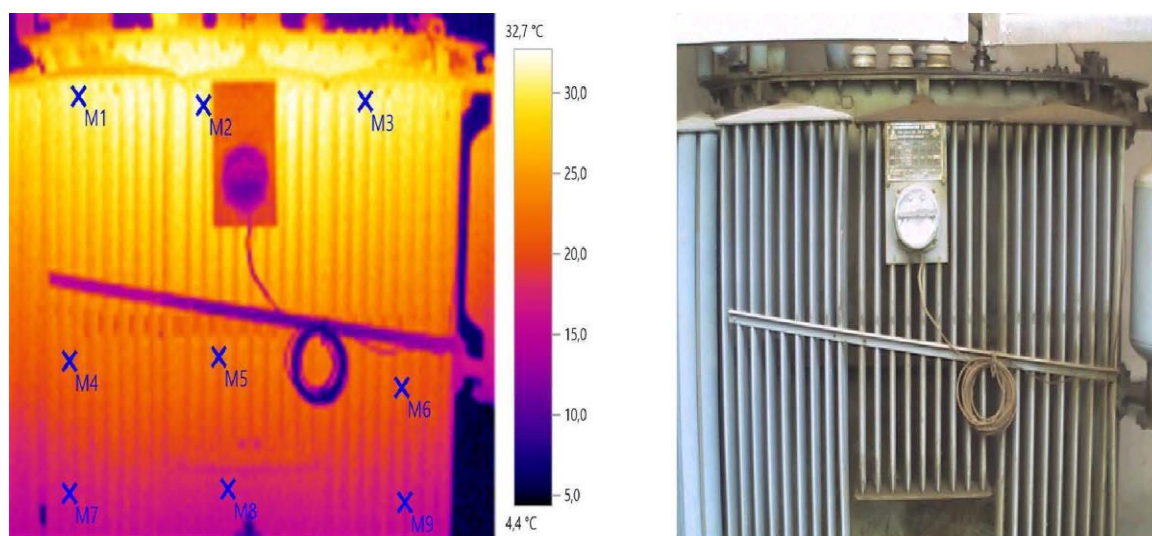


Рис. 1. Термограмма трансформатора

Из рис. 2 видно, что максимальная температура вышеуказанных точек составляет 31,3 °С, а минимальная температура – 30,0 °С. Это означает, что трансформатор работает в состоянии симметрии, либо имеются дефекты трубки или ферромагнитного сердечника.

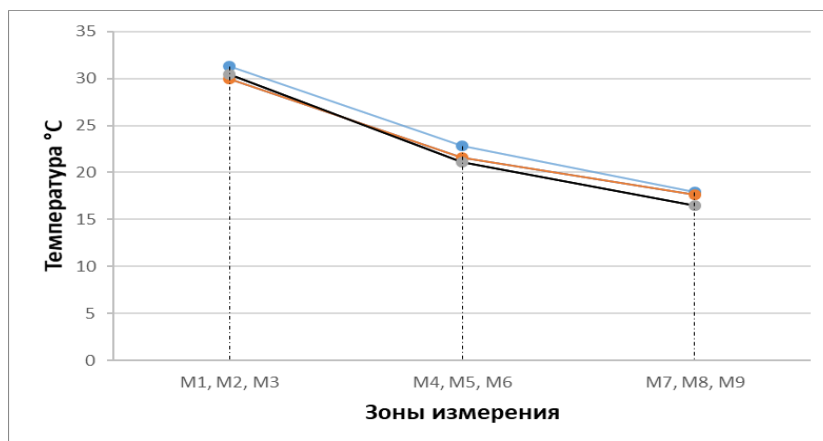


Рис. 2. Температура поверхности трансформатора

Заключение:

1. Для оценки технического состояния масляных силовых трансформаторов целесообразно использовать тепловизионные методы диагностики.

2. Разность температуры по поверхности трансформатора позволяет изучить возникающие в нем дефекты.

### Источники

1. Тюрюмина А.В., Батрак А.П. Современное состояние вопроса диагностики силовых трансформаторов // Современные материалы, техника и технологии. 2015. №3 (3). С. 245-250.

2. Dragan S. Kovacevic, Slobodan P. Skundric, Jelena M. Lukic. Monitoring and diagnostics of power transformer insulation // Thermal science. 2006. Vol. 10. Is. 4. Pp. 43–54.

3. Корнеев А.С., Захарова А.Г. Методы диагностики трансформаторного оборудования // XII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая» 21-24 апреля 2020 г.

4. Шахнин В.А. Методы и средства диагностики высоковольтного оборудования: учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. 99 с.



## ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

М.Ш. Мухаммаджонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФерПИ, г. Фергана, Узбекистан, <sup>2</sup>ИПЭ АНРУз г. Ташкент, Узбекистан

<sup>1</sup>mrmuhammadyusuf0013@gmail.com

Науч. рук. Д.Т. Юсупов<sup>2</sup>

В статье описаны факторы, вызывающие нагрев масляного силового трансформатора М (ONOF) с естественной системой охлаждения и их причины. Выполнен анализ наиболее распространенных неисправностей, влияющих на перегрев трансформатора и надежность трансформатора.

**Ключевые слова:** трансформатор, изоляция, окружающая среда, эксплуатация, нагрев, неисправности, маслосодержание.

Надежность и безопасность электроснабжения производственных предприятий и энергосистем во многом зависят от надежности трансформаторов. Надежность силовых трансформаторов определяется в нормативных документах не менее 25 лет [2]. На сегодняшний день трансформаторы имеют очень высокий КПД около 99 % для номинальных режимов [1]. Анализ многих развитых стран показывает, что большинство существующих трансформаторов находятся в эксплуатации более 30 лет [3, 4]. Например, считается, что около 60 % существующих трансформаторов в Центральной Азии прошли утвержденный нормативный срок [4–6]. Но их обилие и высокая цена делают экономически невозможным их обновление. Поэтому лучше принять меры к продлению их жизни, хотя бы на определенный период времени, чем продлевать их.

При работе трансформаторов часть энергии выделяется в окружающую среду в виде тепла (рис. 1). Такое рассеивание тепла и повышение температуры характерны для работающих трансформаторов. В результате снижается надежность трансформаторов. Выделение тепла в трансформаторах происходит в основном за счет внешних и внутренних воздействий.



Рис. 1. Факторы, влияющие на нагрев силового масляного трансформатора

Из-за этих неисправностей в трансформаторах происходят различные процессы нагрева. В результате пробой изоляционного слоя катушек трансформатора приводит к увеличению количества газа, выделяющегося из масла.

Исследования проводились на 50 трансформаторах марки ТМ. Трансформаторы этого типа основаны на системе охлаждения за счет естественной циркуляции масла и воздуха. Мы провели исследования на масляных силовых трансформаторах, которые находятся в эксплуатации в течение длительного времени. Анализ срока службы трансформатора по годам показан на рис. 2.

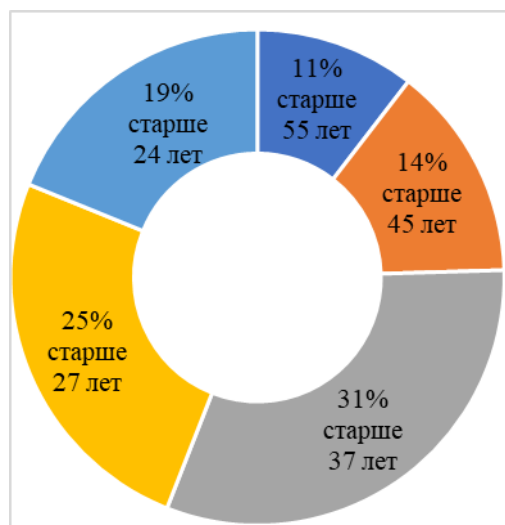


Рис. 2. Анализ силовых трансформаторов с системой охлаждения М (ONAN)

Исходя из этого, можно сделать общий вывод о том, что почти все исследованные трансформаторы с системами охлаждения 50 М (ONAN) отработали свой установленный срок службы. В результате действия внешних и внутренних факторов, перечисленных выше, в активных трансформаторах, находящихся в эксплуатации длительное время, происходит тепловыделение. Это связано с тем, что все элементы трансформатора считаются достаточно старыми. Поэтому, устранив влияющие факторы, можно повысить надежность и продлить срок службы существующих трансформаторов.

### **Источники**

1. А.с. СССР № 1367054 МПК Н 01F 27/22, 1985. Система для использования тепла трансформатора. г.Минск, 2006 г. 2 с.

2. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Межгосударственный стандарт. ИПК Издательство стандартов, 2002. 39 с.

3 Смекалов В.В., Долин А.П., Першина Н.Ф. Condition assessment and life time extension of power transformers (Оценка состояния и продление срока службы силовых трансформаторов). Доклад СИГРЭ. 2002. С. 100-102.

4. Kawamura T., Fushimi Y., Shimato T.I. Improvement in maintenance and inspection and pursuit of economical effectiveness of transformers in Japan. SIGRE. 2002. P. 107-108.

5. Бондаренко В.Е., Аулова Н.В. Анализ традиционной системы оценки состояния трансформаторных масел в баках трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 330 кВ // Вестник «ХПИ», 2010. № 45. С. 38-47.

6. Грунтович Н.В., Жук Е.А. Исследование причин частичных разрядов в силовых маслонаполненных трансформаторах // Вестник ГГТУ, 2019. №4. С. 60-67.

## DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS BASED ON DISSOLVED GAS CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS IN OIL

D.T. Yusupov<sup>1</sup>, H.A. Khamrakulova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of energy problems Academy of Science of Republic of the Uzbekistan

<sup>2</sup>Ferghana Polytechnic Institute

The work is devoted to the study of a power transformer based on chromatographic analysis of dissolved gases in oil. Data were obtained on dissolved gases (hydrogen, methane, ethane, methylene, acetelene) of power oil transformers of various brands with operation for more than 30 years. Particular attention is paid to the graphical presentation of the results of chromatographic analysis of the oil. As a result, the probable expected defects of power transformers were determined.

**Keywords:** power transformer, transformer oil, chromatographic analysis of dissolved gases.

In the oil of a normally operating transformer, the gases that are released from the cellulose insulation and oil during their natural aging are dissolved. As shown by experiments on models, the main gas release occurs from electrical cardboard and paper as a result of exposure to elevated temperature, oxygen and moisture.

Timely assessment of the technical condition of power oil transformers based on chromatographic analysis of dissolved gases in oil is an urgent task of the power industry.

Data were obtained on dissolved gases (hydrogen, methane, ethane, methylene, acetelene) of power oil transformers of various brands with operation for more than 30 years. General information about power oil transformers is given in Table 1.

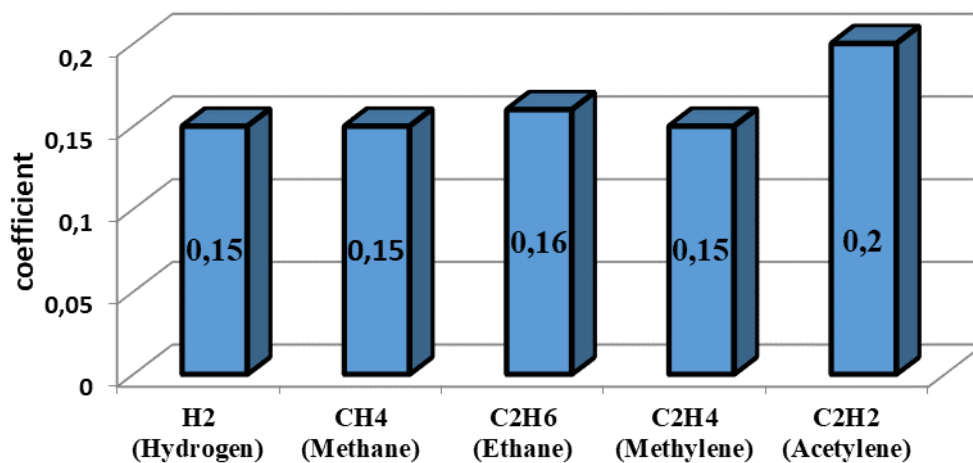
Table 1

General information about the investigated power oil transformers

N	Electrical device	A type	Power, kVA	Voltage, V	Year of operation	Oil volume, t
1	Transformer	TDTN	10000	35	1984 y	30

The methodology in [1] was used for the study, which is the current normative document regulating the diagnosis based on DGChA. The essence of the study is to determine possible defects in the operated power oil transformers.

Based on the methodology [1], the results were obtained for each power transformer on figures. According to the results obtained on the action of gases for the power core, possible defects were detected. The results of assessment of technical state of power transformers based on dissolved gas chromatographic analysis in oil are given in Table 2.



Determination of the fault by the ratio of key gases for a power transformer of the TDTN brand N1

Table 2

The results of assessment of technical state of power transformers based on dissolved gas chromatographic analysis in oil

N	Electro equipment	Expected defects
1	TDTN brand transformer N1	Discharges in gas-filled cavities formed due to incomplete impregnation or insulation humidity.

Studies have shown that power transformers need immediate repair based on their assessment. Timely repair of power oil transformers allows to increase their durability and reliability of power supply to consumers.

### References

1. RD 34.46.303-98. Methodological guidelines for the preparation and conduct of chromatographic analysis of gases dissolved in the oil of power transformers. M.: JSC VNIIE, 1998. 48 p.

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

К.Т. Ле<sup>1</sup>, Х.Ф. Вахитов, Г.Р. Ахсаниев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>thinklk@vlute.edu.vn

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Э. Аухадеев

Рассматривается система управления трехфазными тяговыми асинхронными электродвигателями для городского электрического транспорта. Предлагается структурная схема трехфазного многоступенчатого инвертора с широтно-импульсной модуляцией на базе IGBT транзисторов. Представлены результаты моделирования системы управления с использованием многоступенчатого инвертора в среде MATLAB Simulink.

**Ключевые слова:** городской электрический транспорт, тяговый асинхронный электродвигатель, система управления тяговым электроприводом.

В настоящее время известны преимущества управления тяговым асинхронным электродвигателем с помощью метода прямого управления крутящим моментом и метода управления направлением магнитного потока. При этом ограничение этих двух методов состоит в том, что при большой нагрузке на регулятор отклик магнитного потока и момент колебания значительны и возникают нежелательные гармоники высоких порядком. При этом одним из широко используемых методов ограничения пускового тока является использование инвертора для более плавного пуска двигателя. Перспективным является разработка систем управления использующих сочетание методов управления двигателем и применение инверторов. Объединение трехуровневого инвертора с алгоритмом управления  $U/f$  позволяет предложить метод управления моментом тягового асинхронного двигателя для электромобиля.

Имитационная модель управления трехфазным асинхронным тяговым электродвигателем многоступенчатым инвертором с применением метода прямого управления моментом [1, 2], разработанная в среде MATLAB Simulink, представлена на рис. 1.

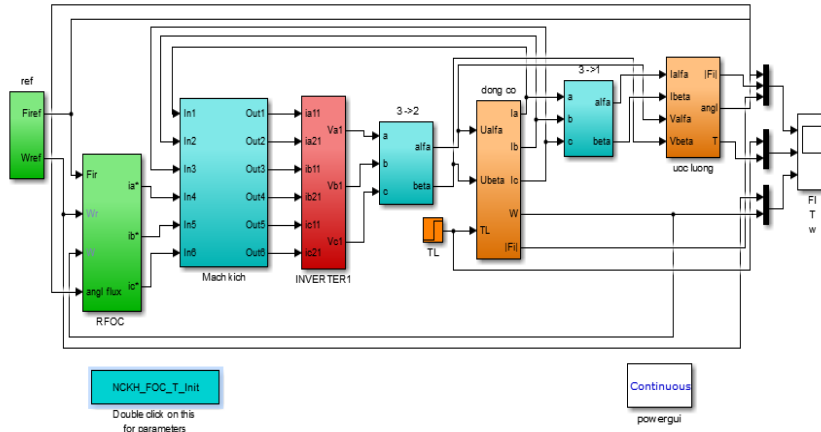


Рис. 1. Имитационная модель прямого управления моментом

Имитационная модель векторного управления крутящим моментом трехфазного асинхронного двигателя с многоступенчатым инвертором [3, 4] представлена на рис. 2.

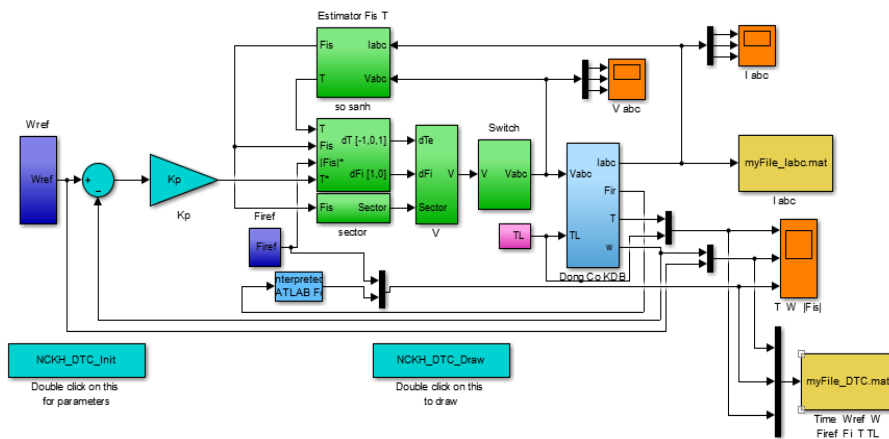


Рис. 2. Имитационная модель векторного управления крутящим моментом

Имитационная модель многоступенчатого инвертора с широтно-импульсной модуляцией для управления трехфазным асинхронным двигателем [1, 5] представлена на рис. 3.

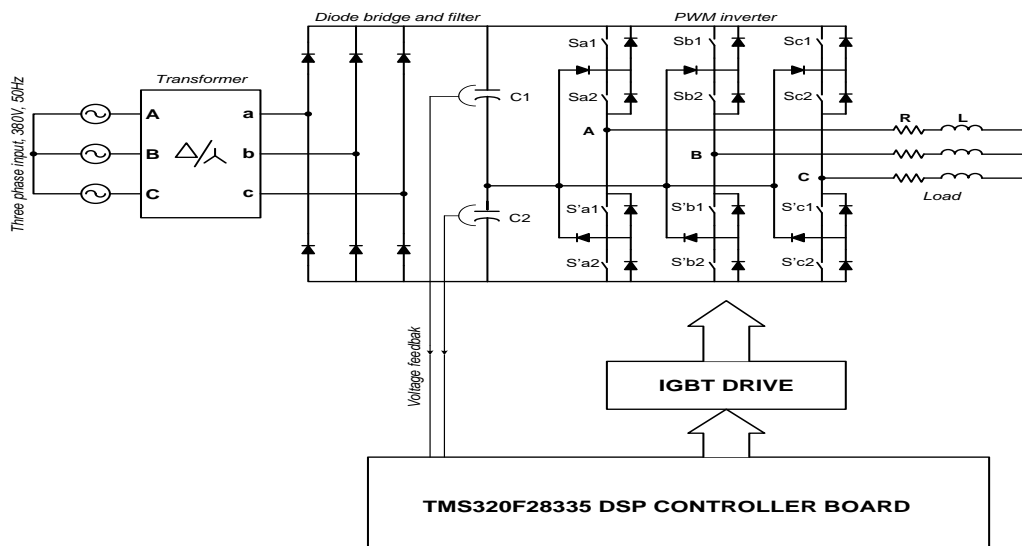


Рис. 3. Схема многоступенчатого инвертора с широтно-импульсной модуляцией

Современный городской электрический транспорт требует поиска новых подходов к построению универсальных систем управления тяговым электроприводом, позволяющем работать электродвигателю в тяжелых условиях эксплуатации, широком диапазоне нагрузок и внешних воздействий, определяемых реальной дорожной обстановкой. Рассматриваемые в статье принципы управления позволят существенно повысить эффективность управления тяговыми асинхронными электродвигателями, используемыми в составе тягового электрооборудования городского электрического транспорта.

### Источники

1. Nguyen Phung Quang. Automatic control of three-phase AC transmission // Educational publishing house, 1996.
2. Nguyen Phung Quang. Matlab & Simulink // Hanoi Science and Technology Publishing House, 2008.
3. Панкратов В.В. Векторное управление асинхронными электроприводами: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. 66 с.
4. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. Харьков, 2004. 210 с.
5. Oscar Barambones, Patxi Alkorta, Aitor J. Garrido, I. Garrido and F.J. Maseda. An adaptive sliding mode control scheme for induction motor drives // 2007. Is. 1. Vol. 1.



## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

М.Р. Миназов<sup>1</sup>, П.С. Лазарев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>marsel02031998@mail.ru, <sup>2</sup>pavel.lazareb@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Н. Хуснутдинов

В работе приводится обоснование использования системы непрерывного мониторинга контактной сети железных дорог. Анализируется имеющаяся система диагностирования состояния контактной сети на отечественных и зарубежных железных дорогах. Рассматривается основная система диагностики и удаленного мониторинга контактной сети, который устанавливается на грузокомпенсатор.

**Ключевые слова:** аналого-цифровой преобразователь, система мониторинга, контактная сеть, мобильный регистратор, несущий трос.

Исследование работоспособности системы электроснабжения, осуществляемая Департаментом электрификации и электроснабжения ОАО РЖД, показывает, что минусом в этой системе выступает контактная сеть, вдобавок, питающие линии устройства сигнализации, централизации и блокировки, а также усиливающие провода.

Контактная сеть представляется основой передачи энергии электроподвижному составу сквозь токоприемник. Так как скорость передвижения поездов увеличивается до 250 и 300 км/ч, растет запрос к параметрам контактной сети, учитывая обновления устройств электроснабжения.

Согласно правилам, положение контактной сети на российских ЖД не контролируется постоянно. Обьезды контролируемого участка, где проверяется состояние обслуживаемых устройств, происходит 1 раз в месяц, параметры устройств вагона-лаборатории измеряются 1 раз в 3 месяца, а верховой контроль состояния провода и несущего троса с площадки автотормосы либо со съемной вышки выполняется 1 раз в год.

Большинство поломок подвески контактной сети провоцируют сдвиг расположения грузов на анкерных опорах. По перемещению груза можно обнаружить провисание контактного провода за пределы норм, а также обрыв несущего троса и падение сторонних объектов, изменение окружающей среды и ветровых нагрузок, это покажет опускание или подъем груза [5].

Основной системой диагностики и удаленного мониторинга контактной сети (СДУМКС) является установленный на грузокомпенсатор мобильный регистратор для фиксации линейных перемещений несущего троса [4]. В корпусе регистратора поставлены детекторы вибрации, температуры, измеритель звуковой эмиссии. В нем имеются аналого-цифровым преобразователем (АЦП), микроконтроллер и блок приемопередачи. Питание происходит в автоматическом режиме [1]. Элементы питания служат 1 год. Датчики работают в диапазоне от – 50 до +60 °С.

СДУМКС, средство диагностики и мониторинга, основывается на иерархической структуре. Всеми уровни хозяйства энергоснабжения на ЖД управляет система, которая охватывает последующие этапы:

– Этап 1 (нижний) – линейный пункт (анкерный участок). В этом этапе исполняются последующие функции: непрерывный прогноз изменение несущего троса и контактного провода в данный момент, с помощью автоматической системы; АЦП данных; сохранение информации и последующая передача на второй этап (опорный участок); тест аппаратуры контроля.

– Этап 2 – опорный участок (ЭЧК). На уровне ЭЧК расположен главный центр диагностики и мониторинга (ЦПДМ), способствующий: сбору, длительному хранению информации, и её обработке, которая поступает с центров диагностирования; на АРМ-ЭЧК фиксируется информация (выявление отказов и предотказов, протоколирование); выявление неисправностей в случае их возникновения; хранение информации, и её ведение; вывод всей информации по отказам для дальнейшей передачи диспетчеру, регистрация и анализ отказов [2]. Сотрудники, руководящие аналитическим оборудованием, с помощью приобретенных данных и наблюдением за техническим состоянием устройств, предлагают действия по планированию результата технического состояния и ремонта устройств контактной сети «по состоянию».

– Этап 3 – центральный пост Службы электрификации и энергоснабжения. На путевом центре управления транспортировками находится центр анализа и прогноза устройств контактной сети, содержащий: совокупный анализ работоспособности контактной сети на дороге на основе исследовательских материалов; организация баз данных, которая принимает управленческие решения; управление нормативной и справочной информацией [3]. Инженерно-технический штат обеспечивает надежную работоспособность при помощи управления ресурсами.

Вывод: при опытном использовании системы СДУМКС выявилось, что непрерывный контроль состояния контактной сети в автоматическом режиме помог выяснить граничные значения регулируемых параметров контактной сети, благодаря чему были заранее приняты меры для устранения отказов. В следствии снижение расходов из-за исключения простоя поездов в результате отказов.

### **Источники**

1. Бодров П.А., Вдовина Е.Е., Стогний Е.А. Перспективы развития высокоскоростного движения // Молодой ученый. 2016. № 18 (122). С. 60-63.
2. О внесении изменений в Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286: утв. приказом Минтранса РФ от: 30.03.2015 г. С. 525.
3. Непрерывный мониторинг железнодорожной контактной подвески / Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий, Д.В. Седых // Транспорт Российской Федерации. 2017. №3 (70). С. 20-24.
4. Миназов М. Р. Дистанционное измерение параметров контактных проводов и арматуры // XXV Всерос. асп.-маг. науч. семинар, посв. дню энергетика: матер. конф. Казань: КГЭУ, 2021. С. 239-241.
5. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Хуснутдинов А.Н., Антипанова И.С., Киснеева Л.Н. Подход к определению интегрального показателя надежности технических систем на этапе разработки // Вопросы электротехнологии. 2021. №. 1. С. 52-61.

УДК 621.398

## **АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ДАТЧИКОВ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА**

А.Р. Нафигов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nafigov1999@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Хизбуллин

В статье раскрыта характеристика и особенности современных датчиков беспилотного транспорта, а также оценка их применения в развитии транспортной инфраструктуры. Представлены результаты сравнительного анализа современных датчиков беспилотного транспорта, предлагаемых разработчиками. Сделан вывод о целесообразности использования тех или иных датчиков беспилотного транспорта.

**Ключевые слова:** беспилотный транспорт, датчики, транспортное средство, скоростной режим, беспилотное управление.

В данном докладе с помощью метода сравнительного анализа исследованы существующие датчики беспилотных авто: Google Car, Spirit of Berlin, ARGO и VisLab. Актуальность исследования определяется ролью датчиков беспилотного транспорта в развитии современной транспортной инфраструктуры.

Google Car – коммерческий проект по разработке беспилотного автомобиля компании Google под руководством Себастьяна Труна [3]. Алгоритм работы автомобиля основан на использовании множества датчиков и видеорегистраторов, установленных по всему кузову, данные с которых отправляются на встроенный компьютер. На основе полученной информации компьютер определяет ближайшие объекты и дорогу, обрабатывает данные и решает, что делать в этом случае. Помимо датчиков, в систему входит GPS-навигатор. Для установки соответствующего ограничения скорости в кузове автомобиля установлены четыре радара - два в переднем бампере и два в заднем. С помощью радаров в систему загружается актуальная информация о перемещении других участников движения на дороге. Также имеется датчик температуры. Например, при идентификации велосипеда учитывается, что он больше пешехода и меньше автомобиля. Кроме того, скорость велосипеда обычно составляет от 0,1 до 40 миль в час. Количество тепла, выделяемого велосипедом с велосипедистом, определено меньше количества тепла, выделяемого движущимся автомобилем, и сравнимо с количеством тепла, выделяемого пешеходом [1].

Spirit of Berlin - немецкий проект Свободного университета Берлина по разработке беспилотного автомобиля [4]. Начало проекта было положено еще в 2007-ом году при поддержке студентов университета. В комплектацию данного беспилотника входят лазерные датчики на переднем, заднем бампере, радиус обзора которых не более 150 м, а также система позиционирования GPS. Основной поток информации идет от GPS позиционирования, а лазерные датчики корректируют эти данные.

Важным элементом сенсорного блока также является лазерный сканер, который сканирует окружающую среду транспортного средства в режиме реального времени, постоянно вращая сам сканер. Данные, полученные сканером, образуют модель среды с целью принятия дальнейших действий.

ARGO – коммерческий проект разработки системы беспилотного управления автомобилем, созданный в Италии [3]. Как и большинство других беспилотных транспортных средств, ARGO оснащен двумя камерами, которые обеспечивают стереоизображение окружающей среды. В машине есть компьютер для обработки данных, получаемых с камер. В отличие от большинства аналоговых систем, ARGO не использует другие датчики, радары и вспомогательные устройства. Разработчики придумали такое решение с целью удешевления оборудования для конечного пользователя.

VisLab – итальянская компания, занимающаяся разработкой систем компьютерного зрения и, в частности, разработкой собственного беспилотного автомобиля на базе автомобиля типа Minivan [2]. Целью компании была разработка беспилотного автотранспорта, который не будет зависеть от дорожных условий, а также будет способен двигаться по бездорожью. Отличительной особенностью данного проекта является необходимость наличия минимум одного авто, управляемого человеком для сохранения работоспособности. Беспилотники, следующие за ведущим, способны опознавать и объезжать препятствия, однако двигаться полностью независимо они не способны. Особой деталью таких транспортных средств является наличие датчиков V2V («Транспортное средство»), указывающих на наличие аналогичных датчиков в других автомобилях сопровождения. От них через равные промежутки времени отправляются сигналы, которые принимаются теми же датчиками, которые установлены на других машинах. Благодаря этой системе автомобили могут надежно распознавать информацию о ведущем автомобиле и, при необходимости, применять экстренное торможение. Сенсорная система каждого транспортного средства содержит 4 лазерных сканера, которые улучшают измерения с камер и точно фиксируют положение окружающих объектов. Также есть 7 камер. 3 камеры расположены внутри салона за лобовым стеклом, чтобы добавить панорамный обзор местности. Панорама помогает лучше следить за дорожным транспортным средством. Остальные камеры позволяют создавать стереоизображения окружающей среды [5].

### **Источники**

1. Беспилотное транспортное средство с интеллектуальной системой диагностики и управления для условий Крайнего Севера и Арктики. Н. Новгород, 2017.

2. Вальченко С.В. России построят «солнечный» беспилотник-гигант [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mk.ru/politics/2018/06/06/v-rossii-postroyat-solnechnyy-bespilotnikgigant.html>.

3. Дмитриев В.И., Каретников В.В. Методы обеспечения безопасности мореплавания при внедрении беспилотных технологий // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 6.

4. Javier Rojo and Raúl Rojas. Spirit of Berlin: An Autonomous Car for the DARPA Urban Challenge Hardware and Software Architecture. 2007.

5. Беспилотный транспорт будущего / О.Б. Тимошенко, А.В. Азаров, Е.М. Кириери, Е.С. Енна // Молодой ученый. 2019. № 8.2 (246.2). С. 44-46.

УДК 681.51

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА СКОРОСТНОГО СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАСТРОЕК

М.Б. Оморов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

omorovmeder23@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.М. Бутаков

В статье рассмотрен скоростной следящий электропривод постоянного тока, построенный по принципу подчиненного регулирования координат, проведено исследование показателей качества переходного процесса при различных видах настроек.

**Ключевые слова:** электропривод, двигатель постоянного тока, контур тока, контур скорости, стандартная настройка.

В качестве электромеханического преобразователя в разрабатываемом электроприводе применен двигатель постоянного тока. Электропривод, для которого проводилось исследование показателей качества переходного процесса, состоит из контура тока (КТ) и контура скорости (КС) [1].

В случае применения стандартных настроек производится настройка контура тока на оптимум по модулю, а контура скорости на симметричный оптимум [2]. В таком случае динамические характеристики контуров должны быть близки к типовым (см. таблицу).

Типовые характеристики контуров при стандартных настройках

Характеристики \ Виды настроек	Оптимум по модулю	Симметричный optimum
Перерегулирование ( $\sigma$ )	4,3%	43%
Запас по фазе ( $\theta$ )	63°	37°
Время нарастания ( $t_n$ )	4,7 · $T_{\Sigma}$	3,1 · $T_{\Sigma}$

Передаточная функция КТ, настроенного на ОМ имеет вид

$$W_{\text{КТ}}(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma_{\text{КТ}}} s(T_{\Sigma_{\text{КТ}}} s + 1)}.$$

Передаточная функция КС, настроенного на СО, имеет вид

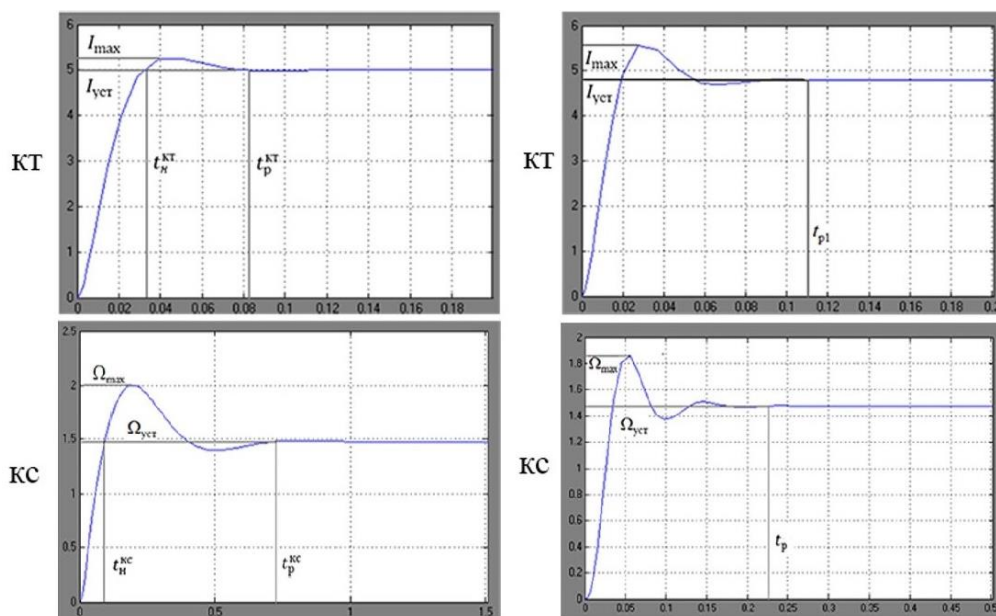
$$W_{\text{КС}}(s) = \frac{(4T_{\Sigma_{\text{КС}}} s + 1)}{8T_{\Sigma_{\text{КС}}}^2 s^2 (T_{\Sigma_{\text{КС}}} s + 1)}.$$

Для настройки КТ и КС применены ПИ-регуляторы со следующими передаточными функциями:

$$W_{\text{РТ}}(s) = \frac{K_{\text{РТ}} T_{\text{РТ}} s + K_{\text{РТ}}}{T_{\text{РТ}} s}; \quad W_{\text{РС}}(s) = \frac{K_{\text{РС}} T_{\text{РС}} s + K_{\text{РС}}}{T_{\text{РС}} s}.$$

При настройке методом логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) для определения ЛАЧХ корректирующего устройства необходимо построение асимптотических ЛАЧХ неизменяемой части скоростного следящего электропривода по ее передаточной функции и желаемых ЛАЧХ. Этот метод дает возможность выбора требуемого перерегулирования и время регулирования [4].

На рисунке показаны переходные характеристики КТ и КС, настроенных с применением различных методов.



а)

б)

Переходные характеристики КТ и КС при стандартной настройке (а) и настройке методом ЛАЧХ (б)

Результаты исследования подтвердили соответствие показателей качества переходного процесса заданным значениям с минимальной погрешностью равной 10–15 % [3].

Подводя итог проведенного исследования можно сделать следующие выводы: стандартные настройки не требуют трудоемких расчетов и позволяют получить систему с показателями качества переходного процесса, соответствующим стандартным; метод ЛАЧХ позволяет выбрать требуемое перерегулирование и время регулирования, однако является более трудоемким, поскольку требует определенных навыков в построении желаемых ЛАЧХ.

### Источники

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-практ. конф. № 3. г. Самара, 2016. С. 141-144.

2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования: учеб. пособие; изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: изд-во «Профессия», 2004. 752 с.

3. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник; 3-е изд. М.: Изд. Центр Академия, 2013. 288 с.



4. Li G. J., Feng X.Y., Wang L.J. Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU // Transactions of China Electrotechnical Society. 2017. Vol. 22. N. 7. Pp. 181–185.

УДК 681.51

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С СИСТЕМОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ

А.В. Росляков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

roslyakov3987@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.М. Бутаков

В статье рассмотрено влияние различных вариантов стандартных настроек на ошибки двухконтурного электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости. Произведен анализ полученных результатов на предмет оптимального сочетания вариантов стандартных настроек для каждого из контуров. Проведено моделирование разработанного электропривода в среде Matlab/Simulink.

**Ключевые слова:** двухконтурный электропривод, двигатель постоянного тока, контур тока, контур скорости, настройка на оптимум по модулю, настройка на симметричный оптимум, система стабилизации скорости.

Существует два вида стандартных настроек [1].

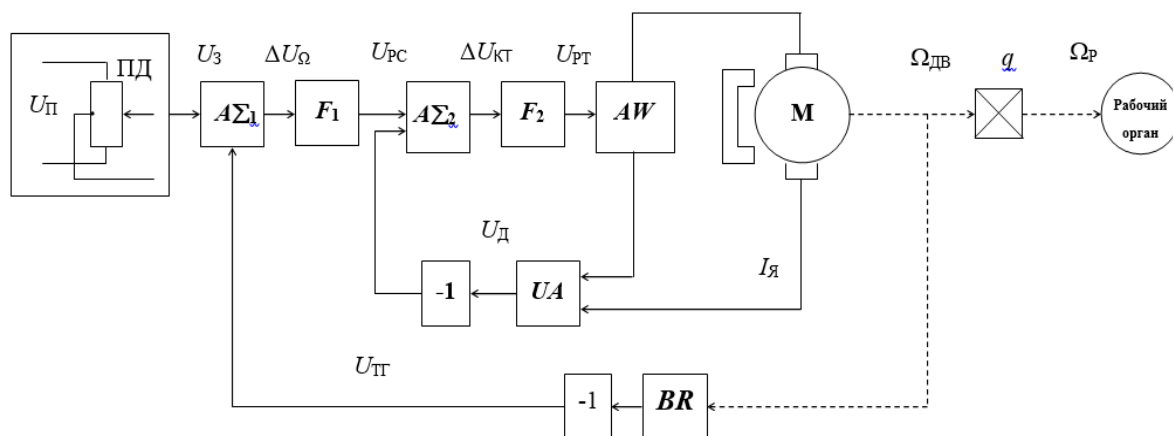
Контур считается настроенным на оптимум по модулю, если его передаточная функция в разомкнутом состоянии имеет вид (1).

$$W(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)}; \quad (1)$$

Контур считается настроенным на симметричный оптимум, если его передаточная функция в разомкнутом состоянии имеет вид (2).

$$W(s) = \frac{(4T_{\Sigma}s + 1)}{8T_{\Sigma}^2s^2(T_{\Sigma}s + 1)}. \quad (2)$$

Поскольку рассматриваемый электропривод содержит контур тока и контур скорости (см. рисунок), то необходимо рассмотреть различные варианты сочетания стандартных настроек этих контуров [2].



Электрокинематическая функциональная схема двухконтурного скоростного следящего электропривода

В результате моделирования в программе Matlab получены графики ошибок двухконтурного электропривода с различными сочетаниями вариантов стандартных настроек при ступенчатом, линейно возрастающем и квадратично возрастающем задающем воздействии, которые представлены в таблице.

Графики ошибок для различных комбинаций стандартных настроек

		Виды настройки контуров		
		1)КТ на ОМ КС на ОМ	2)КТ на ОМ КС на СО	3)КТ на СО КС на ОМ
Виды воздействий на систему	ступенчатое			
	Линейно возрастающее			
	Квадратично возрастающее			

При ступенчатом задающем воздействии для всех вариантов настроек ошибка сводится к нулю [3].

При линейно возрастающем задающем воздействии вариант с настройкой контура тока на оптимум по модулю и контура скорости на симметричный оптимум является оптимальным, поскольку ошибка сводится к нулю [4].

В случае квадратично возрастающего задающего воздействия корректная работа системы будет обеспечена только при настройке контура тока на оптимум по модулю и контура скорости на симметричный оптимум. В остальных же случаях ошибка бесконечно увеличивается, и система работать корректно не будет [5].

По результатам исследований можно сделать вывод что настройка контура тока на оптимум по модулю и контура скорости на симметричный оптимум будет оптимальной для электропривода с системой стабилизации скорости, по причине отсутствия ошибок и стабильности работы системы.

### **Источники**

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: учебник. М.: Энергоиздат, 2016. 576 с.

2. Системы автоматического регулирования и управления. Ч. 1. Практикум / В.М. Бутаков, П.П. Павлов. Казань: Каз. гос. энерг. ун-т, 2017. 27 с.

3. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-практ. конф. №3. Самара, 2016. С. 141–144.

4. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: сб. науч. трудов по итогам межд. науч.-практ. конф. № 3. Омск, 2016. С. 175–177.

5. Бутаков В.М., Павлов П.П., Юшин И.О. Настройка ПИД-регулятора преобразователя частоты Danfoss для вентиляторной установки. Методические указания по выполнению лабораторной работы. КГЭУ, 2017. 36 с.

## РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Б.И. Сафиуллин<sup>1</sup>, Х.Ф. Вахитов<sup>2</sup>, Г.Р. Ахсаниев<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>gougle2011@yandex.ru, <sup>2</sup>lilah20@mail.ru, <sup>3</sup>kgeu-et@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Э. Аухадеев

По мере роста популярности частных и государственных электромобилей в Российской Федерации создание зарядной инфраструктуры для частных клиентов и компаний, работающих с электромобилями, становится приоритетной задачей. Как и любой электротехнический комплекс зарядные станции необходимо диагностировать как на этапах разработки, так и на этапе эксплуатации. В связи с этим в ряде крупных компаний, производящих оборудование для электромобилей, ведется разработка комплексов диагностики зарядных станций, позволяющих производить полную диагностику на всех этапах жизненного цикла зарядных станций. Предлагаемые в докладе технические решения могут быть использованы как основа для создания высокотехнологичного производства комплексов диагностики зарядных станций.

**Ключевые слова:** система диагностики, зарядная станция, зарядная инфраструктура, стандарты заряда.

Бурное развитие зарядной инфраструктуры потребует наличие высококвалифицированных специалистов и диагностических комплексов для контроля параметров и поиска неисправностей зарядных станций.

Согласно программе, реализуемой на территории Российской Федерации, по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 г. планируется запуск не менее 9,4 тыс. зарядных станций до конца 2024 г., и 72 тыс. зарядных станций до конца 2030 г. [1].

В связи с этим в условиях политики импортозамещения актуальным является проблема разработки приборов и производственных технологий в области контроля параметров и диагностики элементов зарядной инфраструктуры. Кабинет Министров Республики Татарстан 16 февраля 2021 г. издал приказ № 267-р «Программа развития зарядной инфраструктуры в Республике Татарстан».

Согласно данному распоряжению Кабинета Министров Республики Татарстан, на Казанский государственный энергетический университет возложена задача создания научно-исследовательской лабораторной базы для проектирования и диагностики зарядных станций и электромобилей и подготовки выпускников к их эксплуатации, а также объединение производителей зарядных станций и электромобилей для решения научно-технических задач. Данная программа реализуется при поддержке крупных региональных производителей таких как ООО «ПромЭнерго», ООО «Инженерный центр «Энергоразвитие», ОАО Сетевая компания, которые занимаются разработкой, производством и вводом в эксплуатацию зарядных станций различных модификаций.

Научно-исследовательская группа кафедры «Электротехнические комплексы и системы» провела научные исследования по разработке зарядных устройств для электромобилей и их диагностике [2].

В объем научных исследований входит разработка и сборка диагностического комплекса зарядных станций с возможностью проверки режимов заряда 3 и 4 и стандартами CHAdeMO, CCS Combo 2 и SAE J1772, создание рабочего прототипа и проведение предварительных испытаний. На сегодняшний день научно-исследовательской группой разработан комплекс диагностики зарядных станций по стандарту IEC 62196, позволяющий производить диагностику зарядных станций в режимах 2 и 3, и мощностью от 2,5 до 72кВт [2].

Целью является разработка диагностического комплекса зарядных станций медленной зарядки. Данный комплекс позволит сократить время и издержки на диагностику как на этапе производства, так и на этапе эксплуатации за счёт автоматизации процесса диагностики.

Так же данный тип устройства мало представлен на рынке, но при этом имеется растущий спрос на данные комплексы, как и у производителей, так и эксплуатирующих компаний ввиду численного роста зарядных станций медленной зарядки коммерческой и частной формы собственности.

Основная проблема заключается в том, что в случае поломки зарядной станции её диагностика и ремонт производится на предприятии эксплуатирующей компании, в связи с чем время простоя станции составляет от несколько дней. Разрабатываемый нами прибор позволяет определить работоспособность как станции в целом, так и отдельных её компонентов на месте эксплуатации [3].

На сегодняшний день подобного рода комплексы производят компании Phoenix Contact и Hitachi. Главным недостатком производимыми ими комплексами является высокая цена, начинающаяся от 1500 долларов за комплекс с минимальным функционалом (имитация процесса подключения электромобиля без какого либо контроля параметров, контроль параметров осуществляется сторонними приборами не входящими в комплектность). В предлагаемом нами комплексе предлагается более широкий спектр функций, необходимый для диагностики аппаратной части зарядной станции (проверка совместимости протоколов обмена данными со стандартом SAE J1772).

### **Источники**

1. Автономная зарядная станция для электромобилей / Б.И. Сафиуллин, Д.И. Тухбатуллина, Р.А. Рашитова, А.Э. Аухадеев // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: матер. XV Всерос. открытой молод. науч.-практ. конф. Казань: КГЭУ, 2020. С. 81-83.

2. К вопросу о выборе контроллеров для зарядных станций электромобилей / Р.А. Рашитова, Д.И. Тухбатуллина, Б.И. Сафиуллин, Г.Р. Ахсаниев // Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. межд. молод. науч. конф. В 3 т. Т. 1. С. 256-258.

3. Gorbunova A., Anisimov I. The analysis of the electric vehicle charging infrastructure in Tyumen city // E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TRASCHEE 2019. P. 03016. DOI: 10.1051/e3sconf/202016403016.

УДК 338.242

## **О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Д.К. Селезнев

ФГАОУ ВО «КФУ», г. Казань

bigbossutrinos229@gmail.com

Науч. рук. канд. экон. наук, доц. И.В. Юсупова

В статье освещены вопросы, связанные с современными мировыми и отечественными тенденциями развития зарядной инфраструктуры для электромобилей, как экологичного транспорта.

**Ключевые слова:** электромобиль, зарядная инфраструктура, зарядные станции, ПАО «КАМАЗ», «Tesla».

Мировой рынок электромобилей. На рынке электромобилей в настоящее время доминирует Tesla с долей в 28 % от всего глобального рынка. Рейтинг и количество реализованных электромобилей на 01.01.2021 г.:

1. Tesla: 179050 шт. – 28 % рынка.
2. Альянс Renault-Nissan-Mitsubishi: 65521 шт. – 10 % рынка.
3. Volkswagen Group: 64542 шт. – 10 % рынка.
4. BYD: 46554 штук – 7 % рынка.
5. Hyundai Motor Group (Hyundai, Kia): 43689 шт. – 7 % рынка [1, 2].

Электромобили и развитие зарядной инфраструктуры в мире. По данным издания Bloomberg NEF, количество общественных зарядных станций для электромобилей в мире в 2020 г. составило более 1 млн штук, более половины зарядных устройств (566,0 тыс. шт.) находится в Китае, остальные количество приходится на Европу и Северную Америку.

Компания «Tesla» первой стала развивать сеть станций быстрой подзарядки. Сейчас ее пункты «Supercharger» есть по всему миру, в общей сложности это 1389 станции, способных обслужить 11583 автомобилей. «Supercharger», как правило, размещают у при этом не все станции подойдут другим маркам автомобилей, кроме «Tesla» кому-то может потребоваться переходник, а кто-то просто не сможет принять тот объем электричества, которые готовы передать зарядки «Tesla» [3, 2].

Электромобили и развитие зарядной инфраструктуры в РФ. Согласно результатам исследования аналитического агентства «АВТОСТАТ» на 1 января 2021 г. на территории России было зарегистрировано 10836 электромобилей, при этом более 50 % электромобилей числятся на территории Дальневосточного и Сибирского федеральных округов, наименее популярны электрокары на Северном Кавказе - 143 шт. и в Северо-Западном Федеральном округе - 319 шт. [4, 5].

Самый популярный электромобиль с пробегом в России – Nissan Leaf, на его долю приходится 94 % от всего объема перепродаж - 2370 шт., остальные бренды: Tesla, Mitsubishi, Jaguar, BMW, LADA, Renault и Hyundai едва преодолевают порог в 2 % (до 50 ед.) [6].

Меры поддержки электротранспорта и зарядной инфраструктуры в мире и России. В США с 2010 г. на федеральном уровне существует налоговый вычет на покупку нового электромобиля в размере 7500 долларов [7].

На владельцев электромобилей в Китае не распространяются различные запреты на регистрацию и езду в определенные дни, действуют скидки на приобретение электромобилей (субсидируются государством) [1, 8]. Правительство Германии в июне 2020 г. анонсировало новую поддерживающую меру для перехода общества на электрические автомобили, в ближайшее время наличие электрорядного устройства станет обязательным для каждой бензиновой АЗС [1].

В России в рамках реализации госпрограммы льготного автокредитования предоставляется скидка до 25 % на покупку «экологичной» машины в любом регионе страны. С 2020 г. с электромобилей не взимается оплата права пользования городскими платными парковками городов Москвы, Тюмени, Санкт-Петербурга, Рязани, Воронежа, Твери, Ставрополя, Тулы.

Электромобили и развитие зарядной инфраструктуры в Республике Татарстан.

По состоянию на 1 января 2021 г. УГИБДД МВД по Республике Татарстан зарегистрировано 80 электромобилей и 63 зарядные станции для них, в том числе, в г. Казани, г. Набережные Челны, г. Иннополис, Алькеевском, Алексеевском, Альметьевском, Апастовском, Буинском, Высокогорском, Елабужском, Зеленодольском, Лаишевском, Пестречинском, Спасском, Чистопольском муниципальных районах.

Наибольшее количество станций, имеющих посты для зарядки электромобилей, принадлежит ПАО «Татнефть». Всего в республике насчитывается 8 АЗС компании, оборудованных зарядными станциями на 50 кВт для электромобилей, в том числе 2 автозаправочных станций в г. Казани. Компания планирует дальнейшую установку зарядных станций на АЗС, принадлежащих ей.

На территории Республики Татарстан основным производителем электромобилей выступает ПАО «КАМАЗ».

Автор считает, что в настоящий момент необходима разработка государственной программы «Развитие зарядной инфраструктуры для транспортных средств с электродвигателями в Республике Татарстан» с обязательным прогнозированием такого показателя, как количество планируемых к установке зарядных станций для электромобилей на территории Республики Татарстан на планируемый период и мест для их размещения с учетом действующих нормативов.



## Источники

1. Главные плюсы и минусы электромобилей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecotachka.com/novosti/glavnyie-plyusyi-i-minusyi-elektromobiley/> (дата обращения 17.02.2022).
2. Сколько стоит зарядить электромобиль на заправке [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elmobil.ru/сколько-стоит-зарядить-электромобиль/> (дата обращения 17.02.2022).
3. Единые требования разработают в РФ для электрозаправок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kolesa.ru/news/k-zaryadnym-stantsiyam-dlya-elektromobilej-v-rf-razrabotayut-edinye-trebovaniya> (дата обращения 01.02.2022).
4. Глава Минприроды предложил ввести для владельцев электромобилей бесплатные парковки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vedomosti.ru/economics/news/2017/12/06/744327-glava-minprirodi-predlozhilvesti-dlya-vladeltsev-elektromobilei-besplatnie-parkovki> (дата обращения 16.02.2022).
5. Тимерханов А. Парк электромобилей в РФ // аналитическое агентство «Автостат» от 13.02.2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/33456/> (дата обращения: 16.02.2022)
6. Динамика парка электромобилей в России и в мире [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/27860/> (дата обращения 12.02.2022).
7. Зиннуров Г. Дорого и сложно: почему в России не будет тотального перехода на электромобили // информационное агентство «ТАСС» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://tass.ru/ekonomika/4467941> (дата обращения 15.02.2022).
8. A guide to electric vehicle charging [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.phoenixcontact.com/marketinggb/a-guide-to-electric-vehicle-charging/> (дата обращения 01.02.2022).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЗАРЯДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.А. Стародубец<sup>1</sup>, Г.Р. Валеева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>TemaStar13@yandex.ru, <sup>2</sup>guzel-valeeva-99@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Э. Аухадеев

В настоящей работе проведен анализ возможности внедрения зарядных станций на территории Российской Федерации, изучены особенности внедрения, а также наиболее оптимальная территория расположения. Изучен опыт зарубежных стран в части создания электротранспортной инфраструктуры, особенности потребления энергии зарядными станциями, а также статистические данные по текущей ситуации внедрения зарядных станций.

**Ключевые слова:** электромобиль, зарядная станция, инфраструктура, энергетическая система.

Для увеличения масштаба распространения электротранспорта, необходимо создание инфраструктуры для зарядки и обслуживания электротранспортных средств. При создании инфраструктуры для электромобилей, стоит ориентироваться на следующие ключевые положения:

- пики потребления электроэнергии в конкретном регионе;
- среднее время эксплуатации электромобиля до полного разряда;
- возможность подзарядки электромобиля в жилых районах.

Распределение времени заряда электромобилей может быть различно в зависимости от мест пребывания их владельца. В 2009 г. Министерство транспорта США провело исследование национальных бытовых транспортных средств. По результатам опроса, большинство транспортных средств используется для перемещения до рабочего места с 7:30 до 9:30. В среднем, владельцы автомобилей возвращаются домой в период с 17:00 до 20:00. На основании данных Министерства транспорта США можно сделать вывод, что наиболее оптимальным является расположение зарядных устройств на парковках возле рабочих мест владельцев электромобилей. Но зарядка электромобилей в рабочее (дневное) время способно вызвать увеличение пиковых нагрузок на энергетическую систему.

Исходя из данного положения, наиболее целесообразным вариантом является внедрение зарядных станций на территории жилых кварталов или даже на участках жилых домов для возможности подзарядки в ночное время, а также установка быстрых зарядных станций в близости от рабочих мест владельцев электромобилей. Данный вариант позволяет сгладить пики потребления, а также обеспечить владельцев электромобилей необходимой энергией в случае острой необходимости.

Ярким примером модернизации инфраструктуры под нужды электротранспорта является постановление, принятое Правительством Англии. Правительство предлагает каждому новому жилому дому (соответственно, сопутствующим автомобилям жителей новых домов) парковочное место с возможностью подзарядки. Также предлагается изменение имеющихся парковочных мест в жилых кварталах внедрением зарядных станций быстрого и медленного заряда.

На данный момент по всему миру насчитывается порядка 540 000 зарядных станций для электромобилей. Наиболее крупные рынки зарядных станций располагаются на территории США и Европы (90% от общего объема зарядных станций). Наибольшее количество станций для электромобилей располагается на территории следующих стран Европы и Скандинавии: Германия, Франция, Норвегия, Австрия и Финляндия. На сегодняшний день на территории Российской Федерации работает порядка 450 станций, что составляет 1/3 часть от общего количества зарядных станций на территории, к примеру, Финляндии, по данным компании Zevs [1].

Количество заправочных электрических станций на территории любой страны в большинстве своем зависит от электромобилей, эксплуатируемых на ее территории. Выделяется следующая зависимость: большее количество электромобилей требует большего количества зарядных станций (как личных у каждого владельца электромобиля, так и общественных). Рекорд в части продаж электромобилей поставлен в 2019 году: в этом году дилерами было продано более миллиона экземпляров электромобилей (367 000 составили электромобили марки Tesla). В 2020 году количество покупок электромобилей оставалось по-прежнему на высоком уровне, но ввиду самоизоляции людей в условиях пандемии, рост продаж ощутимо снизился.

По данным сайта Autostat, на сегодняшний день в мире насчитывается больше 7 000 000 электромобилей, и примерно 6 000 из них располагаются на территории Российской Федерации. Если сравнивать с другими странами, количества электромобилей составляет: на территории Норвегии – более 300 000, а на территории Финляндии – порядка 30 000 [2].

Международный оператор зарядной инфраструктуры для электромобилей Touch имеет два головных офиса: в России (Санкт-Петербург) и Германии (Карлсруэ). Сеть включает примерно 60 000 зарядных станций, включая как собственные, так и станции роуминговых партнеров.

Примерно 90 % электромобилей в России используется на Дальнем Востоке. Это легко объяснить: туда проще доставить бывшие в употреблении, а значит, более доступные авто из-за границы. Также, ввиду того, что электромобили находятся в непосредственной близости от изготовителя, средняя стоимость снижается за счет исключения статьи затрат на транспортировку на дальние расстояния.

Дальневосточный регион лишь частично подключен к Единой энергетической системе Российской Федерации, следовательно, для повсеместного внедрения электротранспорта необходима выработка большого количества электроэнергии. Поскольку Дальневосточный регион находится в близости к океану, возможно питание электромобилей за счет экологически чистого способа выработки электроэнергии, а именно, от возобновляемых источников энергии [3].

На данный момент в России самая большая сеть заправок находится на Дальнем Востоке и принадлежит «Русгидро», в нее входит 19 быстрых станций. Они находятся в Приморском, Камчатском и Хабаровском крае, а также в Сахалинской и Амурской области. Для сравнения, всего в Петербурге работает около 30 станций, в Москве – минимум 60.

Развитие электротранспортной инфраструктуры способно увеличить конкурентоспособность России в части инноваций в электромобильном транспорте, и, как следствие, переход на более экологичный энергоноситель – электроэнергию [4].

### **Источники**

1. Как заработать на станциях для электромобилей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/longread/electrocar-charge-business/> (дата обращения 12.03.2022).

2. Анализ рынка электромобилей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.techportal.ru/market/grand-view-research/#publications> (дата обращения 12.03.2022).

3. Волотковская Н.С., Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Шевчук В.А., Федоров О.В. Перспективы развития энергетического комплекса северо-востока России // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №3. С. 58-69.

4. Стоимость владения электромобилем против бензинового автомобиля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://electro.asia/investments/electro-vs-fuel/> (дата обращения 12.03.2022).

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

И.В. Токтаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

toktarovigor@outlook.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Э. Аухадеев

В статье затрагиваются важные аспекты в производстве и использовании электрической энергии электромобилями, рассматриваются проблемы эффективности и рациональности тех решений, которые мы имеем на сегодняшний день в сфере электрического транспорта. Аргументируется экологичность электрического транспорта.

**Ключевые слова:** экология, электромобиль, эффективность.

На сегодняшний день переход на автомобили с электродвигателем вместо ДВС считается экологичным решением, потому что считается, что это способствует разгрузке неблагоприятных выбросов в городах с большим уровнем населения. Но какие проблемы может ожидать человечество на пути этого перехода?

Президент России Владимир Путин в рамках международного форума по энергоэффективности и развитию энергетики «Российская энергетическая неделя» поделился своим мнением в этом вопросе: Электромобили – точно очень экологичный вид транспорта, однако ведь для того, чтобы подключиться к электрической сети и запитать батарею, аккумулятор, необходимо произвести эту электроэнергию, а для этого нужен первичный источник. Сегодня в мире таковым источником номер один является даже не нефть и газ, а уголь [1]. Таким образом, первой проблемой массового перехода на автомобили с электрическим двигателем станет увеличение топлива, сжигаемого на электростанциях для выработки электрической энергии, которой мы можем зарядить электромобиль. Второй проблемой является вопрос эффективности передачи этой энергии до потребителя, потому что каждый килограмм угля и кубометр газа, сжигаемый на станции должен окупать себя и не вредить экологии. Третьей основной проблемой является накопление энергии в аккумуляторах электромобиля. Сама по себе литий-ионная промышленность наносит огромный вред для экологии в ходе производства и использования аккумуляторов [2].

Но насколько это опасно в реальных цифрах? Необходимо разобраться на примере энергетической отрасли республики Татарстан. По данным информационного агентства Реальное время, В Татарстане электростанции в прошлом году выработали 26 860 200 МВт·ч электроэнергии [3]. Этот показатель увеличился на 13 % по сравнению с 2020 г. Потребление электроэнергии в 2021 г. выросло на 9,6 % и достигло 31 878 100 МВт·ч. Основной вклад в существенное повышение выработки внесли Казанская ТЭЦ-2, Казанская ТЭЦ-3, Заинская ГРЭС, Набережночелнинская ТЭЦ и Нижнекамская ТЭЦ-2, передает «Интерфакс» по сообщению филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги. На 2019 г. в Татарстане зарегистрировано 1 280 000 машин [4]. Дальше целесообразно будет пойти по пути упрощения и округления, потому что оперировать точными расчетами в данном исследовании не рационально, т.к. его цель – оценить процесс перехода, то есть тенденцию направления экологической обстановки (улучшение или ухудшение).

Принимается допущение, что 500 000 автомобилистов покупает электромобиль КАМА-1 отечественного производства в 2023–2024 гг. по программе trade-in, сдав свой автомобиль с ДВС. Запас хода автомобиля 250 км, а ёмкость батареи – 33 кВт. То есть на 1 км автомобилист тратит в среднем 0,132 кВт электроэнергии. Заряжая автомобиль 2 раза в неделю, общее потребление электроэнергии вырастет на 1 584 000 МВт·ч. – на 56 %. Допустимые потери в электрических сетях, согласно приказу Минэнерго России на 2020 г., составляют 3,84 % [5]. При таких данных количество сжигаемого топлива на электростанциях должно вырасти в 1,5 раза, а также должна вырасти нагрузка на их оборудование и распределительные сети. По данным ТГК-16 только на 2018 г. Казанская ТЭЦ-3 выбросила в атмосферу 2 144 т вредных веществ, таких как оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, твердые вещества и т.д. Значит, в лучшем случае только на Казанской ТЭЦ-3 количество выбросов увеличится на 900–1100 т вредных веществ в год. В среднем по Татарстану – на 7000 т.

Что касается автомобилей с ДВС, то согласно источнику Известия.ру в Татарстане в 2020 г. на долю автотранспорта пришлось 29,3 % от общего объема выбросов по республике, или 134 500 т [6].

Таким образом, проанализировав данные, можно сделать вывод о том, что для полноценного «безболезненного» перехода на автомобили с электрическим двигателем, необходимо создать условия энергетического профицита в регионе, усилить надежность и эффективность передачи электрической энергии в распределительных сетях и создать инфраструктуру, способствующую переходу на электротранспорт (например, станции зарядки). Это позволит вынести производство вредных выбросов из городов и отдалить их на электрические станции, существенно сократив количество выбросов и сильно улучшив экологическую обстановку.

### **Источники**

1. Путин: электромобили уступают в экологичности газомоторному транспорту [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/4616359> (дата обращения 16.02.2022).

2. Производство литий-ионных аккумуляторов: климатическая катастрофа? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://energy.esco.agency/rubriki-zhurnala/novye-tehnologii-v-jenergetike/372/roizvodstvo-litij-ionnyh-akkumuljatorov-klimaticheskaja-katastrofa> (дата обращения 16.02.2022).

3. Увеличение потребления электроэнергии в Татарстане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://realnoevremya.ru/news/238218-vyrobotka-elektroenergii-v-tatarstane-v-2021-goda-vyroslo-na-13> (дата обращения 16.02.2022).

4. Приказ Минэнерго от 27.11.2020 №1051 Об утверждении нормативов потерь ФСК на 2021 Приказ Минэнерго от 27.11.2020 №1051 Об утверждении нормативов потерь ФСК на 2021.

5. Информация о выбросах загрязняющих веществ, оказывающих негативное влияние на окружающую среду в 2018 г. По филиалу ОАО «ТГК-16» - «Казанская ТЭЦ 3» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tgc16.ru/about/info/vibrosi2018.pdf> (дата обращения 16.02.2022).

6. Энергетика Татарстана [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика\\_Татарстана](https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергетика_Татарстана) (дата обращения 16.02.2022).

## СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

И.В. Токтаров<sup>1</sup>, Э.А. Мухамедзянов<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>toktarovigor@outlook.com, <sup>2</sup>emil20.03.012@gmail.com

Науч. рук. ст. преп. И.С. Антипанова

Тяговый электрический транспорт сегодня развивается очень быстрыми темпами. В отличие от троллейбусов, трамваев или электропоездов, электромобили не получают питание прямо от электрической сети – они запасают её в специальных ячейках, которые собираются в большие батареи и называются тяговыми аккумуляторами. Важно устанавливать максимально эффективные тяговые аккумуляторы на электрический транспорт для того, чтобы сделать его использование более дешевым и рациональным.

**Ключевые слова:** тяговый аккумулятор, электромобиль, эффективность, технологии.

Разберем параметры, которые определяют качество и эффективность тяговых аккумуляторных батарей (ТАКБ). Ёмкость ТАКБ – характеризуется количеством энергии, которую способна отдать ТАКБ за то время, пока напряжение не станет ниже номинального. Единицы измерения этого показателя ампер-часы ( $Ah$ ). Напряжение ТАКБ ( $V$ ) – уменьшается по ходу разряда аккумулятора. Максимальный ток отдачи ( $A$ ) – ток, который способен выдавать аккумулятор без саморазрушения. Немаловажным критерием является плотность энергии аккумулятора  $\rho = (A \cdot V \cdot h) \div m$  (Вт·ч/кг) – чем это значение выше, тем больше количество энергии содержится в одном аккумуляторе и тем меньше места в электромобиле он будет занимать. Количество циклов заряда ТАКБ ( $n$ ) – число, показывающее, сколько раз можно зарядить-разрядить аккумулятор до его полного выхода из строя. Таким образом, условно идеальный ТАКБ должен иметь  $\rho \rightarrow \infty$  и  $n \rightarrow \infty$  и  $V = \text{const}$  по ходу работы [1].

Тяговые аккумуляторы уже довольно давно используются повсеместно как в специальной технике, так и в индивидуальном электротранспорте, например в складских погрузчиках, электро скутерах, машинах для гольфа и т.п. [2]. Проанализируем некоторые тяговые аккумуляторы, которые используются в таких машинах. Полученные из анализа данные представлены в табл. 1.



Таблица 1

## Характеристики разных типов ТАКБ

Тип ТАКБ	$V$	$\rho$ , Вт·ч/кг	$A$	$n$
Li-ion / Li-Po	3,7	160-260	2-10С	500-2000
LiFePO <sub>4</sub>	3,2	90-130	3-15С	2000-3000
LTO	2,4	50-90	3-20С	20000-25000
Lead - acid	2	30-50	1-5С	200-300

Традиционные кислотно-свинцовые ТАКБ уже не отвечают нынешним требованиям, предъявляемым к данным машинам, т.к. имеют наименьшую плотность энергии, следовательно, они очень тяжелые и занимают много места. Их единственный плюс – они относительно дешевле других типов ТАКБ [3]. Литий-титанатные (LTO) аккумуляторы начали применяться совсем недавно. К их несомненным плюсам можно отнести ресурс циклов перезарядки и очень высокие токи отдачи. Их явным недостатком является малая плотность энергии и высокая стоимость. Исходя из этого, можно прийти к выводу, что единственными кандидатами на звание аккумуляторов будущего являются Li-ion / Li-Po и LiFePO<sub>4</sub> аккумуляторы. Детальный сравнительный анализ их характеристик представлен в табл. 2.

Таблица 2

## Эксплуатационные характеристики ТАКБ

Параметр оценки	Литий-ионная	Литий-железо-фосфатная
Эксплуатационные температуры	От -20 до +60°C (желательно от +15 до +25°C)	От -30 до +50°C
Количество циклов заряда-разряда	500-1000 циклов	Более 2000 циклов
Падение емкости на холоде	Значительное	Незначительное
Время зарядки	7-9 часов	3-5 часов
Требования по безопасности	Выше	Ниже
Цена	Ниже	Выше
Максимальная токоотдача	Меньше	Больше
Подверженность быстрому износу	Больших токи, несоблюдение оптимальных температур эксплуатации и хранения	Нет
Типоразмеры	Стандартизированные	Бывают разных размеров. Производятся в следующих формах: призма, цилиндр и в виде пакетов

Li-ion АКБ включает в себя электроды, пористый сепаратор, электролит и контакты. Анод изготавливается из графита, электролит – в основном смешиванием карбоната и  $\text{LiPF}_6$ . Катодом могут быть разные материалы: кобальтат лития ( $\text{LiCoO}_2$ ), литий-марганцевая или литий-кобальт-марганцевая шпинель ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiNiCoMnO}_2$ ) и др.

Литий-железо-фосфатные аккумуляторы в роли материала катода используются литий-феррофосфат  $\text{LiFePO}_4$ . Они имеют больший вес, чем другие литий-ионные модели схожей емкости.

*LFP* аккумулятор состоит из пористого сепаратора, к которому с двух сторон прижимаются электроды. Чтобы обеспечить устройство питанием, к токосъемникам подключаются катод и анод. Перечисленные компоненты, помещенные в пластиковый корпус, заливаются электролитом. В основе принципа работы литий-железо-фосфатных аккумуляторов лежит взаимодействие углерода и литий феррофосфата. Положительный ион лития выступает в роли переносчика электрического заряда. Образование химических связей происходит за счёт внедрения иона лития в кристаллическую решетку других материалов [4].

Вывод: таким образом, будущее в сфере электрического транспорта стоит за литий-железо-фосфатными аккумуляторами, потому что они полностью отвечают требованиям безопасности, имеют малые габариты, большой ресурс перезарядки и практически не подвержены деградации. Технология их создания позволяет делать их практически любых форм и размеров и использовать как при очень низких, так и при очень высоких температурах.

### Источники

1. Мухаметова Л.Р., Ахметова И.Г., Стриелковски В. Инновации в области хранения энергии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. 21(4). С. 33-40.
2. Электротранспорт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электротранспорт> (дата обращения 04.03.2022).
3. Тяговые аккумуляторы для погрузчиков и штабелеров. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.akku-vertrieb.ru/products/tyagovye/accum> (дата обращения 05.03.2022).
4. Литий-железо-фосфатные аккумуляторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Литий-железо-фосфатный\\_аккумулятор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Литий-железо-фосфатный_аккумулятор) (дата обращения 07.03.2022).

## КИНЕТИЧЕСКИЕ НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

А.К. Умурзаков

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

azamatumurzakov552@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В данной работе представлены перспективы развития кинетических накопителей энергии (КНЭ). Разобраны примеры использования КНЭ.

**Ключевые слова:** кинетический накопитель энергии, маховик, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, энергетические системы.

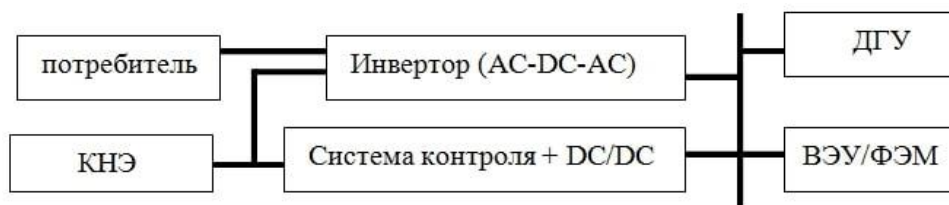
Современное развитие энергетической отрасли требует новых решений в области выработки, хранения и распределения энергии. По экологическим, политическим и экономическим соображениям в энергетическую систему активно интегрируются возобновляемые источники энергии. Решается вопрос о бесперебойной подаче электроэнергии потребителям, удаленным от централизованной энергосистемы. Повышаются требования к аккумулярованию и хранению энергии. В данных условиях рассматривается возможность рентабельного использования кинетических накопителей энергии, также стоит отметить, что очень важно выбирать их по фактическим электрическим нагрузкам [1, 2].

Рассмотрим конструкцию современного кинетического накопителя энергии (КНЭ). Основными элементами КНЭ являются: маховик, магнитный высокотемпературный сверхпроводниковый (ВТСП) подвес, магнитная опора на постоянных магнитах и мотор-генератор, зачастую это синхронная машина на постоянных магнитах. Маховик, вал, роторы верхнего и нижнего магнитных ВТСП подвесов, ротор магнитной опоры и ротор мотора-генератора образуют единый вращающийся узел, который поддерживается системой левитации. В свою очередь система левитации состоит из магнитной опоры и двух цилиндрических магнитных ВТСП подвесов, находящихся в верхней и нижней частях вала маховика. Магнитная опора удерживает маховик в осевом направлении, а магнитные ВТСП подвесы обеспечивают радиальную устойчивость. В режиме двигателя электрическая энергия, подводимая к обмоткам статора, изначально проходит через конвертер, при этом повышается частота.

После этого данная энергия преобразуется в крутящий момент и увеличивает частоту вращения маховика, тем самым происходит накопление кинетической энергии маховика. При работе в режиме генератора наблюдается обратный процесс – превращение кинетической энергии в электрическую. Вакуумирование корпуса КНЭ устраняет трение маховика о воздух. Использование магнитных ВТСП подшипников и вакуумной камеры позволяет уменьшить потери энергии и существенно увеличить срок ее хранения [1, 3].

Такой вид накопителя энергии имеет существенные преимущества: большая удельная энергоемкость, продолжительный срок службы, который может достигать 25 лет, сравнительно высокий КПД (92–97 %), экологичность технологии, относительно компактные размеры, большое количество заряда и разряда, минимальные затраты на обслуживание, высокая эффективность передачи накопленной энергии. Последнее дает возможность КНЭ очень быстро реагировать на изменения в системе, время срабатывания не более 150 мс. Это дает существенное преимущество перед аккумуляторными батареями.

Рассмотрим принцип интегрирования КНЭ в энергосистему. Простейшая энергетическая система, включающая электромеханический накопитель энергии состоит из объектов малой или средней генерации, КНЭ, инвертора, конвертера и потребителя. На рисунке изображен пример структурной схемы включения кинетического накопителя в автономную энергосистему.



Структурная схема включения КНЭ в автономную энергосистему. ДГУ – дизель-генераторная установка, ВЭУ/ФЭМ – ветроэнергетическая установка/фотоэлектрические модули

Схема, изображенная на рисунке, является основой многих систем включения КНЭ в энергосистемы, активно используемые в других странах. На сегодняшний день зарубежный опыт говорит о реальных возможностях активного и экономически выгодного использования КНЭ в энергосистемах.

Использование накопителей на основе маховика помогает добиваться максимально эффективного интегрирования объектов возобновляемых источников энергии в энергетические сети, минимизации использования дизельного топлива в автономных энергосистемах, более устойчивое, бесперебойное снабжение электроэнергией потребителей, удаленных от централизованной энергосистемы. Совместное использование КНЭ с аккумуляторными батареями продлевает срок эксплуатации последним, а также повышает устойчивость энергосистемы к перепадам напряжения. Относительно большая энергоемкость позволяет предполагать, что дальнейшее развитие рассмотренных технологий при кластерном использовании КНЭ сможет покрывать пиковые нагрузки и в централизованной энергосистеме [1, 4–6].

В нашей стране развитие КНЭ пока не достигло своего пика, однако нынешний уровень технологий делает данный вид накопителей энергии весьма перспективным. Конкретно в нашей стране использование электромеханических накопителей энергии поспособствовало бы более активному развитию ВИЭ и интеграции их в единую энергосистему страны [1, 3].

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // *Электричество*. 2021. № 6. С. 62-71.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Анализ фактических электрических нагрузок объектов индивидуального жилищного строительства // *Электроэнергия. Передача и распределение*. 2021. № 5(68). С. 60-65.

3. Ковалев К.Л., Полтавец В.Н., Колчанова И.П. Автономные энергетические системы с кинетическим накопителем энергии // *Электричество*. 2019. № 9. С. 30-40.

4. Marin G., Mendeleev D., Osipov B., Akhmetshin A. Study of the effect of fuel temperature on gas turbine performance // *E3S Web of Conferences*. Prague. 2020. vol. 178. article number 01033.

5. Бубенчиков А.А., Терещенко Н.А., Бубенчикова Т.В. Обзор накопителей кинетической энергии маховикового типа // *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. 2019. № 1. С. 53-59.

6. Хасанов И.А. Электромеханические накопители электрической энергии // *Инновационная наука*. 2020. № 1. С. 28-33.

## УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

В.В. Федотов

Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленск

fedotovvladimirv@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.В. Рожков

В статье рассмотрен вариант улучшения динамических свойств сварочного промышленного робота средствами электропривода. На основе разработанной полной модели частотно-регулируемого асинхронного электропривода с ядром векторного управления для качательной степени подвижности робота реализована следящая система, установившийся режим и динамика которой в целом соответствуют технологическим требованиям для роботов-аналогов. Для дальнейшего уменьшения динамических нагрузок на механическую часть робота предложена схема с задатчиком траектории, реализованном, как и вся модель, в цифровой z-форме. Проведены компьютерные эксперименты, сняты осциллограммы переходных процессов отработки заданной трапецеидальной траектории перемещения характерной точки схвата робота. Показано влияние применяемых средств на динамику системы и срок службы конструкции робота.

**Ключевые слова:** промышленный робот, качательная степень подвижности, частотно-регулируемый электропривод, следящая система, задатчик траектории, динамические свойства, компьютерное моделирование.

Промышленные роботы обслуживают наиболее ответственные производственные технологии и должны соответствовать самым высоким технологическим требованиям. Например, для технологии электродуговой шовной сварки металлоизделий соблюдение этих требований напрямую сказывается на качестве сварных швов, их прочности, герметичности, числе дефектов и ряде других показателей [1]. В свою очередь, качество сварного шва в технологии, которая обеспечивается промышленным роботом с электроприводом, определяется главным образом правильностью синтеза системы управления электроприводом, настройками соответствующих регуляторов и некоторых других компонент системы автоматического управления электроприводом [2]. Для следящих электроприводов основным регулятором системы управления является регулятор положения, который может быть синтезирован в различных структурах [3].

Так, автором в пакете MatLab была разработана компьютерная имитационная модель следящей системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода с ядром векторного управления и добавлением в структуру регулятора положения (рис. 1).

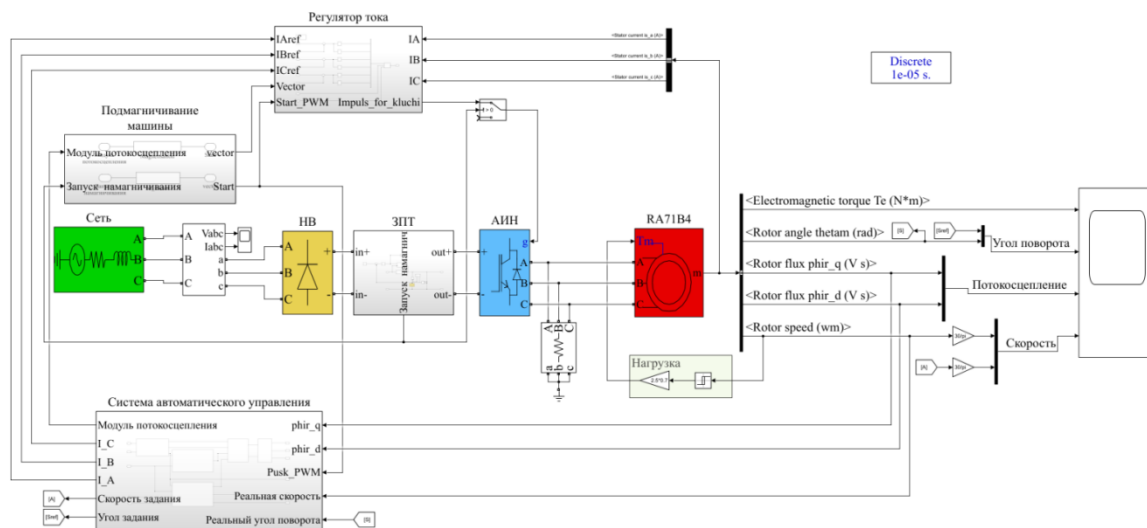


Рис. 1. Компьютерная модель следящей системы в MatLab

Применением оптимальной настройки регулятора положения обеспечены необходимые статические и динамические свойства. Так, в динамике и статике ошибка обработки задаваемой траектории не превышает 0,005 рад.

Для повышения долговечности механической части промышленного робота представляется целесообразным дополнить выполненное исследование вариантами улучшения динамических свойств системы.

Одним из таких вариантов является применение датчика второго рода взамен датчика первого рода для формируемой трапецеидальной траектории перемещения (углового положения) характерной точки схвата.

Обработка углового положения при формировании задающей траектории от датчиков первого и второго рода показана на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

Анализ приведенных осциллограмм показывает, что значение статической ошибки в режиме позиционирования составляет 0,0045 рад, динамическая ошибка при переходе к системе с датчиком 2 рода остается на неизменном уровне в 0,005 рад. Таким образом, применение датчика 2 рода обеспечивает те же показатели точности системы при более «мягком» позиционировании, что увеличивает срок службы механической части робота, кинематических пар его манипуляционной системы.

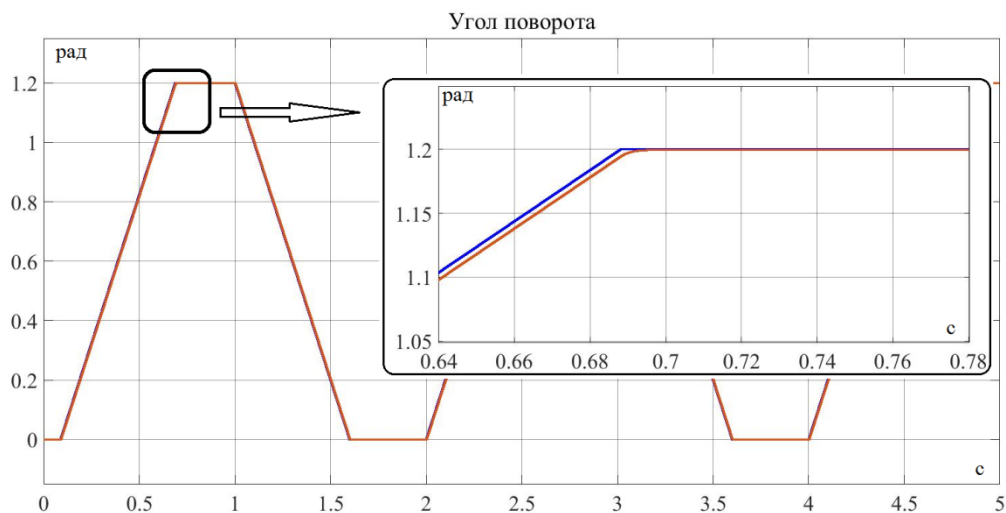


Рис. 2. Отработка углового положения от задатчика первого рода

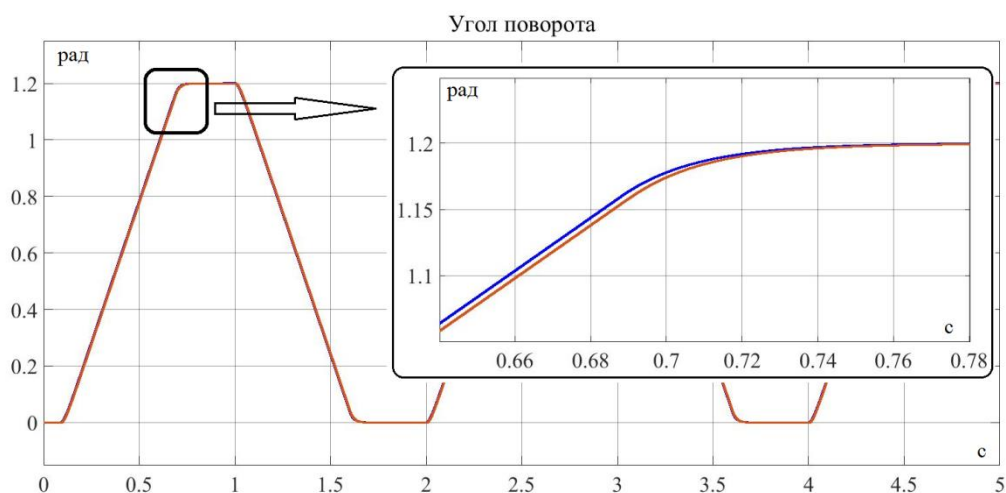


Рис. 3. Отработка углового положения от задатчика второго рода

В рамках исследований прорабатываются и другие варианты улучшения динамики с изменением структуры системы автоматического управления.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

### Источники

1. Колубин С.А., Динамика робототехнических систем: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 117 с.
2. Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления; изд. 4-е, перер. и доп. СПб.: изд-во «Профессия», 2004. 752 с.



## ПРИМЕНЕНИЕ ЭТИЛЕНПРОПИЛЕНОВОЙ РЕЗИНЫ В ГИБКИХ КАБЕЛЯХ

Д.В. Федякин

ФГАОУ ВО НИ «ТПУ», г. Томск

dvf8@tpu.ru

Науч. рук. ст. преп. Т.М. Солдатенко

Актуальность работы определяется повышением эксплуатационных характеристик и расширением номенклатуры гибких кабельных изделий. В качестве критерия стойкости оболочки и изоляции к эксплуатационным нагрузкам принято определение изменения прочности при разрыве и относительное удлинение. Проведена сравнительная оценка устойчивости резин к воздействию повышенных температур. В статье даны рекомендации по применению этиленпропиленовой резины (ЭПР) в качестве изоляции гибких кабельных изделий. Представлены физико-механические характеристики ЭПР и традиционной резины после теплового старения.

**Ключевые слова:** гибкий кабель, изоляция, этиленпропиленовая резина, относительное удлинение, прочность при разрыве.

С каждым годом к качеству производимой кабельно-проводниковой продукции предъявляются всё более высокие требования. Изоляция кабельных изделий должна отличаться высокой электрической и механической прочностью, долговечностью, устойчивостью к старению и гибкостью. Известно, что 90% процентов отказов происходит именно из-за её повреждения. Для обеспечения данных требований необходимо использовать современные электроизоляционные материалы, с более высоким сроком службы и эксплуатационными характеристиками.

Широкое применение в промышленности получили гибкие кабели с резиновой изоляцией, основным преимуществом которых является гибкость, позволяющая при эксплуатации допускать малые радиусы изгибов. Этиленпропиленовый каучук – это электро- и атмосферостойкий каучук, устойчивый к воздействию озона, химических веществ, солнечного излучения, эластичный при низких температурах, имеет хорошие диэлектрические свойства, что в сочетании с высокой атмосферостойкостью и повышенной теплостойкостью делает их весьма перспективными материалами для электротехники в целом [1].

Целью работы являлось исследование влияния повышенной температуры на изоляцию кабелей из этиленпропиленовой резины (ЭПР).

В качестве оцениваемых физико-механических характеристик выбирали прочность и относительное удлинение при разрыве как наиболее чувствительные к тепловому старению показатели [2].

Физико-механические характеристики материалов после теплового старения

Время старения (час)	ЭПР		Резина	
	σр, Н/мм <sup>2</sup>	Δl,%	σр, Н/мм <sup>2</sup>	Δl,%
Температура старения 150 °С				
0	5,5	348	13,4	552
75	6,3	241	Разрушение образца	Разрушение образца
168	6,9	263	Разрушение образца	Разрушение образца
320	4,9	85	Разрушение образца	Разрушение образца
Температура старения 130 °С				
0	5,5	348	13,4	552
75	6,1	319	7,7	277
168	6,3	264	Разрушение образца	Разрушение образца
320	6,8	290	Разрушение образца	Разрушение образца
Температура старения 110 °С				
0	5,5	348	13,4	552
75	5,6	272	10,9	347
168	5,5	304	9,2	315
320	5,5	302	8,6	290

По результатам теплового старения (см. таблицу) можно сделать вывод о том, что этиленпропиленовая резина является перцептивным материалом для гибких кабелей.

### Источники

1. Алифанов Е.В, Чайкун А.М, Наумов И.С. Особенности рецептур резин на основе этиленпропиленовых каучуков и их применение в изделиях специального назначения // Авиационные материалы и технологии. 2015. №2. С. 51-55.

2. Пешков И.Б. Материалы кабельного производства. М.: Машиностроение, 2013. 456 с.

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ ПУНКТОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПАЛЕСТИНЫ

Е.С. Хиллес Ферас  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
bioferas2020@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Хизбуллин

В данной статье рассматривается возможность применения на автотранспортных предприятиях Палестины автоматизированного медицинского комплекса, обеспечивающий контроль за физиологическим состоянием водителей. Предлагаемый комплекс, будет включать в себя отдельные функциональные с новыми техническими характеристиками, обеспечивающими при предрейсовом осмотре высокую достоверность физиологических параметров у водителей.

**Ключевые слова:** автоматизированный медицинский комплекс, термометр медицинский прецизионный, фотоплетизмограф, пульсоксиметр, прибор-детектор на наличие наркотиков.

В последнее время в Палестине происходит устойчивое развитие экономики во всех областях, и во главе этих областей стоит сектор здравоохранения. Министерство здравоохранения обеспечивает предоставление всеобъемлющего и интегрированного медицинского обслуживания, профилактических, реабилитационных, лечебных услуг.

Министерство здравоохранения Палестины активно развивает медицинские услуги, в результате щедрой поддержки и заботы со стороны соседних стран, так и инвестированием собственных средств в здоровье граждан Палестины. Министерством здравоохранения Палестины предоставляется около 60 % всех медицинских услуг в Палестине, остальные услуги оказываются частными медицинскими учреждениями.

Министерство здравоохранения занимается предоставлением медицинских услуг Министерству транспорта и коммуникаций, имеются законы о проверке водителей перед получением водительских прав, и вводятся новые предписания по осуществлению деятельности медицинских кабинетов автотранспортных предприятий занимающихся перевозкой людей, в особенности школьных автобусов. В связи с этим, оснащение медицинских кабинетов осуществляющие предрейсовые осмотры водителей является важной и актуальной задачей в Палестине.

Физиологическое состояние водителей является важным фактором предупреждения аварийных ситуаций на дороге. Дети и их родители доверяют здоровье и жизнь в момент передвижения их на дороге. Особенно трагичны ситуации, когда по вине водителя погибают дети. Родители детей, должны быть уверены, что их дети доедут до школы и обратно домой здоровыми и невредимыми. Отсюда следует, что важным фактором для обеспечения безопасности дорожного движения является физиологическое состояние водителя, т.е. здоровье водителя. Перед руководством автотранспортных предприятий и Министерством здравоохранения встала задача по оснащению медицинских кабинетов.

Процедура проведения предрейсовых осмотров в Палестине сейчас в основном базируется на опыте соседних стран, но, к сожалению, не может использовать пока продвинутые технологии телемедицины, как например в Израиле. Поэтому, есть Российский опыт в реализации предрейсовых осмотров, который может быть востребован в Палестине по организации медицинских кабинетов на автотранспортных предприятиях.

В Российской Федерации также развивают данное направление, важность этой проблемы очевидна, и внедряются медицинские приборы, помогающие врачам быстро и адекватно выявить физиологическое состояние водителей [1, 2].

Актуальный вопрос о медико-техническом обеспечении предрейсовых осмотров водителей подразумевает практическое решение, а точнее реализации автоматизированного комплекса в помощь медицинскому работнику. Причем, данный автоматизированный комплекс должен определять состояние здоровья водителя, во-первых, за достаточно короткий промежуток времени и во-вторых, спрогнозировать с достоверной точностью физиологическое состояние водителя на всю рабочую смену.

По Российским нормативным документам [3–5], а именно [3] п.10 обязательными процедурами при предрейсовом осмотре должны быть сняты показания температуры, давления, пульса. В предлагаемом мною автоматизированном медицинском комплексе все три вида измерений будут в обязательном порядке предусмотрены.

Для измерения температуры точность измерительного прибора будет обеспечиваться в пределах  $\pm 0,05 \dots \pm 0,1$  °С. В качестве температурного датчика целесообразно использовать терморезистор российского производства с точностью  $\pm 0,1$  °С.

Вторым важным прибором автоматизированного медицинского комплекса является фотоплетизмограф, использующий метод пальцевой фотоплетизмографии. С помощью этого прибора возможно диагностировать и измерять артериальное и венозное давление, объемный пульс, ЧСС и другие важные параметры. Важность получения этих показателей является в возможности предупреждения и диагностирования состояния водителя на все время рабочей смены в результате воздействия различных факторов, таких как тепловой удар, сдавливания кровеносных сосудов, стрессовых состояний, к сожалению, во время неожиданных обстрелов.

Третьим прибором в составе предлагаемого автоматизированного комплекса является пульсоксиметр. Он необходим для измерения концентрации оксигемоглобина и карбоксигемоглобина в крови водителя. Повышение концентрации карбоксигемоглобина приводит к повышенному утомляемости водителя, снижению внимания и реакции водителя, вплоть до обморочного состояния.

Четвертым прибором является – детектор, для обнаружения наркотических веществ в крови водителя. Данный прибор-детектор, должен выявлять в течении несколько секунд все основные классы наркотиков, включая соединения на основе опиатов, кокаина, амфетаминов, поскольку проблема наркотиков в Палестине имеет место.

Заключение. Основной задачей в разработке автоматизированного медицинского комплекса для предрейсовых осмотров водителей автотранспортных предприятий Палестины является выявление с высокой достоверностью физиологического состояния водителя, и прогнозируемость его здоровья на время рабочей смены. Данный автоматизированный комплекс необходим для оснащения медицинских кабинетов автотранспортных предприятий Палестины.

### **Источники**

1. Хизбуллин Р.Н. Автоматизированный медицинский аппаратный комплекс для проведения предрейсового, послерейсового осмотра водителей и машинистов общественного и городского транспорта // Вестник НЦБЖД. 2016. № 1(27). С.105-114.

2. Khizbullin Rob., Khizbullin Rad., Galiakhmetov V. Instrument implementation of an automated complex for recording physiological parameters of drivers // E3S Web of Conferences 157, КТТИ-2019, 0100.

3. Федеральный закон от 10.12.2014 N 169-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О безопасности дорожного движения».

4. Постановление Правительства РФ от 16 апреля 2012 г. N 291 «О лицензировании медицинской деятельности» (в ред. Постановлений Правительства РФ от 04.09.2012 N882, от 17.01.2013 N9, от 15.04.2013 N 342).

5. Пункт 5.2.54 Положения о Министерстве здравоохранения Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 19 июня 2012 г. № 608 (Собрание законодательства Российской Федерации, 2012, № 26, ст. 3526).

УДК 621.3.019.3

## **АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

И.В. Черепенькин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

iwan.tcherepenkin@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Э. Аухадеев

В статье проведен анализ видов износа контактных проводов, составлена классификация причин изнашивания в зависимости от рода износа. Все чаще возникает необходимость в установке на электроподвижной состав различного рода устройств и систем, осуществляющих визуальный контроль состояния контактной сети подвижного состава, для построения подобных систем в первую очередь необходимо проведение анализа причин возникновения аварийных ситуаций в контактной сети, для более предметного изучения данной проблемы.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, контактная сеть, контактный провод, износ, изнашивание.

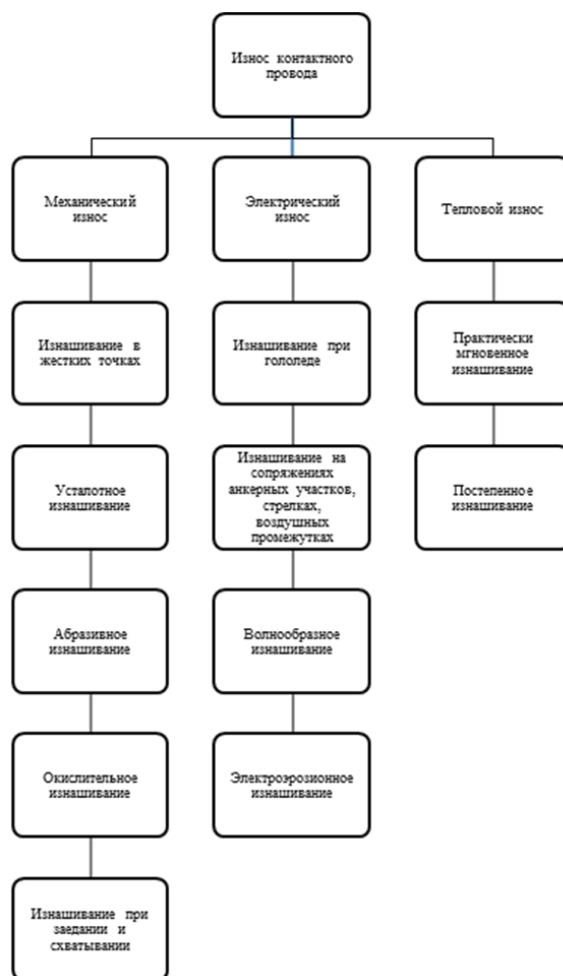
В настоящее время различают несколько видов износа контактных проводов, а именно электрический и механический, однако данное деление достаточно условное, поскольку данные явления взаимосвязаны. Например, возникающие при дуговом токосяеме тяжелые формы электрического износа, значительно ухудшая поверхность трения, приводят к увеличению механического износа. Обратно, возникающие во время резкого изменения силы трения грубые повреждения (задиры, схватывание) ухудшают качество токосяема, повышая степень электрического износа. Только лишь в редких случаях возможно пренебрежение взаимным влиянием друг на друга двух составляющих износа.

Наряду с приведенными ранее видами износа возможно внедрение такого понятия, как тепловой износ и выделение его в отдельный вид.

Классификация видов изнашивания контактных проводов в механике осуществляется в соответствии с ГОСТ 27674-88. Процесс разупрочнения, разрушения и отделения материала от поверхности твердого тела или (и) накопления при трении его остаточной деформации, влекущем за собой изменение формы и размеров тела, называется изнашиванием. Результатом изнашивания в пределах определяемого участка является износом и определяется в установленных единицах.

Изнашивание в процессе передачи электрической энергии осуществляется посредством разрывных, статических или скользящих с отрывами контактов в момент совмещения электродуговых и электроискровых процессов с процессами внешнего трения.

Анализ существующих видов износа позволил представить структурированную классификацию, представленную на рисунке.



Классификация видов износа контактного провода

Зачастую механическая составляющая является основным видом износа при определенных условиях эксплуатации. В таком случае трение обусловлено взаимным зацеплением поверхностей, имеющих шероховатости и их объемными деформациями при скольжении с одной стороны и возникающими адгезионными силами на поверхностях с образованием мостиков сварки, разрушающихся при скольжении, с другой стороны. Сила влияния той или иной стороны механического износа определяется в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

Существует несколько видов трения, а именно: граничное, сухое (с отсутствием смазки) и жидкостное. Жидкостное трение обусловлено наличием в контакте жидкости, благодаря которой контактирующие элементы разделяются слоем смазки, сохраняющей определенные объемные свойства. В зависимости от условий работы могут применяться смазки различных видов, например, жидкие и твердые, металлические и неметаллические. Износ при таком режиме имеет минимальные значения, что является благоприятным показателем для работы контактной сети. Отсутствие смазки приводит к появлению сухого износа, характеризующегося молекулярно-механическим изнашиванием, сопровождающимся схватыванием контактных поверхностей, образованием грубых задиров, заеданием и глубинным вырыванием частиц. Трение, работа которого обусловлена не вязкостью смазки, ввиду минимальности ее слоя, а химическим воздействием данного слоя на основной металл, называется граничным.

Механическое изнашивание определяется относительно характера трения. Для контактного провода контактной сети городского электрического транспорта наиболее характерными видами являются абразивное, усталостное, молекулярно-механическое и окислительное изнашивание. В режиме эксплуатации одновременно могут наблюдаться несколько видов изнашивания, однако в любом случае присутствие характерного, преобладающего вида постоянно. Исходя из внешнего вида и микроструктуры поверхности трения, можно с высокой вероятностью определить основной вид изнашивания, что позволит выдвинуть предложения по увеличению срока эксплуатации рассматриваемого участка, а также определить методы достижения снижения данного вида износа.

### **Источники**

1. Правила устройства электроустановок РФ. М., 2006. 854с.
2. Правила устройства систем тягового электроснабжения железных дорог РФ. М., 1997. 688 с.



3. Купцов. Ю.Е. Увеличение срока службы контактного провода. М.: Транспорт, 2001. 160 с.

4. Коновалов В. Железные контактные провода. М.: Железнодорожное дело, 1967. 61 с.

5. Сердинов С.М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1985. 301 с.

УДК 629.423

## **АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

А.В. Яшагина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

yashagina\_anya@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.С. Литвиненко

В работе рассмотрен анализ оценки показателей надежности единиц электроподвижного состава городского электрического транспорта экспериментальным методом. Изложены достоинства и недостатки метода. Предположен порядок проведения анализа надежности с учетом особенностей городского электротранспорта.

**Ключевые слова:** надежность, эксперимент, система, городской электрический транспорт, единицы электроподвижного состава.

Городской электрический транспорт (ГЭТ) предназначен для осуществления деятельности, связанной с перевозками пассажиров. Может включать следующие виды тяговых единиц: трамвай, троллейбус, метрополитен, электробус и монорельсовый электрический транспорт. Преимуществами ГЭТ являются высокая производительность и экологичность. Транспортные системы, входящие в состав современного ГЭТ подразделяют на основные и вспомогательные. К основным транспортным системам относятся скоростные, характеризующиеся высокой провозной способностью, к вспомогательным – транспортные системы, предназначенные для обслуживания основных, причем их проектирование производят с учетом обеспечения минимальной зоны пешего хождения пассажиров[1, 2].

Надежность тяговой единицы подсистемы электроподвижного состава является комплексным свойством и характеризуется безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью или определенными сочетаниями этих свойств [3, 4]. ГЭТ является сложной транспортной системой, так как содержит в себе электронные, электрические и механические узлы и агрегаты, что необходимо учитывать при оценке показателей надежности. Особенности эксплуатации ГЭТ, влияющими на его надежность, являются:

– повторно-кратковременные режимы работы тягового электропривода. Т.к. расстояние между остановками небольшое, а также неравномерный характер нагрузки;

– при работе в общем потоке движения возникают частые подтормаживания, что ведет к возрастанию износа элементов ЭПС;

– воздействие агрессивных факторов внешней среды на ЭПС.

Для оценки показателей надежности в качестве исходных данных может быть использована статистическая информация об отказах во время эксплуатации, результаты методов физического и математического моделирования. Экспериментальные методы оценки показателей надежности это основной способ получения объективной информации о качестве элементов. Как правило эксперимент является основным способом определения показателей надежности выпускаемой серии транспортных единиц. Экспериментальная оценка надежности может проходить двумя способами:

1. Организация специальных испытаний на надежность.

2. Сбор статистических данных в условиях реальной эксплуатации.

Можно выделить три основных этапа проведения эксперимента: планирование испытания, его проведение, накопление статистических данных и обработка полученных результатов.

Во время планирования испытания системы на надежность для каждого определяемого показателя указывается планируемое значение этого показателя, значение наработки на отказ и относительная ошибка (погрешность). Также выбирается вид испытания на надежность, порядок проведения и его продолжительность.

### **Источники**

1. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Филина О.А. Исследование технической надежности городской электротранспортной системы // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. №8. С.60-71.

2. Литвиненко Р.С., Литвиненко А.С. Надежность системы тягового электроснабжения городского электрического транспорта // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. №3. С. 223–226.

3. ГОСТ Р 54461–2011. Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.

4. ГОСТ 32192–2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2014. 32 с.

## Секция 6. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.039.68

### АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НОВОЙ ЯДЕРНОЙ ТЕХНИКИ (ОНЯТ)

Е.Г. Антоненко

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

aeg-99@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.В. Королев

Рассмотрим необходимость создания нормативно-технической документации для объектов новой ядерной техники.

**Ключевые слова:** объекты новой ядерной техники, нормативно-техническая документация, электробезопасность.

Одним из важных секторов развития энергетики на сегодняшний день является разработка применения ядерного синтеза. Развивая данную отрасль, в науке создаются новые ядерные объекты, которые применяются для выработки электроэнергии [1].

При анализе нормативных документов в области электробезопасности, Российской Федерации и зарубежных стран, касающихся термоядерных объектов отмечается, что документов, регулирующих и контролирующих соблюдения электробезопасности практически нет. Однако, с развитием новой энергетики появляется необходимость создания требований к безопасности на основе существующих документов, а также характеристик новых объектов по соблюдению безопасности, в том числе и электробезопасности [2].

К объектам новой ядерной энергетики (ОНЯТ) относятся экспериментальные установки, комплексные системы, которые в свою очередь являются техническими изделиями.

Эти объекты могут как потреблять электрическую энергию, так и производить, преобразовывать, ее с целью дальнейшей передачи и распределения.

При эксплуатации ОНЯТ возникают опасные факторы, касающиеся электрической части, такие как высокое напряжение и высокий ток в цепях.

Нормативные документы, основа которых связана с ОНЯТ, их применение по отношению к ОНЯТ:

- Федеральный закон «Об электроэнергетике»;

- Постановление Правительства РФ от 26.07.2007 № 484 «О выводе объектов электроэнергетики в ремонт и из эксплуатации».

- Постановление Правительства РФ от 20 июля 2013 г. N 610 «О федеральном государственном энергетическом надзоре».

Также ряд нормативно-правовых актов федеральных органов исполнительной власти, точнее приказы Ростехнадзора и Минэнерго, которые устанавливают:

- регламент исполнения энергетического надзора;

- инструкции пожарной безопасности на энергетических предприятиях;

- выдачи разрешений на допуск в эксплуатацию энергетических установок;

- требования по безопасности персонала, который обслуживает энергоустановки.

Чтобы свести к минимуму влияние негативных факторов на человека, необходимо разработать и внедрить организационно-технические мероприятия по обеспечению электробезопасности на объектах новых ядерных технологий.

Разработка проектов термоядерных электростанций началась с проектирования и эксплуатации атомных электростанций. При выборе технологии производства элементов ядерных реакторов был использован опыт атомных установок, поэтому для разработки нормативной документации по электробезопасности на термоядерных объектах будут использоваться существующие документы и законы для атомных станций.

Так как ОНЯТ являются электроустановками, необходимо обращаться к правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [3], а также использовать Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [4] для определения класса электробезопасности, и организации мер по обеспечению безопасности и защиты персонала.

Для исключения поражения электрическим током персонала все электрооборудование должна быть сконструировано и установлено согласно правилам и требованиям электробезопасности.

При несоблюдении правил возможно возникновение опасных факторов, такие как:

- искрение или возгорание оборудования, либо же питающей сети;
- утечка электрического тока на корпус или на токоведущие части.

В Комплекс мер, которые должны применяться для обеспечения электробезопасности на ОНЯТ, должны входить:

- СИЗ от поражения электрическим током;
- технические меры по защите персонала;
- проведение организационных мероприятий;
- наличие допуска по электробезопасности у персонала;
- регулярные проверки оборудования и токоведущих частей на наличие пробоев;
- разработка инструкций по охране труда и электробезопасности;

Все это необходимо разрабатывать и вводить для обеспечения безопасности персонала причастного к ОНЯТ.

После чего должны быть получены разрешения на допуски в эксплуатацию оборудования от служб контроля и надзора.

Служба контроля и надзора рассматривает представленную документацию и осматривает электроустановку, проверяет все ли соответствует техническим условиям и требованиям нормативных документов. При отсутствии замечаний Служба контроля и надзора выдает разрешения на допуск электроустановки в эксплуатацию.

Существующие нормативные документы могут частично определить требования, но существует необходимость более точного регулирования в этой области [5].

В результате работы будет произведена разработка документации для обеспечения электробезопасности на объектах новой ядерной энергетики на основе нормативной базы и федеральных правилах использования ядерных установок [5, 6].

### **Источники**

1. Бахтеева Н.З., Шацких З.В., Галимзянов Л.А. Конкурентный оптовый рынок электроэнергии и мощности: состояние и новые вызовы // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 5-6. С. 70-78.

2. Сурова Л.В. Теоретические основы исследования опасностей // Вестник КГЭУ. 2013. № 2(17). С. 50-63.

3. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей энергии (ПТЭЭП).

4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

5. ГОСТ Р МЭК 61225-2011. Атомные станции. Системы контроля и управления, важные для безопасности. Требования к электроснабжению. М.: Издательство стандартов, 2011.

6. Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об электроэнергетике».

УДК 681.5

## РАСПРОСТРАНЁННЫЕ НЕДОСТАТКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ТЕПЛИЦ

А.А. Баширов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Bu-bu-bu-bu@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук доц. В.Д. Сандаков

В статье обзревается основные недостатки в проектировании системы автоматизированного управления как малых теплиц, так и промышленных ферм. Приводятся предложения по исправлению ошибок и оптимизации ресурсов.

**Ключевые слова:** автоматизация, проектирование, оборудование, датчики, микроклимат, теплица.

При проектировании АСУ теплицы вне зависимости от бюджета добавление аналоговых датчиков приводит к сильному удорожанию системы. В затраты входят: закупка оборудования (как самого датчика, так и модуля преобразования аналогового сигнала в цифровой вид), создание ПО для обработки и использования полученных значений, использование экранированного кабеля для точной и достоверной передачи данных. Разница в стоимости внедрения одного аналогового датчика может достигать в среднем 3–5 стоимостей подключения дискретного. Это резкое повышение цены может быть оправдано только в том случае, если необходима реакция системы пропорциональная входному сигналу. Для выращивания растений в различных видах теплиц и вертикальных ферм, где в большинстве случаев нет необходимости пропорционального воздействия, такие технические решения являются неоправданными [1].

Одним из важнейших элементов автоматизированной системы является оповещение операторов о внештатных и аварийных ситуациях на производстве. И если для малых систем можно ещё подумать о введении, то для больших промышленных вертикальных или иных ферм эта функция – необходимость. Однако при проектировании могут ограничиться лишь звуковой или визуальной сигнализацией по месту. Это допустимо при круглосуточном присутствии персонала, квалифицированного для работы с АСУ на объекте. В противном случае, необходимо разработать систему удалённого оповещения (СМС, мессенджеры, автоматический звонок). В качестве преимущества будет установка камер наблюдения и удалённый доступ к ним по сети Интернет [2].

Для больших систем, сложных в проектировании, производят разделение на участки по площади или на функциональные группы (освещение, отопление, вентиляция и т.д.) зачастую с излишним управлением по месту из каждого щита управления. Помимо явного удорожания проекта за счёт стоимости нескольких точек управления, которые зачастую удалены друг от друга, из-за чего страдает удобство их использования, возникает вопрос о централизованном сборе и хранении всей исторической информации [3].

При подборе оборудования стоит уделить большое внимания на условия микроклимата, где оно будет размещено. Помещение с повышенной влажностью или кислотностью, повышенная температура, повышенные риски попадания влаги и пыли на оборудование - всё это, а также другие условия необходимо изучить и выбрать оборудование с соответствующей защитой, иначе система будет признана ненадёжной и увеличивая вероятность отказа даже на момент пуско-наладочных работ [4].

Проектирование АСУ теплиц и вертикальных ферм хоть и имеет меньше требований, основные всё же должны соблюдаться. Решения при проектировании должны быть оправданы как по технологическому процессу, так и по итоговой стоимости системы, поэтому необходимо относиться к разработке ответственно и критически, чтобы не допустить очевидных неразумных решений и растрат.

### **Источники**

1. Готовые проекты по реализации автоматизации вертикальных ферм: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ifarmproject.ru/technologies> (дата обращения 12.03.2022).



2. Трофимов В.Б., Кулаков С.М. Интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими объектами: учеб пособие. М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. 256 с.

3. Автоматизация тепличных комплексов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://controleng.ru/otraslevye-resheniya/sel-skoe-hozyajstvo/avtomatizaciya-teplichnyh-kompleksov> (дата обращения 12.03.2022).

4. Алехина Н.Д., Балнокин Ю.В., Гавриленко В.Ф. Физиология растений: под ред. И.П. Ермакова М.: Издательский центр «Академия», 2005.

УДК 538.56:355.58

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ ТКАНЕЙ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

К.Д. Вьюгова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[vjugova.k@yandex.ru](mailto:vjugova.k@yandex.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье рассмотрены основные методы защиты от электромагнитного излучения, в частности защита с помощью специальной одежды. Были рассмотрены различные виды ткани, проведен их анализ, учитывающий эффективность применения данного мероприятия. Рассчитан коэффициент экранирования для образца ткани «ScreenTex 240», на основе которого был сделан вывод о вводе в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение, здоровье человека, средства индивидуальной защиты, защитная ткань, коэффициент экранирования.

Одной из самых актуальных проблем безопасности производственной и окружающей среды является защита человека от электромагнитных волн. Первостепенна и задача устранения вредного воздействия поля, уровень которого, с развитием науки и техники, превысил допустимые значения. Здесь следует отметить, что под электромагнитным полем понимается это колебание электрических и магнитных полей, которое распространяется в пространстве со скоростью света. По степени взаимодействия с человеком их можно разделить на поля естественного происхождения и искусственные поля антропогенного происхождения, как результат деятельности человека.

Основными источниками электромагнитных полей являются линии электропередач, радиолокационные установки, телевизионные вещательные станции. В обособленную группу искусственных источников излучения включают электромагнитные источники, создающие поле, не связанное с их работой – электроплиты, электронагреватели и т.д.

В настоящее время более применим наиболее полно применяются средства индивидуальной защиты с помощью защитных костюмов.

Обращаясь к прошлому, ранее способом коллективной и индивидуальной защиты считалось экранирование. Электромагнитными экранами называют конструкции, предназначенные для ослабления электромагнитных полей, создаваемых какими-либо источниками в некоторой области пространства, не содержащей этих источников.

Данное мероприятие действительно организует защиту, но имеет один существенный недостаток – они металлоемки. Ввиду данной проблемы, невозможно использовать экранирование как средство индивидуальной защиты, а также для снижения ЭМ в жилых домах, бытовых помещениях.

Для устранения данной проблемы, метод экранирования был модернизирован с целью создания специальной защитной одежды. Она включает в себя: одежду (комбинезон), средства защиты головы (шлем с лицевым экраном), средства защиты нижних конечностей (ботинки), верхних конечностей (перчатки), выполненные из электропроводящих материалов. Особенность такой одежды в том, что система ее функционирования напоминает клетку Фарадея, так как весь комплект в совокупности образует единое защитное магнитное поле, противоравное внешнему [1].

В настоящее время известны следующие подходы к созданию тканей, значительно ослабляющих электромагнитные и электрические поля: ткани, в структуре которых используются нити, содержащие электропроводящий компонент (медные или медные посеребренные нити и т. д.) [2]; синтетические ткани, на которые с использованием ионно-плазменной обработки в вакууме производится напыление частиц металлов; ткани, производство которых основано на применении гальванической технологии, которая обеспечивает сплошное двухстороннее никелевое или никелево-медное покрытие.

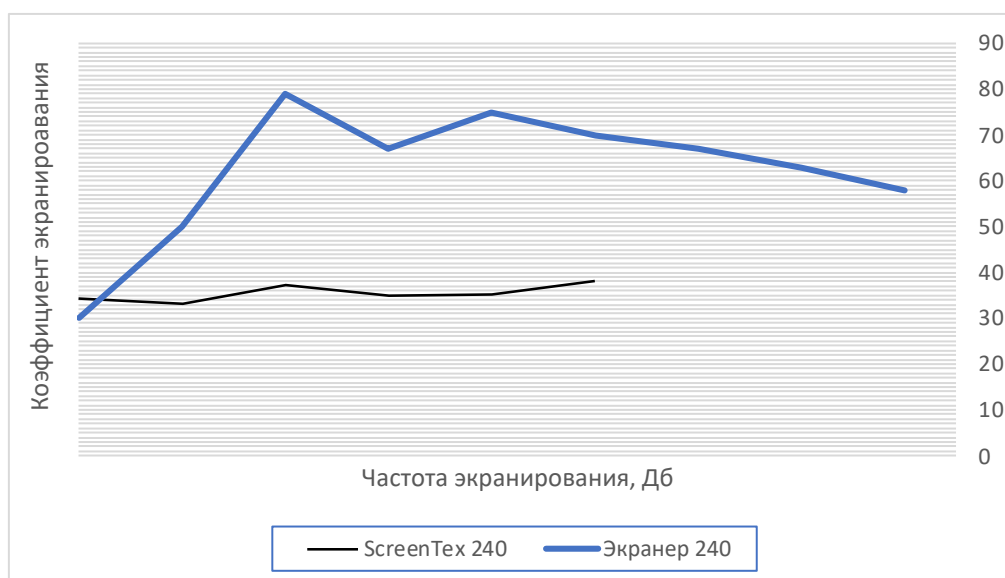
Существует множество текстильных компаний по всему миру, занимающихся разработкой данного мероприятия: Союз «Антистат», выпускаемая компанией «Текстильная Индустрия» (Россия), ткань Swiss-Shield, выпускаемая одноимённой швейцарской компанией и т.д.

Для анализа защитных функций взяты два вида металлизированных тканей «ScreenTex 240» и «Экранер 240», разработанные на ООО «Чайковская текстильная линия» (см. таблицу) [3].

Анализ защитных функций металлизированных тканей «ScreenTex 240» и «Экранер 240»

Параметр	Размерность	Ткань	
		ScreenTex 240	Экранер 240
Ширина ткани	см	150	156,4
Сырье		Полиэфирная нить с вложением антистатических нитей	20% антистатические нити, 80% арамидные( 95% метаарамид, 5% параамид)
Поверхностная плотность	г/м <sup>2</sup>	235	220,1
Разрывная нагрузка ткани	Н	1200	930

Как известно эффективность использования ткани определяется прежде всего исходя из коэффициента экранирования. С целью определения максимально пригодного вида ткани, была построена зависимость частоты излучения от коэффициента экранирования (см. рисунок).



Зависимость частоты излучения от коэффициента экранирования

Диапазон частот варьировался от 100 до 2800 МГц [4]. Стоит отметить, что оба образца показали достаточно высокий коэффициент экранирования, а значит оба могут эксплуатироваться. Однако показатели у материала «ScreenTex 240» выше, ввиду высокого электрического сопротивления ( $\approx 2$  кОм).

### Источники

1. Николаев С.Д., Сильченко Е.В. Защита человека от электромагнитного излучения при помощи тканей // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №15.

2. Yajima, T., Yamada, K. & Tanaka, S. Protection effects of a silver fiber textile against electromagnetic interference in patients with pacemakers // J Artif Organs. 2002. №5. P. 0175–0178. Doi: 10.1007/s100470200032

3. Сильченко Е.В. Разработка тканей для специальной профессиональной одежды с защитой от электромагнитного излучения // МНТФ Первые Косыгинские Чтения – 2017. Т. 1. С. 343-345.

4. Сильченко Е.В. Разработка тканей для специальной профессиональной одежды с защитой от электромагнитного излучения: дисс. ... канд. техн. наук: 05.19.02. М., 2018.

УДК 621.311

## ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В.Р. Гадельшина<sup>1</sup>, Д.В. Павлов<sup>2</sup>, Е.В. Брехов<sup>3</sup>, Р.Н. Сафиуллин<sup>4</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vilena.gadelshina.00@mail.ru, <sup>2</sup>lgfdkjd@mail.ru, <sup>3</sup>Brekhov\_Zhenya@mail.ru,

<sup>4</sup>r.safullin@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Денисова

В работе рассматривается внедрение цифровых технологий для формирования условий перехода к электрической сети нового технологического уклада с обновленными характеристиками надёжности, эффективности, доступности, управляемости.

**Ключевые слова:** цифровизация, мониторинг, автоматизация, искусственный интеллект.

В настоящий момент все системы жизнедеятельности человечества проходят новую историческую фазу – четвертую промышленную революцию. Цифровизация и связанные с ней технологии прочно входят во все сферы, в том числе и в энергетику [1].

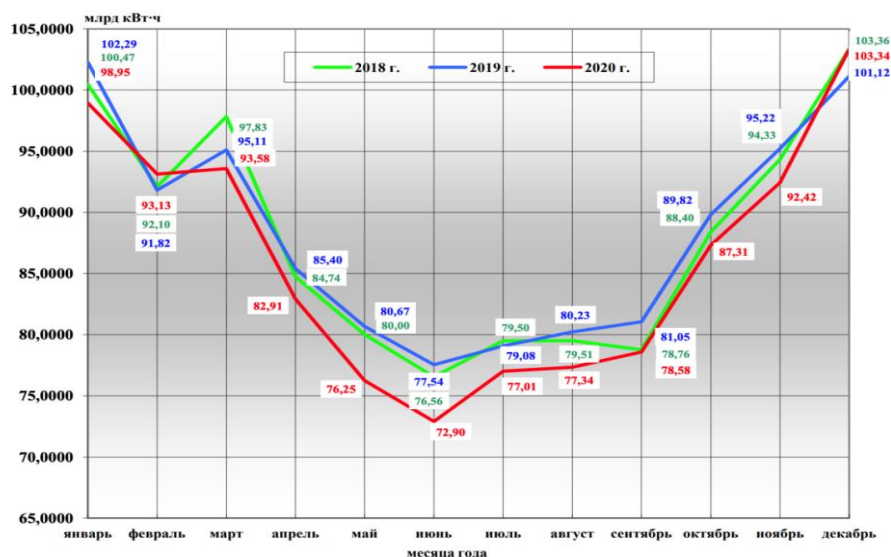
Современные вызовы перед электросетевыми компаниями:

- стареющая инфраструктура и оснащение сети;
- наличие недозагруженных сетей и необоснованные расходы на их содержание;
- отсутствие полной автоматизации узлов учёта электроэнергии и конкурентоспособных тарифов;
- поддержание высокого уровня надёжности сети;
- отсутствие персонала имеющего знания на стыке наук – энергетики и программирования с использованием современных цифровых технологий [2].

Проведённый нами анализ динамики потребления электроэнергии за период с 2018 по 2020 гг. (см. рисунок) показал заметное уменьшение потребления электроэнергии, а вместе с этим и аварийности на электрических станциях. Данная динамика связывается с переводом многих производств на удалённую работу в 2020 г, при котором уменьшился так называемый «человеческий фактор».

Это доказывает эффективность перевода систем контроля технологическими процессами в автоматизированный режим.

Для уменьшения потерь в системе учета электроэнергии внедряется интеллектуальный мониторинг, значительно расширяющий возможности потенциального снижения затрат. Данная система способна конкретизировать данные о потреблении энергии: по каждому элементу оборудования, что способствует открытию пути экономии электроэнергии за счет быстрого выявления поломок и сбоев; считывания и накапливания информации в режиме реального времени; предоставления возможности наблюдения динамики; автоматической обработки, не требующей участия инженеров-операторов для создания и анализа отчетов.



Динамика потребления электроэнергии в ЕЭС России по месяцам 2018-2020 гг.

Еще одна из проблем в энергетике – крупные неиспользуемые резервы электромощностей, которые отражаются в росте тарифов. По информации ПАО «Россети», за шесть лет присоединено потребителей на 74 ГВт, использовалось же из них всего 7,7 ГВт (10%) [3].

Для оптимизации процесса технологического присоединения предлагается внедрение инновационной технологии – интернета вещей IoT (Internet of Things). С помощью данной технологии станет возможным более детальный и объемный сбор информации от подключенных в результате тех. присоединения предприятий к ЕЭС. С его помощью энергоснабжающая компания сможет оперативно определить, как и в каком объеме используется заявленная мощность на предприятии, а также наличие или отсутствие резерва. За счет предоставления полного объема информации от интернета вещей решается, как более эффективно перераспределять неиспользуемую мощность между другими потребителями, снижая рост тарифов на электроэнергию.

Несмотря на серьезную положительную динамику модернизации оборудования электрических сетей в последние годы, проблема износа является актуальной, особенно в сетях 35 кВ и ниже.

Решением проблемы может быть автоматизация определения физического износа оборудования с помощью искусственного интеллекта:

- автоматизированная отправка данных диагностики технического состояния отдельных элементов электрических сетей;
- анализ накопленных баз данных с помощью нейронных сетей искусственного интеллекта;

– прогнозирование остаточного ресурса и возможности выхода из строя [4].

Данный подход образует киберфизическую систему, позволяющую осуществлять дистанционный контроль и мониторинг сети.

В компании должны быть реализованы следующие стратегические инициативы: создание новых моделей компетенций; создание корпоративной культуры для развития и продуктивной работы сотрудников; автоматизация HR процессов; внедрение новой модели работы и организационной структуры ДЗО.

Однако, для реализаций данных технологий, внедрения в различные структуры и адекватной эксплуатации необходим квалифицированный персонал, обладающий не только необходимыми знаниями и навыками в области энергетики, но и владеющий цифровыми технологиями. Необходимо изменить подходы к обучению новых кадров в вузах и техникумах, ввести в программу обучения новые компетенции по цифровым технологиям: программированию и эксплуатации.

Дорожная карта по реализации проектов внедрения цифровых технологий должна основываться: на оценке уровня технологического оснащения каждого объекта; на оценке внешних региональных факторов и финансово-экономического состояния. Для этого необходимо составить паспорта проектов внедрения цифровых технологий по каждому энергообъекту в отдельности и по электрическим сетям в целом.

Отдельно хотелось бы озвучить возможную угрозу при реализации цифровых технологий, облачного хранения и передачи больших данных. Это важность системы кибербезопасности в энергетической отрасли. Этот вопрос особенно важен в настоящее время при возрастающей внешней угрозе. При реализации цифрового управления объектами, связанными с энергетической безопасностью страны, необходимо предусмотреть предотвращение несанкционированного доступа к обрабатываемой информации.

### **Источники**

1. Денисова А.Р., Аманова Г.А. Вопросы надежности и эффективной эксплуатации электротехнических систем и способы ее повышения // Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий: сб. статей Межд. науч.-практ. конф. 2021. С. 10-12.

2. Иванова В.Р., Жукова Ю.В. О цифровой трансформации в сфере энергетики // Матер. III Всерос. науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники», 2021.

3. Концепция «Цифровая трансформация – 2030» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontseptsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf) (дата обращения 12.03.22).

4. Роженцова Н.В., Пятникова М.В. Тенденция развития искусственного интеллекта в энергетике // Сб.: Наука. Технология. Производство - 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий: матер. Всерос. науч.-метод. конф., посв. 100-летию образования Республики Башкортостан. 2019. С. 133-135.

УДК 621.311.243

## СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА

А.Р. Гариев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Garay508@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Шириев

Рассмотрен энергетический потенциал солнечной энергетики на базе солнечных электрогенераторов с двигателем Стирлинга.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, концентратор, двигатель Стирлинга.

В мире наметилась тенденция увеличения доли объектов Солнечной энергетики, основанных на выработке электрической энергии с помощью солнечных коллекторов и батарей. Они находят все большее распространение в мировой энергетике благодаря общедоступности и относительной неисчерпаемости в необозримом будущем солнечной энергии, а также благодаря ее относительной экологичности [1,2]. Большинство этих установок основано на приеме солнечного излучения через солнечные зеркальные концентраторы. Солнце является почти вечным, относительно экологически устойчивым и доступным для большинства потребителей источником энергии, что предполагает наличие громадного потенциала с энергетической точки зрения [3]. Однако объекты Солнечной энергетики являются сложными установками, состоящими из множества узлов, что пагубно отражается на КПД.



Солнечные концентраторы тарельчатого типа представляют собой параболические зеркала, похожие на спутниковые тарелки, и с их помощью солнечные лучи фокусируются на приемник, который находится в зоне фокусировки каждой такой тарелки. Температура самого теплоносителя внутри установки может достигать несколько сотен градусов. Жидкая форма охлаждающей жидкости при этом подается к двигателю или генератору, который совмещен с нагревателем. Вот, например, рассмотрим двигатель Стирлинга, в котором за счет этой солнечной концентрационной установки можно значительно повысить производительность этой системы, так как оптическая эффективность более высокая, а первоначальные затраты не столь велики [4].

Двигатель Стирлинга в общем случае представляет собой так называемую тепловую машину, которая работает, в том числе, за счет подвода тепла к одному из цилиндров извне. Вид топлива, которое используется для выработки теплоты, не имеет особого значения. Это может быть как биогаз, так и солнечная энергия, что является отличительным преимуществом этого двигателя от двигателей внутреннего сгорания.

Таким образом, двигатель Стирлинга может успешно использоваться в установках, работающих на основе возобновляемых источников энергии, например солнечной радиации. Такие установки заряжают аккумуляторы, работают от существующей электрической сети, а при отводе тепла от холодного цилиндра двигателя Стирлинга, а не при охлаждении атмосферным воздухом, становится возможным использование тепловой энергии.

Один из известных воплощений идеи в проект солнечных электрогенерирующих установок на основе двигателя Стирлинга расположен в пустыне на североамериканском континенте, где насчитывает несколько тысяч таких термодинамических преобразователей.

Так, мировой рекорд КПД солнечной электростанции параболического типа составляет 29 %, что было достигнуто за счет преобразования тепловой энергии в электрическую на пластинчатой электростанции в сочетании с двигателем Стирлинга. Безусловно, дисковые солнечные концентраторы в сочетании с двигателем Стирлинга вызывают большой интерес у владельцев крупнейших энергетических компаний. На сегодняшний день проблемой коммерциализации этой разновидности электрогенераторов занимаются как зарубежные, так и отечественные разработчики и предприниматели. Китайские и американские фирмы готовы предложить готовые решения.

### Источники

1. Данилевский А.Ю., Микаева С.А., Ларшина Э.Л. Солнечные батареи // Труды II Всерос. конф. «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники». Казань, 2020. Т. 1. С. 327-332.
2. Панченко В.А. Испытания концентраторной солнечной установки с двигателем Стирлинга в натуральных условиях // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 61-2. С. 64-68.
3. Фетисов Л.В., Роженцова Н.В., Булатова О.А. Повышение качества электрической энергии в сетях низкого напряжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. №11-12. С. 99-106.
4. Веселова Н.М. Применение солнечных генераторов стирлинга в условиях южного федерального округа // В сб.: Научные основы стратегии развития АПК и сельских территорий в условиях ВТО: матер. межд. науч.-практ. конф., посв. 70-летию образования ВолГАУ. 2014. С. 413-419.

УДК 536.51

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Л.И. Гатупов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lenar.gatupov@mail.ru

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. Р.Х. Тукшаитов

В данной статье рассмотрены современные термоэлектрические термометры разных фирм. Изучены их технические характеристики, конструкция, достоинства и недостатки. Рекомендован для применения электротермометр ТМ-902С.

**Ключевые слова:** термометрия, термоэлектрический термометр, термопара, погрешность измерения, малоинерционный, сравнительная оценка, температура объекта.

В настоящее время все большие требования предъявляются к точности измерения параметров технологических процессов, вообще и температуры в частности. Для измерения температуры энергетических объектов начинают применять инфракрасные термометры, открывающие возможность дистанционного измерения температуры промышленного оборудования в широких пределах и малодоступных местах [1].

Поскольку показания ИК-термометров зависят от многих условий измерения, то для повышения точности измерений необходимо их проверять, а также периодически сопоставлять с результатами показаний контактных приборов, используемых в качестве контрольных.

Первоначально охарактеризуем контактный термометр, поскольку он часто применяется на практике непосредственно для проверки и калибровки пирометров. Основными достоинствами контактных электротермометров являются: высокая точность измерения, простота конструкции и дешевизна. Однако эти достоинства нередко нивелируются такими существенными их недостатками как сравнительно большая инерционность, методическая сложность проведения измерения температур выше 150–200 °С и ограниченным верхним предельным ее значением 1600–2000 °С [2, 3], отсутствием возможности измерения в труднодоступных или удаленных местах и непосредственно в процессе работы промышленного оборудования, особенно в условиях горячих цехов и прокатных станов.

Принцип работы преобразователей основывается на термоэлектрическом эффекте – возникновении ТЭДС (термоэлектродвижущей силы) в цепи, состоящей из двух разнородных проводников и имеющей разную температуру в местах спаев проводников. Пара таких проводников используется в качестве чувствительного элемента термометров и называется термопарой [4, 5]. Схема цепи термопары приведена на рис. 1.

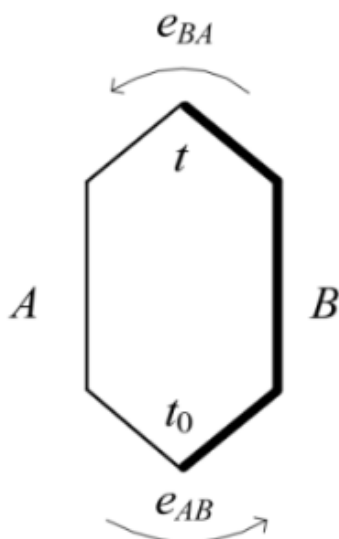


Рис. 1. Схема термопары термометров



Рис. 2. Внешний вид термометра DT1311

Применение данного типа термометра показало высокую его эффективность при определении температуры поверхности светодиодных ламп, светильников и их драйверов [1, 6]. Вместе с тем, его использование позволило установить наличие значительной погрешности, допускаемой ИК-термометрами, при оценке изделий, изготовленных из разных металлов [3]. Для наглядности на рис. 2 представлена конструкция одного из термометров.

Анализ параметров термометров. На сегодня промышленность выпускает целый ряд термометров, характеристики которого приведены в таблице. Исходя из представленных параметров, следует, что температурный диапазон термометров имеет почти одинаковые значения. Многие термометры позволяют проводить измерения от температуры жидкого азота и почти жидкого гелия до температуры плавления многих металлов. Цена термометров постепенно повышается по мере расширения диапазона измерения в область низких температур.

Технико-экономические параметры термометров

Марка термометра	Температур. диапазон, °С	Погрешность измерения	Температура термопары, °С	Рабочая среда, °С	Цена, руб.
TM-902C	-50~1300	$\pm(0,75\% + 1^\circ\text{C})$	-50+300	0~40	850
DT1311	-200~1370	$\pm(0,3\% + 1^\circ\text{C})$	-50+204	0~40	1 890
UT320A	-50~1300	$\pm(0,5\% + 1^\circ\text{C})$	-50+300	0~40	2 080
GM1312	-200~1372	$\pm(0,1\% + 0,6^\circ\text{C})$	-50+300	0~40	2710
AZ 8803	-50~1300	$\pm(0,3\% + 1^\circ\text{C})$	-50+250	0~50	4 250
TA612	-200~1372	$\pm(0,2\% + 0,7^\circ\text{C})$	-50+300	-10~50	4 440
CENTER 307	-200~1370	$\pm(0,3\% + 1^\circ\text{C})$	-50+200	0~50	4 400
VA-8060	-200~1300	$\pm(0,2\% + 0,7^\circ\text{C})$	-50+300	0~50	5 400

По погрешности измерение лучше всех оказался термометр DT1311. Во всех термометрах в комплекте есть датчик температур (термопара) типа К. Частота дискретизации входного сигнала указана только двумя производителями и составляет 2,5 Гц.

Выбор термоэлектрического термометра. Из всех представленных термометров наименьшую цену имеет TM-902C. По диапазону рабочих температур он также вполне приемлем для широкого применения в энергетике. Второй прибор - DT1311 дороже в 2 раза, но по техническим характеристикам он практически не уступает первому. По инерционности данные приборы существенно превосходят электротермометры, датчиком в которых применяется термосопротивление.

Таким образом, применение термоэлектрического прибора позволяет в процессе измерения температуры деталей электрооборудования, изготовленных из разных материалов, осуществлять контрольные измерения, способствуя повышению точности измерения ИК-термометром.

### **Источники**

1. Тукшаитов Р.Х. Типовые и филаментные светодиодные лампы. Каким образом можно оперативно оценить их качество. Ч. 3 // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 3 (59). С. 9–11.
2. Chrzanowski K., Szulim M. Error of temperature measurement with multiband infrared systems // Applied Optics. 1999. Vol. 38 No 10. P. 1998.
3. Тукшаитов Р.Х., Фрунзе А.В., Мусин Д.Т. К оценке точности бесконтактной термометрии методом физического моделирования температуры поверхности металлов с разной излучательной способностью // Практическая силовая электроника. 2021. № 4. С. 46-51.
4. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. М.: Энергоатомиздат, 1992. 304 с.
5. Теплотехнические измерения и приборы: учеб. пособие / Атрошенко Ю.К., Е.В. Иванова. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 151 с.
6. Айхайти И., Тукшаитов Р.Х. Контроль температуры корпуса светодиодных ламп при работе в разных осветительных устройствах // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 9-10. С. 146-150.

УДК 44.01.11

## **ОБЗОР РОЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В БУДУЩИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Ю.С. Гурлихина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gurlikhina99@mail.ru](mailto:gurlikhina99@mail.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Денисова

В данной работе рассматривается роль распределенной генерации в будущих электрических системах, поднимается вопрос целесообразности разрушения централизованных систем электроснабжения ради увеличения уровня распределенной генерации.

**Ключевые слова:** распределенная генерация, централизованная система электроснабжения, децентрализованная.

На сегодняшний день неясно, какой уровень распределенной генерации ожидается, уместный или оптимальной в будущих энергосистемах. Многие исследователи сосредоточились на том, как интегрировать распределенную генерацию в централизованные системы электроснабжения. Такие исследования склонны рассматривать оптимальность с узких точек зрения, сосредоточенных на конкретных аспектах электрической сети, таких как распределительная сеть, в рамках видения будущих электрических систем, в которых сохраняется централизованная инфраструктура. В литературе имеется пробел в рассмотрении роли распределенной генерации в контексте всей электроэнергетической системы и более широкого энергетического сектора и того, как она может стимулировать развитие электроэнергетической системы для сохранения централизованного подхода или повышения децентрализации [1].

Интеграция систем DG с обычными электрическими сетями в первую очередь была увеличена за счет значительного облегчения технического и коммерческого развития. Сети распределенной генерации предлагают преимущества надежного производства электроэнергии на месте, тем самым снижая потребность в строительстве новых линий электропередачи и избегая потерь в линии [2]. Такие установки оказывают существенную помощь потребителям энергосистемы, повышая гибкость электрической сети на основе традиционной централизованной модели [3]. Эти системы используются в приложениях, варьирующихся от жилых до небольших коммерческих и промышленных пользователей. Благодаря экономическим, экологическим и стратегическим преимуществам, предлагаемым возобновляемыми источниками энергии, современный энергетический рынок значительно развит и движется в сторону децентрализации [4].

Перечислим факторы влияющие на роль распределенной генерации в будущем:

- технологические требования и проблемы;
- инновационные изменения связанные с теплом, транспортом, хранением электроэнергии;
- уровень спроса;
- факторы на государственном уровне (законы, правки);
- климат и расположение распределенной генерации;
- социальная значимость;
- существующая инфраструктура.

Последние три фактора оказывают наименьшее влияние на остальные факторы в этом списке, так как в будущем их изменения проще всего предсказать, и их изменения маловероятны.

Проблема заключается в том что факторы с более высоким уровнем неопределенности могут влиять на факторы с низким уровнем неопределенности. Поэтому важно учитывать не одну категорию фактов в их комплекс и взаимодействие между ними и тогда возможно наиболее четко определить роль распределенной генерации для конкретной системы электроснабжения.

Таким образом, можем сделать вывод о том что не существует единого инструмента, который можно было бы использовать для изучения всех факторов и их влияния на роль распределенной генерации. Отрасль распределенной генерации продолжает свой путь быстрого наращивания объемов и технологической революции, интегрированные электрические и энергетические сети становятся фундаментальной технологией. [5]. В связи с растущим спросом на энергию во всем мире и опасениями по поводу истощения традиционных ископаемых видов топлива интеграция сетей распределенной генерации стала необходимой.

### **Источники**

1. Mehigan L. et al. A review of the role of distributed generation (DG) in future electricity systems // *Energy*. 2018. Т. 163. С. 822-836
2. Haider R., Kim C. H. Protection of DERs // *Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems*. Academic Press, 2016. С. 157-192.
3. Reigosa D. D. [et al.] Passive islanding detection using inverter nonlinear effects // *IEEE transactions on power electronics*. 2017. Т. 32. №. 11. С. 8434-8445.
4. Zheng T., Yang H., Zhao R., Kang Y., Terzija V., Zheng T., Yang H., Zhao R., Kang Y.C., Terzija V. Design, Evaluation and Implementation of an Islanding Detection Method for a Micro-grid. *Energies*. 2018. 11. 323 p.
5. Денисова А.Р., Аманова Г.А. Вопросы надежности и эффективной эксплуатации электротехнических систем и способы ее повышения // *Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий*. 2021. С. 10-12.

## СПОСОБЫ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

И.М. Закиров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Zakirov.5525@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Шириев

Описаны основные особенности различных способов беспроводной передачи электроэнергии.

**Ключевые слова:** микроволновый лазер, электричество, беспроводная передача.

Увеличение эффективности передачи электрической энергии на сегодняшний день является актуальной задачей, если учитывать количество энергетических потерь в линиях электропередачи, за которые в конечном счете расплачивается потребитель, следует вести разработки в данной сфере, как можно усердней. На текущий момент имеются способы передачи электроэнергии по трем, по двум и однопроводным линиям. Также необходимо учесть, что повышение безопасности и надежности передачи электрической энергии на большие расстояния также является важными аспектами современной энергетики. В перспективе беспроводная передача энергии, способна удовлетворить все эти требования, а также надежно обеспечить электроэнергией труднопроходимые местности. На сегодняшний день известно всего три основных способа беспроводной передачи электроэнергии. Первый способ основывается на открытии Майкла Фарадея электромагнитной индукции. Он теоретическим способом предположил и с помощью эксперимента подтвердил тот факт, что переменное магнитное поле, которое образуется благодаря электрическому току, который протекает по проводнику, способно индуцировать электрический ток в другом проводнике [1].

Следующим способом является так называемый метод микроволнового электромагнитного излучения. Он, в отличие от более распространенного метода электромагнитной индукции, способен многократно увеличить расстояние, на которое можно передать энергию. Микроволны с частотой 2,45 ГГц, то есть с характерной длиной волны 12 см, способны проходить через толщу атмосферы практически без потерь.

Третий метод беспроводной передачи энергии заключается в применении мощных, когерентных, узконаправленных пучков видимого света (излучения) – лазеров.



Лазерный луч направляют и фокусируют на фотоэлементе, с помощью которого световая энергия преобразуется в электрическую. Этот способ предполагает нахождение источника и приемника энергии, в зоне прямой видимости [2]. Необходимо также учесть, использование лазера будет наиболее эффективно лишь в безвоздушном пространстве, так как атмосфера рассеивает свет, а частицы пыли поглощают часть энергии, за счет чего КПД будет значительно снижен. Представленный метод можно применять и в энергетических комплексах. Используя специальный лазер можно заряжать дроны, с помощью которых ведется наблюдения за объектами энергосистемы, непосредственно в воздухе [3].

Предугадать, когда для нас эти технологии станут обыденностью, очень сложно. В ближайшие 5–20 лет на повсеместное распространение таких прорывных технологий надеяться не приходится. С другой стороны, современные беспроводные зарядные устройства, основанные на методе электромагнитной индукции, довольно просты в изготовлении, но в плане развития еще не исчерпали свой потенциал и ждут дальнейшей модернизации.

### Источники

1. Сотрихин О.П., Титов И.А. Беспроводная передача электрической энергии // В сб.: Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: труды VIII Всерос. науч.-техн. конф. 2016. С. 21-23.
2. Ванке В.А. СВЧ-электроника // Электроэнергетика. Наука. Технология. Бизнес. 2007. № 5. С. 25-28.
3. Широков И.Б., Сердюк И.В., Азаров А.А., Широкова Е.И. Система беспроводной передачи энергии // Ural Radio Engineering Journal. 2021. Т. 5. № 1. С. 7-20.

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕГУЛИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА ОТ ИНСОЛЯЦИИ ПОМЕЩЕНИЯ

О.В. Исаева<sup>1</sup>, Р.А. Залилова<sup>2</sup>, Э.Г. Сибгатуллин<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», <sup>3</sup>ООО ПК «Ледус», г. Казань

<sup>1</sup>isaeva.olga01@mail.ru, <sup>2</sup>zaiilova.bk@ru, <sup>3</sup>elmas@pkledus.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Р. Денисова

В данной работе рассматривается методика изучения зависимости мощности светильников с автодиммированием от величины естественной освещенности помещения и энергоэффективности внедрения ADL-System.

**Ключевые слова:** методика, автодиммирование, светодиодные светильники, инсоляция, КЕО.

Результирующая освещенность поверхностей в помещениях зданий формируется благодаря входящему через световые проемы и падающему на эти поверхности световому потоку (прямая составляющая) и многократным отражениям света (отраженная составляющая). Минимальные уровни естественного освещения нормируются коэффициентом естественной освещенности – КЕО. В настоящее время основной нормируемой величиной естественной освещенности помещений является расчетное значение коэффициента КЕО, которое определяется по утвержденной методике [1]. Согласно этим требованиям, при боковой системе освещения КЕО рассчитывается по формуле:

$$e = (q\varepsilon_n + \varepsilon_{nz}k_{nz}b_f)r_0\tau_0BF,$$

где  $q$  зависит от распределения яркости неба по высоте,  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_{nz}$  – геометрические КЕО от участков неба и зданий, видимых через проем;  $r_0$  учитывает свет, отраженный от внутренних поверхностей помещения,  $\tau_0$  – коэффициент пропускания света оконным блоком,  $BF$  учитывает загрязнение остекления;  $b_f$  – средняя относительная яркость фасада здания напротив, которая зависит от среднего коэффициента отражения фасада.

Нами предлагается учитывать уровень естественной освещенности помещения и регулировать светодиодные светильники с помощью системы автоматического регулирования светового потока ADL-System [2, 3]. Данная система является активно-адаптивной, что обеспечивает значительную экономию электроэнергии и продлевает ресурс светильников. Коэффициент регулирования светового потока для светильника, имеющего систему автодиммирования ADL-System, будет определяться:

$$k_{\text{рег}} = P_{\text{ном}} - P_{\text{рег}},$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность светильника,  $P_{\text{рег}}$  – мощность, потребляемая после регулирования при определённой инсоляции.

Для определения степени регулирования светового потока светильника в зависимости от удаленности окна проводилось исследование в офисном помещении площадью 35,4 м<sup>2</sup>, с окном площадью 3,42 м<sup>2</sup>. В данном помещении реализуется комбинированное освещение. Установлены светодиодные светильники в количестве  $n_{\text{св}} = 6$ , мощностью  $P_{\text{ном}} = 10$  Вт, каждый из них оснащен индивидуальным автодиммированием ADL-System.

При проведении исследований с помощью сертифицированного люксметра замерялась освещенность на рабочих поверхностях под каждым светильником при различной интенсивности инсоляции из окна. Замеры потребления активных и реактивных мощностей каждым светильником и группой в целом проводились с помощью счетчика Меркурий 231. Все полученные данные выводились на компьютер с помощью конфигуратора INCOTEX (рис. 1). По результатам выполненных измерений были построены графики изменений потребляемой светильниками мощности  $P_{рег}$  от светового потока  $\Phi_{ок}$  поступающего на рабочую поверхность от окна (рис. 2.) [4].

С целью получения уравнений регрессии, которые адекватно аппроксимируют полученные значения, использовали программу «Excel».

Анализ результатов экспериментального исследования, позволит получить эмпирическое выражение, описывающее уровень потребления мощности данной группой светильников при инсоляции, выходящей за пределы эксперимента.

Получение данного выражения позволит получить зависимость коэффициента регулирования светового потока светильника от уровня инсоляции помещения  $f(k_{рег}, \Phi_{ок})$ . Это позволит проводить анализ помещений на энергоэффективность и окупаемость внедрения систем регулирования освещения.

The screenshot shows a software window titled 'Монитор' (Monitor) with a table of electrical parameters. The table has columns for 'Наименование' (Name), 'Фаза1', 'Фаза2', 'Фаза3', and 'Сумма' (Sum). The data is as follows:

Наименование	Фаза1	Фаза2	Фаза3	Сумма
Мощность P, Вт	21,080	0,000	0,000	21,080
Мощность Q, вар	7,600	0,000	0,000	7,600
Мощность S, ВА	21,340	0,000	0,000	21,340
Козфф. мощности	0,941	0,000	0,000	0,941
Угол, град.	340,174	0,000	0,000	340,174
Напряжение фазное, Uab, Ubc, Uca, В	231,45	230,79	234,77	
Ток, А	0,094	0,000	0,000	
Частота, Гц				49,99
Угол м-дц ф. 1 и 2, гр.				120,22
Угол м-дц ф. 1 и 3, гр.				240,10
Угол м-дц ф. 2 и 3, гр.				119,87
К-т искажения напр., %				
Температура, °C				

Рис. 1. Диалоговое окно конфигуратора INCOTEX

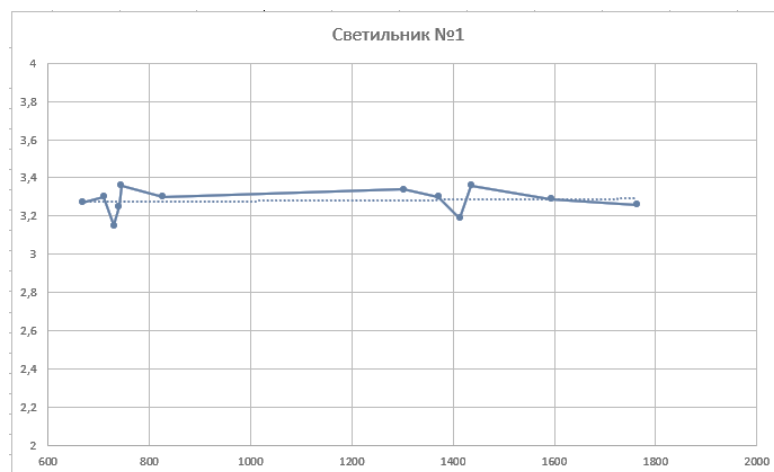


Рис. 2. Пример графика зависимости потребляемой мощности светильника №1 от светового потока

### Источники

1. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: введ. 2017-05-08. М., 2017. 126 с.

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.

3. Абдуллина Г.Р., Денисова А.Р. Алгоритм управления световым потоком автодиммируемых светодиодных светильников // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. III Всерос. науч.-практ. конф. 2021. С. 360-365.

4. Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г., Савин Н.А. Разработка автоматизированной системы освещения // Фёдоровские чтения – 2021: LI межд. науч.-практ. конф. с элементами научной школы. С. 132-140.

УДК 681.5

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИИ СТАНЦИИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Л.О. Казмирук

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lev.kazmiruki@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. В.Д. Сандаков

В статье проведено сравнение решений по автоматизации станций пожаротушения от наиболее популярных производителей противопожарного оборудования «RUBEZH» и «BOLID».

**Ключевые слова:** адресная линия связи, станция пожаротушения, противопожарный водопровод, приёмно-контрольный прибор.

Сегодня наиболее популярными производителями противопожарного оборудования являются «RUBEZH» и «BOLID». Проведем их сравнительный анализ для выбора системы при проектировании гражданских зданий.

При работе с «RUBEZH» управление насосными станциями строится по блочному принципу. Такой принцип даёт возможность автоматизировать почти любую пожарную насосную станцию, для управления насосами используются универсальные шкафы управления ШУН/В, где каждый шкаф отвечает за управление отдельным. Точно так же дело обстоит со шкафом управления задвижкой ШУЗ. Все шкафы и адресные приборы при этом объединяются при помощи адресной линии связи и сводятся на приёмно-контрольный прибор Рубеж 2ОП в котором задаётся логика работы станции пожаротушения и через который осуществляется дистанционный контроль состояния станции пожаротушения [1].

Положительных сторон построения по такому принципу систем автоматизации достаточное количество для широкого применения, из них:

- на базе унифицированных шкафов автоматизированного управления ШУН/В и ШУЗ можно автоматизировать любую пожарную насосную станцию, не меняя их конструкцию;

- шкафы связываются с приёмно-контрольным прибором по адресной линии связи через протокол;

- имеется защита от «сухого» хода, которая блокирует запуск пожарных насосов при отсутствии воды в пожарном трубопроводе, тем самым защищая насос от преждевременного выхода из строя.

Однако у данного решения есть недостаток. Система не имеет возможности отключения насосов при превышении давления в противопожарном водопроводе что может привести к его повреждению

Управление пожарными насосами на базе оборудования «BOLID» строится так же по блочному принципу, для управления пожарными насосами и задвижками применяются шкафы управления ШКП, для каждого агрегата требуется свой шкаф управления, но в отличие от ШУН/В и ШУЗ информация о состоянии агрегатов передаётся по сигналу «Сухой контакт» (этот термин означает соединение либо разъединение токопроводящих материалов для замыкания или разрыва электрической цепи, при этом контакты не заземлены и на них нет потенциала) на шкаф Поток-3Н в который задаётся логика работы насосной станции пожаротушения [2].

Преимущества построения таких схем заключается в следующем:

– на базе шкафов автоматизированного управления ШКП и Поток-ЗН можно автоматизировать почти любую пожарную насосную станцию, не меняя их конструкцию;

– имеется защита от запуска насоса при закрытых кранах на противопожарном водопроводе [3].

Подводя итог, системы являются универсальными и подходят для автоматизации почти любой пожарной насосной станции, однако решение по автоматизации на базе «RUBEZH» является более надёжным за счёт того, что для связи между шкафами применяется адресная линия.

### Источники

1. Система противопожарной защиты RUBEZH [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://td.rubezh.ru/download/pdf/Рубеж%20Каталог%202021%20Часть%201-%20Системы%20противопожарной%20защиты.pdf> (дата обращения 12.03.2022).

2. Блок пожарный управления «поток ЗН» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://bolid.ru/files/373/566/potok\\_3n\\_rept\\_sep\\_21.pdf](https://bolid.ru/files/373/566/potok_3n_rept_sep_21.pdf) (дата обращения 12.03.2022).

3. Система управления водяным пожаротушением производства ЗАО НВП «БОЛИД» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://bolid.ru/files/373/566/shkp\\_4\\_et\\_2017.pdf](https://bolid.ru/files/373/566/shkp_4_et_2017.pdf) (дата обращения 12.03.22).

УДК 621-313.3

## ГРОЗОЗАЩИТА ОРУ-100 КВ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ

К.А. Кузнецов

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

kuznetcovka99@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Т.Ю. Старостина

Обеспечение надёжной грозозащиты электрооборудования подстанций (ПС) является приоритетным условием бесперебойной работы ПС. Аварии с длительным перерывом в работе подстанции приводят к отключению электроснабжения потребителей. Причем перечень аварий достаточно широкий. Кроме того, время, необходимое для устранения аварии на подстанции, особенно необходимо в условиях внутренней изоляции. Поэтому требования к молниезащите для проектируемых линий электропередач и подстанциям более жесткие, чем требуемые.

**Ключевые слова:** молниеотвод, энергоэффективность, авария, подстанция.

Молниезащита электрооборудования подстанций осуществляется с помощью стержневых молниеотводов, количество их зависит от размеров подстанции. В целях экономии молниеотводы устанавливаются на конструкциях подстанции, также она должны включаться в пролеты линий между подстанцией и концевыми опорами. Защита этих пролетов осуществляется тросами линейных подходов, которые присоединяются к порталным конструкциям подстанций. Возможна также установка стержневых молниеотводов на концевых опорах при условии присоединения их заземления к общему заземляющему контуру подстанции.

От стоек конструкции открытых распределительных устройств (ОРУ) 110 кВ с молниеотводами должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в двух-трёх направлениях. Помимо этого, должно быть установлено два-три вертикальных электрода длиной 3–5 м на расстоянии, не меньшем длины электрода, от стойки с молниеотводом.

Определение радиуса защиты для молниеотводов высотой  $h \approx 30$  м производится следующим образом:

$$r_x = p \cdot h_a \cdot \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}},$$

где  $p$  – коэффициент, для  $h \approx 30$  м,  $p = 1$ ;  $h_x$  – высота защищаемой установки в зоне защиты, м;  $h_a = h - h_x$  – активная высота молниеотвода, м.

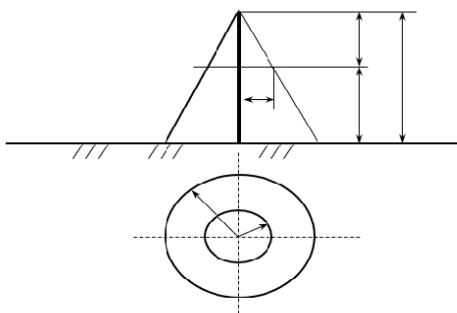


Рис. 1. Зона защиты одиночного молниеотвода

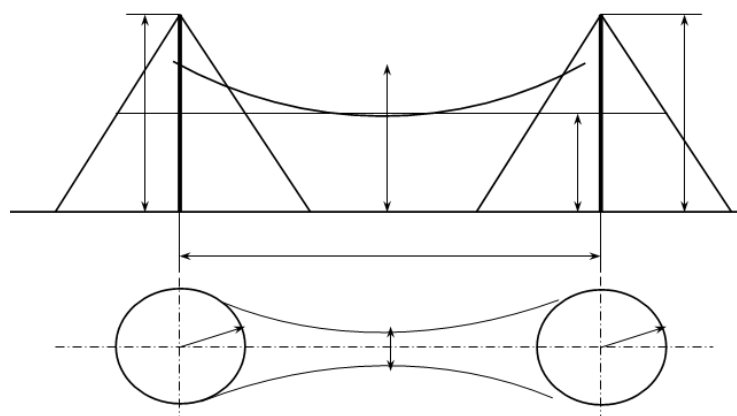


Рис. 2. Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Зона защиты двух стержневых молниеотводов одинаковой высоты (рис. 2) находится следующим образом: очертания торцевых частей зоны определяется как для одиночного молниеотвода по (рис. 1); внутренняя область зоны – как дуга окружности, проходящей через вершины молниеотводов и имеющей перигей:

$$h_0 = h - L/7p,$$

где  $L$  – расстояние между молниеотводами, м.

Зоны защиты трех и более стержневых молниеотводов находятся так: для определения внешних границ зоны защиты многократных молниеотводов используются те же приемы, что и для одиночного или двойного стержневых молниеотводов. При этом для расчета и построения внешних очертаний зоны молниеотводы берут попарно в определенной последовательности.

Объект высотой  $h_x$ , находящийся в зоне многоугольника, будет защищен в том случае, если выполняется условие:

$$D \leq 8 \cdot (h - h_x) \cdot p,$$

где  $D$  – наибольший диаметр окружности, проходящий через вершины треугольника составленного единичными молниеотводами (в случае трех молниеотводов), или наибольшая диагональ многоугольника, м.

### **Источники**

1. Электротехнический справочник; в 4-х т.; под ред. В.Г. Герасимова, В.Ф. Дьякова, 8-е изд., перераб. и доп. М.: МЭИ, 2001. 434 с. Т. 1-2.

2. Калявин В.П., Рыбаков Л.М., Надежность и диагностика электроустановок. Йошкар-Ола, 2000. 348 с.

УДК 64.066.82

## **ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСРЕДСТВОМ ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОСИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

А.Р. Мифтахов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aidar.miftakhof@yandex.ru

Науч. рук. канд. тех. наук, доц. Ю.А. Аверьянова

В статье автор показывает, что использование ультразвукового детектора обеспечивает значительную экономию энергии и безопасность за счет обнаружения утечек и неисправности элементов. Также раскрывает преимущества и недостатки метода ультразвуковой дефектоскопии.

**Ключевые слова:** безопасность, экономия электроэнергии, электрические сбои, ультразвуковая дефектоскопия, электросистема, электрическое оборудование.



Электрические сбои представляют угрозу безопасности на предприятии, могут привести к полному прекращению работы всей системы и служат причиной потери электроэнергии при её распределении [1]. Такие электрические сбои, как частичные разряды в изоляции, утечки, обрывы кабелей, пробой, износ подшипников генератора, электрические дуги и короткие замыкания могут повредить оборудование, отключить подачу электроэнергии и вызвать простои в течение нескольких дней, серьезно ранить или даже привести к летальному исходу работников, находящихся в непосредственной близости, повлиять на электросеть в прилегающих районах [4].

Регулярные ультразвуковые обследования помогут обнаружить неисправности в электрических системах на самых ранних стадиях и, следовательно, предотвратить их задолго до того, как произойдет аварийная ситуация. В среднем, можно избежать до 30 % энергии путем устранения утечки [1]. Использование ультразвукового детектора является наиболее распространенным способом обнаружения утечки. Этот инструмент является недорогим. Благодаря возможности прослушивания – понятным и простым в использовании [3].

Ультразвуковой контроль – это метод, основанный на исследовании процесса распространения ультразвуковых колебаний с частотой 0,5–25 МГц в контролируемых изделиях с помощью специального оборудования – ультразвукового преобразователя и дефектоскопа. Суть метода заключается в способности высокочастотных колебаний проникать в металл и отражаться от поверхности трещин, пустот и других несплошностей.

В NFPA говорится, что вспышка дуги является опасным процессом, связанным с выделением энергии, вызванной электрической дугой. Они могут вызвать серию взрывов, генерирующих экстремальную температуру. Мощности, генерируемой этими взрывами, достаточно, чтобы серьезно ранить или убить кого-либо в непосредственной близости от взрыва. Обнаружение электрических неисправностей с помощью оборудования, особенно дуговой вспышки, лучше всего осуществлять с использованием инфракрасной и ультразвуковой технологии. Действительно, обе технологии имеют свои сильные стороны, однако ультразвук превосходит инфракрасное излучение в обнаружении неисправностей и находит их задолго до того, как это смогло бы сделать инфракрасное излучение. Американскими исследователями описан следующий опыт: на концевой разделке кабеля образовался частичный разряд, где две фазы были расположены слишком близко друг к другу. Термографический метод ничего не показал, однако, УЗ сигнал четко указал на наличие дефекта [4, 5].

При диагностике с помощью Ultraprobe утечка может быть услышана через гарнитуру в виде стремительного звука или отмечена на дисплее. В случае возникновения проблем с окружающим шумом можно использовать резиновый фокусирующий зонд, чтобы сузить поле приема прибора и защитить его от противоречивых ультразвуковых сигналов. Кроме того, настройка частоты, которая доступна в большинстве моделей, значительно снижает фоновые шумовые помехи, обеспечивая беспрецедентную простоту ультразвукового обнаружения утечек.

УЗ дефектоскопия способна выявлять такие проблемы, как частичные разряды, дугообразование, неисправности силового трансформатора, повреждение кабельных линий, износ подшипников генераторов и электромоторов, трещины в сплошных материалах. Ряд исследований ученых из США показывает, что УЗ дефектоскоп помогает находить и бороться с дефектами на изоляционных трубках, муфтах, трансформаторах, реле, конденсаторах, подшипниках, шинах и концевых заделках кабеля [1]. Ультразвуковая дефектоскопия используется также для контроля сварных швов и основного металла оборудования с целью поиска различных дефектов как подповерхностных, так и внутренних. УЗ диагностика оборудования электростанций и предприятий осуществляется на безопасном расстоянии, за счет использования высокотехнологичного современного оборудования.

Ультразвуковой контроль не повреждает исследуемые элементы. Возможно проводить контроль изделий из разнообразных материалов. С помощью ультразвукового контроля можно очень точно определить местонахождение дефекта. Кроме того, можно выделить высокую скорость, мобильность исследования ультразвуковым дефектоскопом при низкой стоимости и отметить безопасность для человека (по сравнению с рентгеновской дефектоскопией [2]).

Таким образом, УЗ дефектоскопия обеспечивает значительную экономию энергии и обеспечивает безопасность за счет обнаружения утечек и неисправных элементов.

### **Источники**

1. Криворудченко В.Ф., Ахмеджанов Р.А. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта. М.: Маршрут, 2005. С. 436.

2. Лаборатория контроля нефти и газа – 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lkng.ru> (дата обращения 16.11.2019).

3. Ultrasound Solutions – 2020 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sdtultrasound.com> (дата обращения 17.11.2019).

4. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении // СВЕН. 2007. Т. 312. №2. С. 296.

5. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений // МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2000. Т. 493. №3. С. 495.

УДК 621.3

## ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВИБРАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

М.А. Немцева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nemceva99@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Сидоров

Возникновение вибраций в электрических машинах происходит при наличии источников с электромагнитным возбуждением, аэродинамических источников и механических источников. В данной статье рассматриваются причины возникновения вибраций в электрических машинах, явление резонанса.

**Ключевые слова:** вибрация, резонанс, электрическая машина.

Вибрации возникают из-за колебаний активных частей электрической машины в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц под действием электромагнитных сил, а именно магнитострикции и сил Максвелла. Помимо вибрации раздается характерный шум [1]. Напряжение Максвелла – формализация того, как магнитные силы возникают из электромагнитных полей: оно включает хорошо известные силы притяжения или отталкивания между двумя магнитами, а также силы сопротивления, которые имеют тенденцию сокращать силовые линии магнитного поля (закон минимального магнитного сопротивления); оно также включает силы Лапласа, которые действуют на электрический ток, погруженный во внешнее магнитное поле.

Чистое касательное воздействие напряжений Максвелла на ротор машины дает средний электромагнитный момент электрической машины, но его тангенциальные и радиальные гармоники могут создавать паразитную вибрацию и акустический шум.

Явление резонанса. Каждая физическая система имеет свои собственные частоты. Это частоты, на которых система будет иметь тенденцию вибрировать под действием определенных динамических сил. Собственные частоты зависят от распределения массы и жесткости в системе. Тогда резонанс – это состояние, при котором динамическая сила заставляет систему вибрировать с ее собственной частотой. Когда механическая система находится в резонансе, небольшая сила может вызвать большую вибрационную реакцию. Формула резонансной частоты представлена ниже [5].

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{\beta^2}{2m^2}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2},$$

где  $\omega_0$  – частота собственных незатухающих колебаний (рад/с),  $\beta$  – коэффициент вязкого трения (кг/с),  $m$  – масса колебательной системы (кг),  $\delta$  – коэффициент затухания (рад/с).

Когда форма магнитных сил в электрической машине вдоль воздушного зазора (называемая волновым числом) совпадает со структурным режимом статора и движется с правильной скоростью, вибрации и акустический шум значительно усиливаются: это эффект резонанса в электромашине. Резонанс возникает, когда электрическая частота (не механическая частота) волны бегущей силы с волновым числом совпадает с собственной частотой окружной моды.

Вибрации от несоосности, зацепления зубчатых колес, подшипников, электрических проблем или вибрации, передаваемые от других машин, могут вызвать резонанс, если они находятся рядом с собственной частотой системы. Визуально явление резонанса электрической машины представлено на рисунке [2].

Каждая деталь машины, пролет из стали, бетона, сегмент труб и бетонные основания имеют свои собственные частоты. Невращающаяся деталь может вызвать состояние резонанса, и его будет нелегко обнаружить, выполняя регулярный анализ вибрации. В этих случаях резонанс диагностируется путем исключения других причин высокой вибрации. Однако построение форм колебаний – это правильный способ определить, является ли деталь резонансной [3].

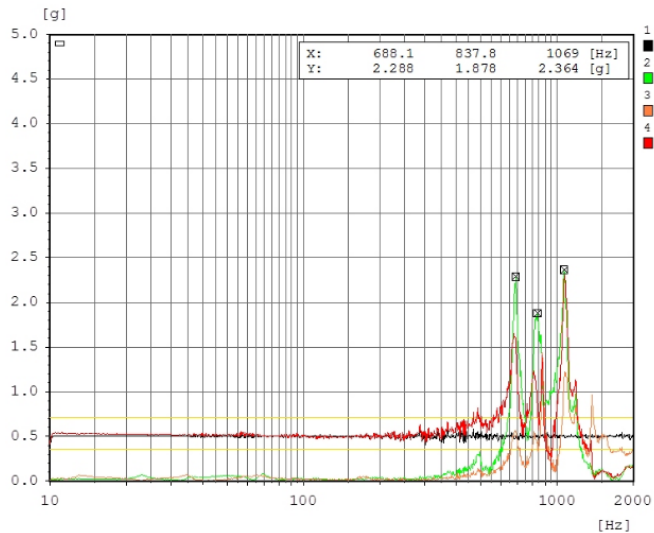


График резонансного сканирования электродвигателя

В диагностике вибраций электрических машин важнейшей задачей является поиск «пути» вибрации от источника к приемнику, что позволяет в дальнейшем минимизировать уровень вибрации и как следствие замедлить старение машины [4].

### Источники

1. Hraniak V.F., Kukharchuk V.V. Using instantaneous cross correlation coefficients of vibration signals for technical condition monitoring in rotating electric power machines // Bulletin of the karaganda university. Physics series. 2018. С. 72-80.
2. Алексеева Л.Б., Уваров В.П. Причины возникновения и методы уменьшения вибраций роторных машин // Наука и современность, 2012.
3. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем: учеб. пособие. Ч. 2. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 128 с.
4. Куцубина Н.В., Санников А.А. Теория виброзащиты и акустической динамики машин: учеб. пособие. Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 167 с.
5. Ядгаров У.Т. О демпфировании вибраций элементов конструкций в области резонанса // Молодой ученый. 2017. С.104-105.

## ПРИНЦИП ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ И ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРАХ

М.А. Немцева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nemceva99@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Е. Сидоров

В статье проанализирован принцип работы пьезогенератора, а именно принцип выработки электроэнергии за счет пьезоэлектрических материалов. Рассмотрены физические основы возникновения пьезоэффекта.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрический элемент, пьезоэффект, генерация электроэнергии, деформация пьезоэлемента.

Некоторые материалы обладают удивительным свойством вырабатывать электроэнергию под действием внешних сил. Такой эффект, происходящий в материале, называется пьезоэффектом, а сам материал – пьезоматериалом (ПМ). Из нескольких слоев пьезоматериала могут собираться пьезоэлементы, а из последних – пьезогенераторы и пьезодатчики.

В качестве материалов, обладающих пьезоэффектом, могут выступать как искусственные, так и природные материалы. Например: кварц, турмалин, сегнетовая соль, цирконат-титанат свинца, титанат бария и др. ПМ можно разделить на кристаллические и керамические [1].

Кристаллические ПМ имеют низкую степень симметрии кристаллической решетки, за счет чего под действием механического воздействия решетка становится нестабильной и вследствие этого возникает разность потенциалов на электродах, прикрепляемых к ПМ.

Керамические пьезоматериалы (ПКМ) изготавливаются на основе твердых растворов оксидов металла и являются искусственными. Непосредственно после окончания изготовления такие материалы не обладают пьезоактивностью. Для того, чтобы ПКМ вырабатывали электрическую энергию необходимо приложить к материалу сильное электрическое поле, т.е. поляризовать материал. Кристаллическая структура ПКМ после производства состоит из доменов (отдельных кристаллитов). Такая структура имеет нулевую суммарную пьезоактивность в силу хаотичного расположения доменов.

Пьезоэффект в пьезоэлементах может быть продольным или поперечным (в зависимости от направления прикладываемого внешнего воздействия). Пьезоэлементы с продольным пьезоэффектом выполняются в форме диска или кольца, с поперечным пьезоэффектом в форме пустотелого цилиндра [2].

В пьезогенераторах используют продольную деформацию пьезоматериала (рис. 1).

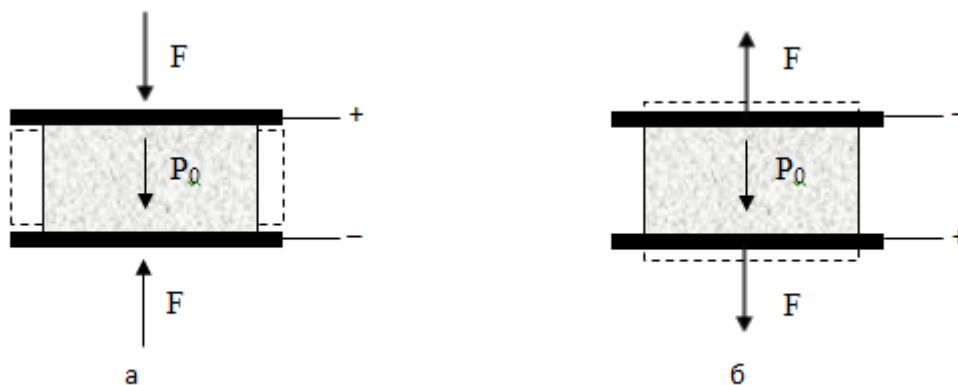


Рис. 1. Продольная деформация растяжения-сжатия пьезоэлемента

Полярность на электродах, присоединенных к пьезоматериалу для снятия электрического заряда, зависит от направления прилагаемого воздействия  $F$  относительно вектора остаточной поляризованности материала  $P_0$ .

Размеры элемента не влияют на уровень вырабатываемого электрического заряда. Величина заряда зависит от значения пьезомодуля  $d_{33}$ . Данное значение является отношением деформации к приложенному электрическому полю и для каждого пьезоматериала различно [4].

Часто пьезоэлементы собирают в пьезомодули, для возможности регулирования выходного заряда. Модуль собирается слоями из пьезоэлементов и электродов между ними. Для вариации выходного заряда цепь замыкают через разные электроды.

Схематичное изображение пьезогенератора представлено на рис. 2 [3].

При вращении под нагрузкой наружного 1 или внутреннего 2 кольца точки роликов 3 и колец будут испытывать циклические нагрузки пульсирующего типа. В результате этого будет происходить деформация пьезоэлектрического материала колец и роликов с появлением на их электродах электрических зарядов, которые в дальнейшем пойдут потребителю тока.

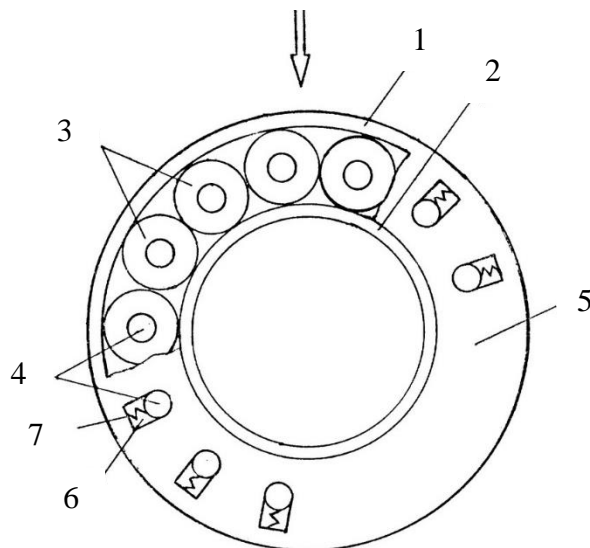


Рис. 2. Схема пьезогенератора:

1 и 2 – биморфные пьезоэлектрические кольца, обладающие продольным пьезоэффектом, 3 – ролики качения, 4 – электропроводящие стержни, 5 – сепаратор, 6 – вырезы в сепараторе, 7 – пружины

Так как радиальная нагрузка воспринимается роликами только в зоне, ограниченной углами не более 180 градусов, то с целью увеличения мощности пьезогенератора в сепараторах 5 для каждого ролика 3 предусмотрены вырезы 6, в которых размещены пружины 7, с помощью которых ролики (через стержни 4) прижимаются к одному из колец 1 или 2 или, например, в шахматном порядке, к обоим кольцам с заданным усилием. В этом случае ролики будут деформировать пьезоматериал постоянно в течение полного оборота колец.

### Источники

1. Орехов В.С. Конструирование пьезоэлектрических датчиков ускорения: уч.-метод. пособие. Ростов-н/Д.: Феникс, 2008. С. 4-11.
2. Карюков Е.В., Панич А.А., Доля В.К., Малыхин А.Ю., Немыкин В.В., Бостанджиян В.В. Пористые пьезокомпозиционные материалы на основе пьезокерамики ПКП-12 // Инженерный вестник Дона. 2017. №4.
3. Пьезогенератор: пат. 2264687 Рос. Федерация № 2003133056/28; заявл. 11.11.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. № 32.
4. Иванова В.Р., Фетисов Л.В. Разработка учебного стенда для эффективной и безопасной эксплуатации резервного электроснабжения на промышленных предприятиях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. № 9-10. С.165-169.



## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С УСТРОЙСТВОМ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

В.В. Новокрещенов  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
vitnov@inbox.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Ю. Иванов

С целью исследования алгоритмов измерения микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики в аварийном режиме компенсированной линии электропередачи, смоделированы аварийные режимы с возникновением инверсии тока и напряжения, показаны обобщающие и иллюстрирующие результаты, даны пояснения относительно полученных данных.

**Ключевые слова:** модель, устройство продольной компенсации, инверсия тока.

При продольной компенсации реактивного сопротивления линии возникает проблема её защиты от сверхтоков с точки зрения релейной защиты. Проблема тем актуальней, чем больше степень компенсации. При компенсации более 50 % реактивного сопротивления линии защита ЛЭП становится практически невозможной из-за несрабатывания или ложного срабатывания всех существующих видов и типов защит [1, 2]. Поэтому в настоящее время компенсация реактивного сопротивления линии составляет, как правило, не более 50 % [3, 4], что не позволяет раскрывать весь потенциал линии в плане её пропускной способности.

Для исследования явления инверсии тока на линии электропередачи в программе PSCAD были скомпонованы две модели ЛЭП с одним симметрично расположенным (рис. 1) и двумя эквивалентными (рис. 2) устройствами продольной компенсации. Каждая модель состояла из двух идеальных трёхфазных источников синусоидального напряжения, идеальных конденсаторов, выполняющих роль УПК, блоков ЛЭП, символизирующих отрезки линии электропередачи.

Каждый блок ЛЭП в свою очередь представлял собой П-образную схему замещения воздушной линии электропередачи. Количество блоков ЛЭП определялось числом точек короткого замыкания на линии, которое в свою очередь определяло точность получаемой графической зависимости.

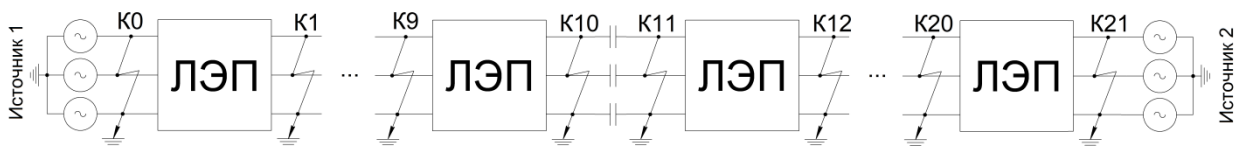


Рис. 1. Схема замещения модели линии с одним симметрично расположенным УПК

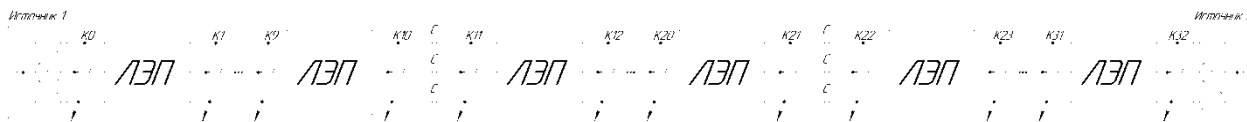


Рис. 2. Схема замещения модели линии с двумя симметрично расположенными УПК

Симуляция аварийного режима на ЛЭП осуществлялась путём поочерёдного возникновения на каждом стыке участков ЛЭП симметричного короткого замыкания при различных степенях продольной компенсации – от 0 до 100 %. Возникающие при этом токи КЗ измерялись по концам линии, а также сравнивались между собой на предмет разницы угла одноимённых фаз.

На основании полученных данных (табл. 1, 2) была построена графическая зависимость угла сдвига между токами с разных концов линии от расположения точки КЗ и степени продольной компенсации (рис. 3, 4). За положительное направление токов выбрано направление от шин в линию.

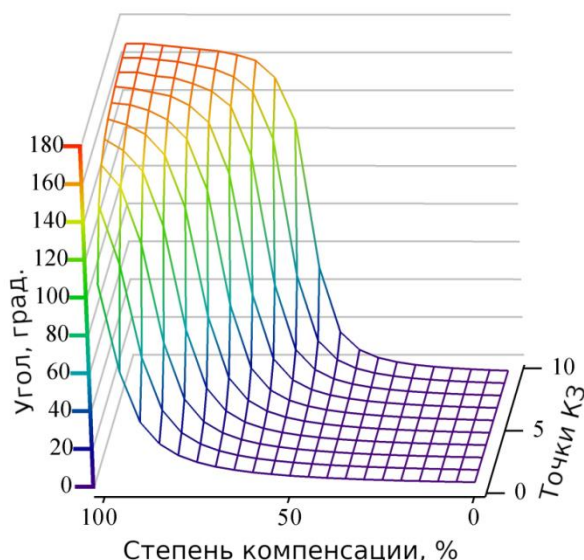


Рис. 3. График зависимости угла сдвига между векторами токов одноименных фаз по разным концам линии от локации точки короткого замыкания и степени продольной компенсации

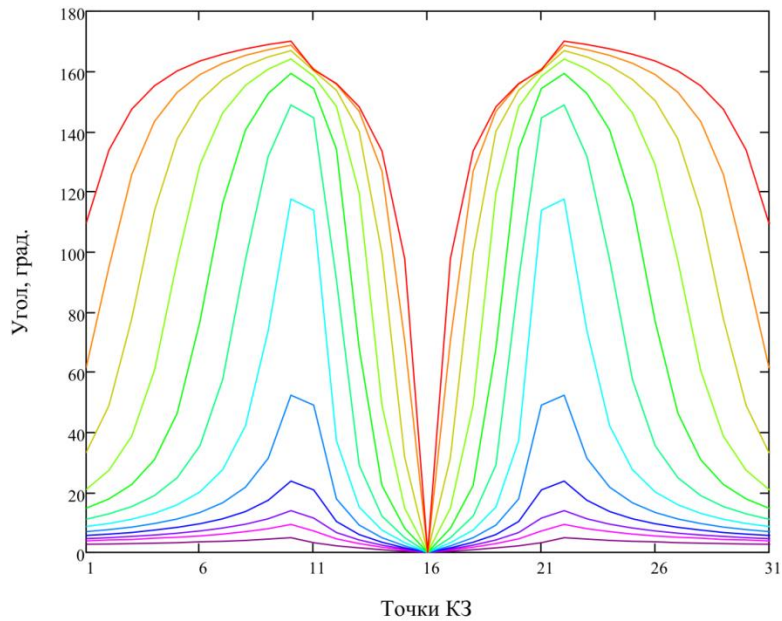


Рис. 4. График абсолютных значений зависимости угла сдвига между векторами токов одноименных фаз по разным концам линии от локации точки короткого замыкания и степени продольной компенсации

Как показали исследования и как видно из графиков чем ближе точка КЗ находится к УПК, расположенному посередине линии, и чем больше степень продольной компенсации, тем больше угол между векторами токов одноимённых фаз, причём зависимость нелинейная.

### Источники

1. Чернобровов Н.В. Релейная защита. М.: Изд-во «Энергия», 1974. 680 с.
2. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. М.: Изд-во «Энергия», 1976. 560 с.
3. Москвин И.А. Устойчивость электроэнергетической системы с регулируемой продольной компенсацией: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.14.02. Иваново, 2014. 20 с.
4. Series Compensation. Circuit Globe. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://circuitglobe.com/series-compensation.html> (дата обращения 21.02.2022).

## К ХАРАКТЕРИСТИКЕ КОЭФФИЦИЕНТА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ НОМИНАЛЬНОМ И ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОМ НАПРЯЖЕНИИ

О.Д. Семенова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ollivka@bk.ru

Науч. рук. д-р биол. наук, проф. Р.Х. Тукшаитов

Изучен ряд параметров трансформатора силовой электроники: коэффициент нелинейных искажений входного тока, коэффициент нелинейных искажений напряжения электросети, коэффициент мощности и  $\cos \varphi$  при холостом ходе и разных уровнях нагрузок. Показано, что при неполной нагрузке трансформатор следует рассматривать в качестве активно-реактивной нелинейной нагрузки с небольшим уровнем искажения синусоидальности входного тока. При холостом ходе трансформатора регистрируется наибольшее значение коэффициента нелинейных искажений, которое многократно снижается по мере повышения нагрузки.

**Ключевые слова:** трансформатор, коэффициент нелинейных искажений, номинальная нагрузка, запредельная нагрузка.

Все электросетевые нагрузки следует подразделять на четыре вида. К нелинейным нагрузкам относят диоды, тиристоры, частотные преобразователи, выпрямители. Трансформаторы традиционно рассматривают как линейные нагрузки [1]. Вместе с тем, по мере недозагрузки трансформатора или при превышении номинального значения напряжения он приобретает нелинейные свойства [2, 3], изучению которых продолжают уделять внимание [4–6]. Поэтому представляет практический интерес оценить уровень изменения нелинейности входного тока трансформатора по мере повышения напряжения его питания и величины нагрузки, а далее определиться насколько трансформатор является линейным элементом.

В работе в качестве физической модели использован трансформатор марки ТН46-220-50К с номинальной мощностью 58 Вт. По мере повышения напряжения питания трансформатора с 50 до 250 В с помощью ЛАТР модели TDGC2-1000 оценивали напряжение в электросети на входе трансформатора ( $U$ ), потребляемую мощность ( $P$ ), коэффициент мощности ( $\lambda$ ), коэффициент нелинейных искажений электрической сети ( $K_U$ ), коэффициент нелинейных искажений по току ( $K_i$ ) и  $\cos \varphi$ .

В качестве активной нагрузки трансформатора применили резисторы марки ПЭВР с номинальным сопротивлением от 18 до 51 Ом и мощностью рассеивания 50 Вт. Для измерения параметров трансформатора использовали энерготестер ПКЭ-А-С4. По паспорту для данного типа трансформатора номинальным напряжением является 220 В. Все основные изложения осуществляются относительно данного значения номинального напряжения.

На рис. 1 представлен характер изменения коэффициентов нелинейных искажений по току трансформатора при повышении напряжения питания и мощности. Показано, что  $K_i$  по мере повышения напряжения питания вначале возрастает с небольшой скоростью и только при приближении к 200 В он начинает заметно возрастать. При превышении напряжения питания номинального значения коэффициент  $K_i$  возрастает с еще большей скоростью.

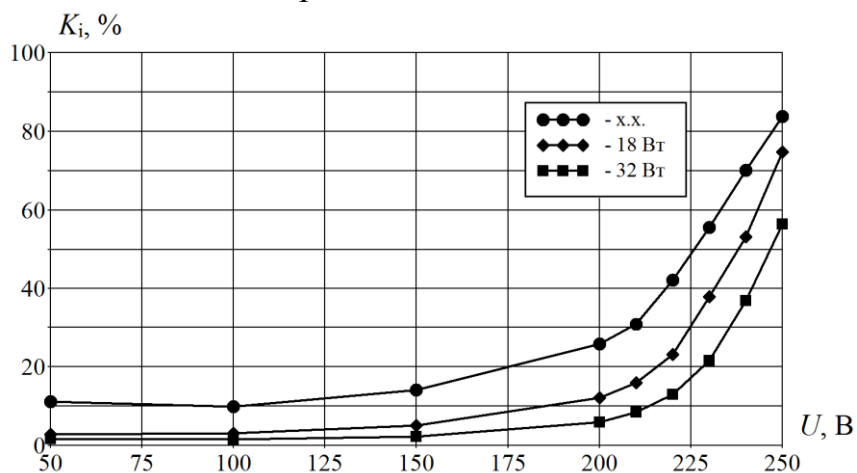


Рис. 1. Характер изменения коэффициентов нелинейных искажений по току трансформатора при повышении напряжения питания и мощности

На холостом ходу работы трансформатора  $K_i$  имеет наибольшее значение, которое уменьшается в несколько раз по мере приближения к номинальной нагрузке.

Коэффициент  $K_U$  на входе трансформатора возрастает по мере увеличения потребляемой мощности и напряжения питания. Хотя коэффициент  $K_U$  регистрируется на входе трансформатора, он отражает уровень искажения напряжения в электросети и теоретически в экспериментах должен оставаться неизменным в пределах фоновой варибельности данного показателя. Однако по мере повышения напряжения питания он повышается на 15–20 %. Это очевидно является результатом падения высших гармоник в распределительных проводах электросети, которые образуют с нагрузкой  $LR$ -фильтр, способствуя снижению уровня отдельных ВГ.

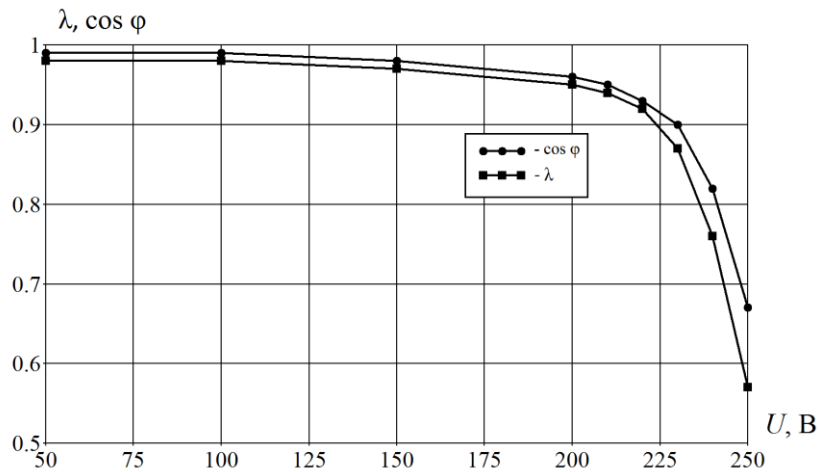


Рис. 2. Зависимость коэффициента мощности и  $\cos \varphi$  от напряжения питания

На рис. 2 показана зависимость коэффициента мощности и  $\cos \varphi$  от напряжения питания при потребляемой мощности равной 32 Вт. При приближении напряжения питания к 220 В  $\lambda$  и  $\cos \varphi$  уменьшаются соответственно на 9 и 8 %, а при достижении предельного значения (250 В) данные показатели дополнительно уменьшаются соответственно на 45 и 33 %. Аналогичная картина уменьшения  $\lambda$  имеет место в преобразователях напряжения по мере уменьшения длительности входного тока нагрузки [7, 8].

Для наглядности представления результатов исследования в таблице приведены обобщенные данные, из которых следует высокая зависимость  $K_i$  от потребляемой мощности и уровня перегрузки трансформатора.

Значения коэффициента нелинейных искажений при разных формах входного тока нагрузки

№	Режим трансформатора	Уровень $K_i$ при номинальном напряжении, %	Уровень $K_i$ при предельном напряжении, %	Коэф. мощности, $\lambda$
1	На холостом ходу	40	84	0,12
2	При потребляемой мощности равной 18 Вт	23	75	0,78
3	При потребляемой мощности равной 32 Вт	12	56	0,57

Трансформаторы силовой электроники при потребляемой мощности менее номинального следует рассматривать как активно-реактивно нелинейную нагрузку.

По уровню коэффициента нелинейных искажений трансформаторы силовой электроники при недозагрузке могут быть отнесены к группе выпрямительных диодов, тиристоров и других полупроводниковых приборов.

По мере повышения напряжения питания и уменьшения потребляемой мощности коэффициент нелинейных искажений возрастает при одновременном уменьшении коэффициента мощности.

В технических паспортах трансформаторов 50 % загрузки и превышении напряжения питания на 10 % целесообразно в качестве дополнительных параметров приводить значения коэффициента мощности и коэффициента нелинейных искажений.

### Источники

1. ГОСТ 11677-1985. Межгосударственный стандарт. Трансформаторы силовые. Общетехнические условия. М.: Госстандарт, 1985.

2. Тимонин Ю.Н., Ершов С.В. Потери при нелинейных нагрузках и определение оптимальных режимных параметров силовых трансформаторов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. № 3-5. С. 89-93.

3. Усачев Р.Д. Необходимые параметры, требуемые для выбора и расчета ее защиты // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 12. Ч. 3. С. 146-150.

4. Бурлак И.И., Пляшко М.С., Гура Д.Н. и др. Вопрос актуализации параметров силовых трансформаторов // Главный энергетик. 2019. № 10. С. 26-32.

5. Соколов-Савинцев Ю.М. «Красные линии» оптимизации параметров силового трансформатора // Энергоэксперт. 2021. № 4(80). С. 54-56.

6. Тукшаитов Р.Х. Определение уровня нелинейных искажений входного тока разных типов нагрузок на основе измерения коэффициента мощности и его сомножителя  $\cos \varphi$  // Практическая силовая электроника. 2018. № 4. С. 30-35.

7. Тукшаитов Р.Х. О коэффициенте мощности и  $\cos \varphi$  выпрямительного устройства при разных активно-емкостных нагрузках и уровне эмиссии в электросеть высших гармоник // Практическая силовая электроника. 2019. №3. С. 53-55.

8. Тукшаитов Р.Х., Семенова О.Д. Об одном способе подключения «нелинейных» нагрузок для снижения уровня их влияния на качество напряжения электросети // В сб.: Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. III Всерос. науч.-практ. конф. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2021. С. 247-251.

## ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ SAR

А.С. Соловской<sup>1</sup>, В.Ю. Васильев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «АлтГТУ», г. Барнаул

<sup>1</sup>solovskoyas@mail.ru, <sup>2</sup>vasilievvalerij@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, доц. Е.В. Титов

В статье рассматривается эффективность экранирования от различных материалов, поглощающие электромагнитное излучение частотой 900 МГц – стекло, стеклотекстолит класса огнестойкости 94V-0 (FR-4), тетрафторэтилен (тефлон), никель, арсенид галлия и кремний. Представлены результаты значений SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub>, коэффициенты уменьшения SAR (SRF) в зависимости от экранирующего материала. Рассматриваются изменения значений SAR от ширины (от 30 до 50 мм) и толщины экрана (от 3 до 6 мм).

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, экранирование, SAR, коэффициент уменьшения SAR, экранирующий материал.

В современном мире электромагнитное излучение (ЭМИ) окружает человека повсеместно – сотовые телефоны, микроволновые печи, Wi-Fi, телевизор и т.д., оказывающее неблагоприятное биологическое воздействие на организм человека, животных и окружающую среду. В случае воздействия ЭМИ на человека, происходит поглощение энергии из-за высокого содержания жидкости в организме человека (70 %), приводящее к локализованному нагреву внутренних органов [1, 2].

Характеристики любого материала определяются проводимостью и диэлектрической проницаемостью. Указанные параметры контролируют свойства материала от распространения электромагнитных волн (ЭМВ). В случае передачи ЭМВ без потерь, мощность волны не изменяется.

Однако в некоторых случаях мощность волны проникает в среду с потерями, обусловленными коэффициентом ослабления. Тогда, ЭМВ разделяется на три составные части – отраженную, поглощенную и переданную волны.

Излучение, поглощаемое биотканью человека, характеризуется удельным коэффициентом поглощения электромагнитной энергии (SAR – specific absorption rate). Особенно данный показатель необходим при контроле ЭМИ от мобильных телефонов [3].



Рост использования беспроводного оборудования определяет актуальность максимального снижения значения SAR путем установки экрана между тканями человека и источником ЭМИ. Материалы, поглощающие электромагнитные излучения, подразделяются на три категории: углеродные материалы, ферриты и керамические материалы.

Исследования [4, 5] рассматривают эффективность экранирования от различных материалов, поглощающие ЭМИ – стекло, стеклотекстолит класса огнестойкости 94V-0 (FR-4), тетрафторэтилен (тефлон), никель, арсенид галлия и кремний. Эксперименты проводились с помощью имитационной модели, содержащей стандартную модель человеческой головы (антропоморфный манекен), дипольную антенну (выходная мощность – 500 МВт, рабочая частота – 900 МГц, расстояние до модели – 25 мм, размеры: высота – 80 мм, ширина – 40 мм, толщина – 3 мм), изготовленную из меди, и экрана. При отсутствии экранирующего материала значения SAR составляют 2,99 и 1,5 Вт/кг для среднего значения SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub>, соответственно.

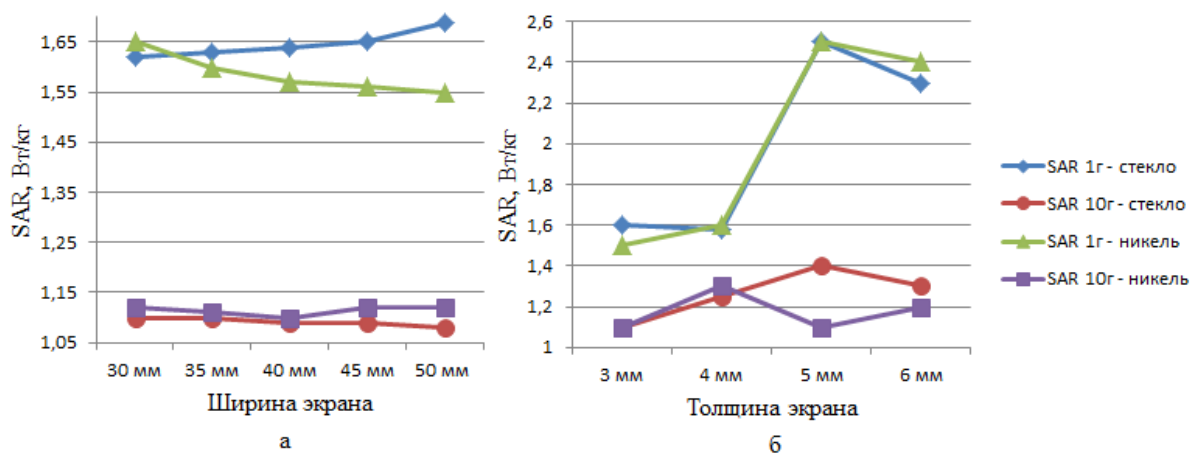
При экранировании ЭМИ стеклом значения SAR уменьшаются до 1,63 Вт/кг и 1,01 Вт/кг для SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub> соответственно. Коэффициент уменьшения SAR (SAR Reduction Factor – SRF – процент уменьшения значения SAR после установки экрана) составляет 45,5 % и 27,9 % для SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub> соответственно. В случае экранирования стеклотекстолитом класса огнестойкости 94V-0 (FR-4) значения SAR уменьшаются до 1,63 и 1,09 Вт/кг, SRF – 45,6 и 28 % для SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub>, соответственно.

Значения SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub>, SRF<sub>1г</sub> и SRF<sub>10г</sub>, а также свойства указанных экранирующих материалов представлены в таблице.

SAR и SRF с использованием различных экранирующих материалов

Экран	SAR <sub>1г</sub> и SAR <sub>10г</sub> , Вт/кг	SRF <sub>1г</sub> и SRF <sub>10г</sub> , %	Диэлектрическая проницаемость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Тангенс угла диэлектрических потерь
Без экрана	2,99 ; 1,5	– ; –	–	–	–
Стекло	1,63 ; 1,01	45,5 ; 27,9	4,82	2230	0,0054
FR-4	1,63 ; 1,09	45,6 ; 28	4,34	1850	0,008
Тефлон	1,61 ; 1,08	46,1 ; 28,7	2,1	2200	0,0002
Никель	1,6 ; 1,12	46,7 ; 25,5	600	8900	1,44e <sup>-1</sup> См/м
Арсенид галлия	1,58 ; 1,2	47 ; 26	12,94	5320	0,006
Кремний	1,54 ; 1,09	48,4 ; 28	11,9	2330	0,005
Предельная величина SAR: SAR <sub>1г</sub> – 1,6 Вт/кг; SAR <sub>10г</sub> – 2 Вт/кг					

Изменения значений SAR от ширины (от 30 до 50 мм) и толщины экрана (от 3 до 6 мм) из стекла и никеля представлены на рисунке.



Значения SAR<sub>1г</sub> и SAR<sub>10г</sub> в зависимости от ширины (а) и толщины (б) экрана

Основываясь на результатах, показанных рисунке, размер экранирующего материала из стекла влияет на прочность сцепления, в результате чего увеличивается значение SAR. Однако, увеличение толщины экрана способствует снижению уровня SAR. Экранирующий материал из кремния обеспечивает наибольший коэффициент снижения SAR, чем другие материалы.

Изменение размера экрана влияет на значение SAR. Экран, действующий как отражатель для ЭМИ, увеличивает индуцированное электрическое поле. Таким образом, значение SAR увеличивается за счет увеличения размера экрана. Экран, действующий как поглотитель ЭМИ, уменьшает индуцированное электрическое поле, снижающее значение SAR за счет уменьшения размера экрана.

### Источники

1. Яргин С.В. О биологическом действии электромагнитного излучения радиочастотного диапазона // Сибирский научный медицинский журнал. 2019. 39 (5). С. 52–61. Doi: 10.15372/SSMJ20190506.

2. Белашов В.Ю., Асадуллин А.И., Рылов Ю.А. Экспериментальные исследования ЭМ полей, генерируемых в широком диапазоне частот на предприятиях энергетики и промышленности // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. № 7-8. С. 54-59.

3. Соловской А.С., Васильев В.Ю., Титов Е.В. К развитию принципов контроля SAR от излучающих источников // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах: сб. материалов XIV Межд. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2021. С. 506-1-506-6.

4. Alaa N., El-Deeb W.S., Zaghoul A. Effect of Shielding with Electromagnetic Absorbing Materials on Specific Absorption Rate Reduction // International Japan-Africa Conference on Electronics, Communications and Computations (JAC-ECC). 2018. Pp. 134-138. Doi: 10.1109/JEC-ECC.2018.8679538.

5. Pikale R., Sangani D., Chaturvedi P., Soni A., Munde M. A Review: Methods to Lower Specific Absorption Rate for Mobile Phones // International Conference On Advances in Communication and Computing Technology (ICACCT). 2018. Pp. 340-343. Doi: 10.1109/ICACCT.2018.8529654.

УДК 621.316

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

И.И. Шамсемухаметов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilnarshamms@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Р. Шириев

В данной статье рассмотрен вопрос о повышении эффективности электроэнергии посредством замены ламп накаливания на светодиодные. Были разобраны различия в их характеристиках в сравнении с другими источниками света, используемыми в данный момент. Кроме того, был произведен расчет для выявления экономической эффективности при замене.

**Ключевые слова:** электричество, энергия, энергосбережение, лампы накаливания, светодиодные лампы.

Освещение является одной из основных потребностей современного общества, поскольку оно освещает людей и предметы в то время, когда уровень естественного освещения недостаточен. В настоящее время на предприятиях в основном используются неэффективные и технически устаревшие системы освещения, потребляющие много электроэнергии, что сказывается на качестве работы сотрудников и приводит к большим экономическим затратам. Эту проблему решают заменой ламп накаливания и других менее эффективных ламп на энергосберегающие лампы.

На данный момент существует документ, ISO 50001:2011 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по использованию», являющийся стандартом повышения энергоэффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду [1]. По требованиям данного стандарта на каждом предприятии должна проводиться проверка всех энергетических ресурсов на эффективность их использования для выявления систем, для которых в будущем будут разработаны решения. С 2009 г. в России действует закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», с его помощью были введены новые правила, которые направлены на снижение энергопотребления [2]. Комплекс мероприятий, которые направлены на снижение количества используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования называют энергосбережением.

Примерно 13 % всей электроэнергии в России выделяется для электроосвещения. Промышленное производство использует на освещение до 10 %, сфера услуг достигает до 25 %. Компании используют различные источники света, которые представлены в таблице ниже.

Основные параметры источников света

Тип	Диапазон стетоотдачи, лм/Вт	Коэффициент запаса, $K_{эл}$	Срок службы, ч
Лампы накаливания	10–15	1,1	1 000
Галогенные лампы накаливания	16–24	1,1	2 000
Ртутно–вольфрамовые лампы	20–28	1,2	6 000
Ртутные лампы высокого давления	50–60	1,3	12 000
Натриевые лампы высокого давления	90–120	1,3	12 000
Металлогалогенные лампы высокого давления	70–90	1,3	12 000
Люминесцентные лампы низкого давления	60–80	1,3	10 000
Люминесцентные лампы низкого давления с улучшенной цветопередачей	70–95	1,25	10 000
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	60–70	1,25	9 000
Натриевые лампы низкого давления	120–180	1,3	12 000
Светодиодные лампы	60–120	1,5	До 50 000

Согласно таблице, можно сделать вывод, что лампы накаливания уступают другим по характеристикам более чем в 2 раза, что означает их низкую эффективность. Следовательно, они подлежат замене.

Светодиодные лампы являются самыми лучшими из-за их срока службы. Кроме того, они имеют следующие достоинства: высокий КПД; малый размер; высокая механическая прочность и вибростойкость; безопасность использования; нечувствительность к низким температурам; отсутствие токсичных компонентов, что исключает отравление при переработке и при эксплуатации.

При расчете потребления на год выходит следующее [3]:

1. Потребление энергии в год при режиме работы в 8 часов:

А. Лампа накаливания 60 Вт:

$$0,06 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ часов} \cdot 365 \text{ дней} = 175,2 \text{ кВт}.$$

В. Светодиодная лампа 6 Вт:

$$0,006 \text{ кВт} \cdot 8 \text{ часов} \cdot 365 \text{ дней} = 1,75 \text{ кВт}.$$

2. Стоимость электроэнергии, потребляемой 1 лампой при тарифе 2 рубля.

А. Лампа накаливания 60 Вт:

$$175,2 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ руб./кВт} = 350,4 \text{ руб.}$$

В. Светодиодная лампа 6 Вт:

$$1,75 \text{ кВт} \cdot 2 \text{ руб./кВт} = 3,5 \text{ руб.}$$

3. Ежегодная экономия от замены 1 лампы:

$$350,4 - 3,5 = 346,9 \text{ руб.}$$

Также, учитывая тот факт, что срок службы одной светодиодной лампы около 50 000 часов, в течении года при заявленной работе замен не потребуется, так как  $8 \cdot 365 = 2920$  часов. За то же время лампы накаливания будут заменены 2 раза.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что замена ламп накаливания на светодиодные является очень выгодным для предприятия в связи с их преимуществами и минимальными затратами.

### **Источники**

1. ISO 50001:2011. Energy management systems – Requirements with guidance for use / International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 2011. 22 p. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=51297](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51297) (дата обращения 12.03.22).

2. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261 ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> (дата обращения 12.03.22).

3. Тульчинская Я.И. Методика оценки эффективности замены светильников и ламп на энергосберегающие // Нефтегазовое дело. 2012. №4. С. 570-589.

УДК 621.311

## ПОДВОДНЫЙ ДАТА-ЦЕНТР

П.В. Юдин<sup>1</sup>, В.Н. Шевченко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

<sup>1</sup>Zloazazin@yandex.ru, <sup>2</sup>vovashevchenko.01@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Струмеляк

Современный мир сталкивается с проблемой, связанной с необходимостью хранения большого количества данных, для этого необходимо устанавливать центры обслуживания данных (ЦОД). В работе выполнен обзор экспериментального метода «подводных ЦОД».

**Ключевые слова:** ЦОД, охлаждение серверов, затрат электроэнергии, компании.

На протяжении многих лет крупные современные компании используют большое количество цифровой памяти для хранения важных данных. Для обеспечения безотказной работы информационных систем предприятий, доверяют специальным дата-центрам. Однако, современные центры обслуживания данных (ЦОД) постоянно расширяются, объем данных генерируется и накапливается человечеством, в то время как энергетические компании ставят ограничения по увеличению мощности. Поэтому возникает проблемы с охлаждением серверов, которым необходимо большое количество электроэнергии, так как работают без перерывов. Для повышения энергоэффективности ЦОД, необходимо уменьшать энергопотребление компании [1].

В данной работе выполнен обзор особого метода охлаждения в местах с природными и геологическими условиями, а именно - помещении ЦОД под воду. В рамках этой темы предлагается Российским компаниям, располагать свои сервера в специальных контейнерах и опускать их под воду.

В частности, одна из крупнейших транснациональных компаний Microsoft успешно завершила двухлетние испытания подводного дата-центра «Project Natick». Их цель – доказать преимущества размещения облачной инфраструктуры под водой и обеспечить прибрежные населенные пункты хорошей передачей данных [2].

В качестве достоинств установки ЦОД под воду можно выделить:

1. Уменьшение затрат электроэнергии на охлаждение, примерно на 95 %, что позволит питать дата-центры от возобновляемых источников энергии (СЭС и ВЭС) [3].

2. Повышение надежности серверов ЦОД. За время работы «Project Natick» из строя вышло в 8 раз меньше серверов, чем в аналогичной конфигурации в дата-центре на поверхности земли. Связано это за счет уменьшения влажности в информационных системах, а также отсутствие персонала, который может повредить оборудование [2].

3. Близкое расположение к прибрежным потребителям, что обеспечит им быстрое перемещение данных между источником и пунктом назначения.

4. Экологичность, так как используются ВИЭ для электроснабжения подводных ЦОД.

5. Строительство подводных дата-центров быстрее, чем наземных [2].

С другой стороны, к недостаткам относятся:

1. Невозможность проведения частичного ремонта, так как находится под водой и полностью загерметизирован;

2. Обязательная установка водоохранной зоны, для исключения возможности повреждения подводного ЦОД якорями, рыбаками и т.д.;

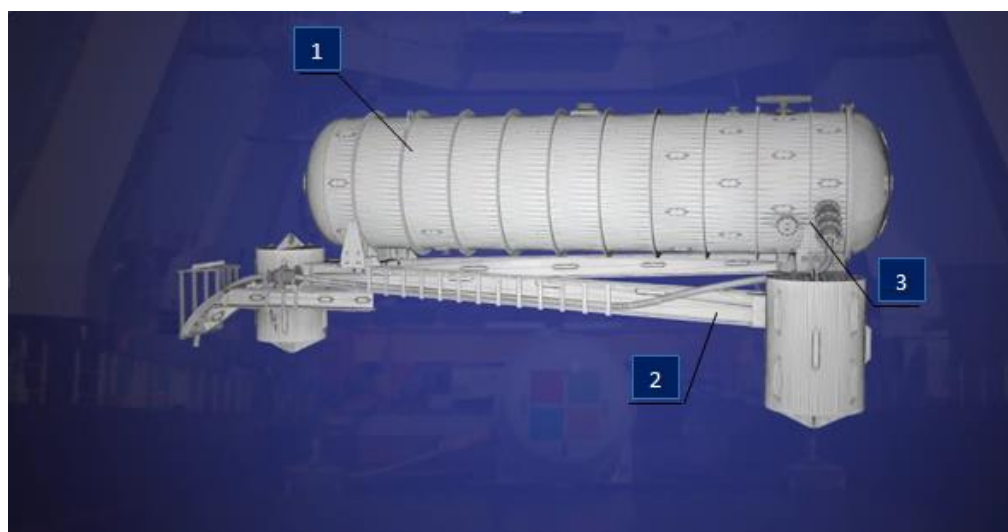
Приведем технико-экономический расчет и анализ систем охлаждения ЦОДа, который представлен в таблице. Для наглядного показания были выбраны такие центры, как: DataPro, DataLine Nord, ММТС-9, SDN и LinxDataCenter [4].

### Сравнительный анализ систем охладений ЦОД

Фирма	Способ охлаждения	Мощность МВт	Электропотребление охлаждения ЦОД на дне, МВт	Электропотребление охлаждения на данный момент, МВт	Экономия, МВт
DataPro	EcoBreeze	20	0,35	1,75	1,4
DataLune Nord «Ростелеком»	кондиционеры	23	0,4025	8,05	7,6475
MMTC - 9	кондиционеры	15,3	0,26775	5,355	5,08725
SDN	Free Cooling	14	0,245	1,96	1,715
LinxDaCenter	кондиционеры	12	0,21	4,2	3,99

Таким образом, компания экономит не только на покупки новых серверов, но и на уменьшении электропотреблении в целом.

Установка ЦОД нового поколения представляет собой комплекс, состоящий из: внутренней части стандартных компьютерных стоек, к которым крепятся теплообменники, отводящие тепло воздуха в теплоемкую жидкость (обычная вода). Затем эта жидкость закачивается в теплообменник на внешней стороне контейнера, который, в свою очередь отдает тепло в окружающую воду. Для обеспечения сухого внутреннего пространства используют сухой азот, в результате которого уменьшит влажность в контейнере. Сама внешняя конструкции представляет собой треугольную платформу, на которой установлен полностью герметизированный контейнер, покрытый защитной антикоррозионной лакокрасочным материалом (см. рисунок) [5].



Внешний вид подводного дата-центра: 1 – герметичный контейнер с антикоррозионным покровом; 2 – треугольное основание (подводная стыковочная система); 3 – кабель передачи данных



В связи с нынешними ситуациями в мире, данный проект можно реализовать в России и не обращаться к зарубежным поставщикам. Подрядными Российскими компаниями могут быть: ОАО «ПО «СЕВМАШ» или «Адмиралтейские верфи» для проектирования и изготовления герметизированных контейнеров нужной длины, ширины и объемом; «Азотная установка», которая обеспечит ЦОД осушенным азотом.

Таким образом в ходе работы было определено, что подводный ЦОД может заинтересовать многие компании из России, за счет своей надежности, экономичности и возможности быстрой передачи данных. Однако, необходим ряд экспериментов, как сделала компания Microsoft, которая подтвердит выгодность метода. Возможно, еще пару лет и мы увидим действующие подводные дата-центры и в нашей стране.

### **Источники**

1. Прохоров А., Рахматуллин С. Центры обработки данных. Анализ, тренды, мировой опыт; 1-е изд. М: «АльянсПринт». 2021. 416 с.

2. Project Natick Phase 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://natick.azurewebsites.net/> (дата обращения 12.03.2022).

3. Microsoft declares its underwater data center test was a success [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arstechnica.com/information-technology/2020/09/microsoft-declares-its-underwater-data-center-test-was-a-success/> (дата обращения 12.03.2022).

4. Родные ЦОДы: обзор российских дата-центров (ч. 1) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/poiskvps/blog/324994/> (дата обращения 12.03.2022).

5. Дата-центры, как искусство: дата-центры на дне океана [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/ua-hosting/blog/323826/> (дата обращения 12.03.2022).

## Секция 7. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.316

### ВЛИЯНИЕ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Г.И. Ахметзянова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gulshat\_ahmetzyanova@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.Н. Гавриленко

Работа посвящена проблеме эффективности релейной защиты. Проблемы, вызванные наличием двигательной нагрузки, требуют особого внимания. На двигательную нагрузку приходится большая часть нагрузки системы электроснабжения промышленных предприятий. Сбой питания на короткое время в системе электроснабжения может стать причиной невозможности самозапуска двигательной нагрузки. Электродвигатели особенно чувствительны к перепадам напряжения, так как нагрузка все еще требует энергии, которой, помимо инерции движущихся частей, уже недостаточно. Анализируются пути повышения эффективности и обсуждаются направления разработки новых решений.

**Ключевые слова:** двигательная нагрузка, релейная защита, чувствительность, резервная защита.

Когда на ПС имеется двигательная нагрузка, то выбор параметров для срабатывания резервных защит становится сложнее [1]. Потому что это приводит к увеличению модулей токов линий и, в частности, их аргументов, что приводит к появлению между областью нагрузок и областью аварийных режимов (КЗ) области пусковых режимов или области самозапусков электродвигателей [2]. При этом возможно пересечение областей короткого замыкания и пускового режима, что не позволяет распознавать эти режимы и, как следствие, создавать чувствительную резервную защиту [3].

Смоделируем две схемы, чтобы посмотреть как ведут себя значения токов при самозапуске и при коротком замыкании. От первой схемы, имитирующей самозапуск двигателя, получаем график, изображенный на рис. 1. На рис. 1 представлен переходной процесс, который показывает самозапуск по скорости, без нагрузки, а на рис. 2 переходной процесс, когда двигатель вышел на максимальные обороты перед подключением нагрузки, и мы видим, как ток снижается.

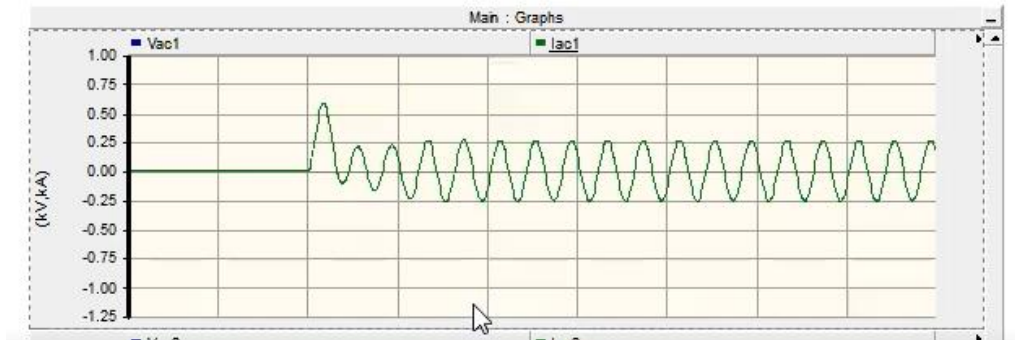


Рис. 1. График тока одной фазы при самозапуске

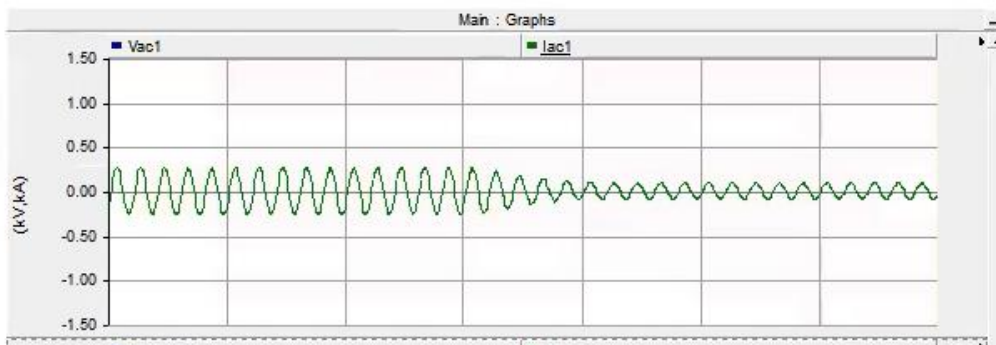


Рис. 2. График тока одной фазы при самозапуске

Смоделируем схемы при коротком замыкании, получаем график изображенный на рис. 3.

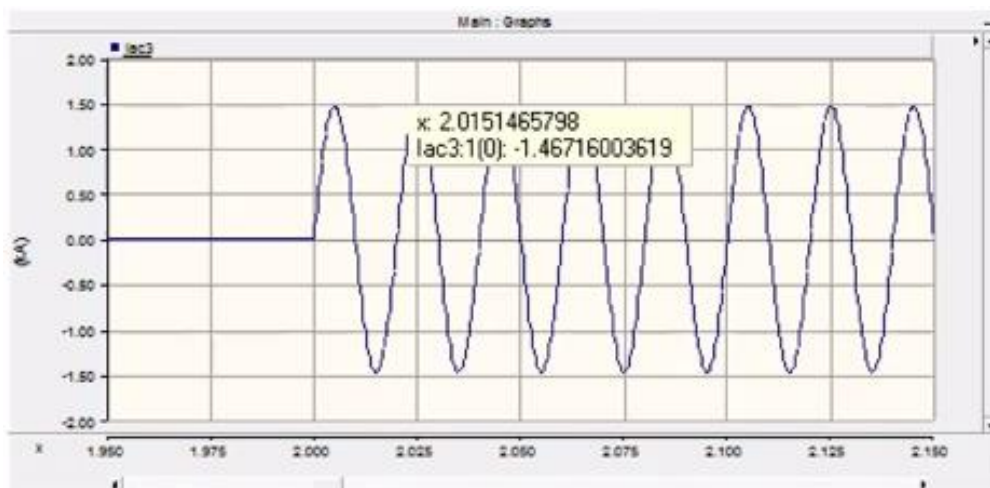


Рис. 3. График тока при коротком замыкании

В настоящей работе изучаются признаки, отличающих короткое замыкание от самозапуска и рассматриваются пути повышения эффективности релейной защиты.

### **Источники**

1. Нагай В.И., Маруда И.Ф., Нагай В.В. Резервирование релейной защиты и коммутационных аппаратов электрических распределительных сетей // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2009. 316 с.
2. Горюнов Владимир Николаевич, Клецель Марк Яковлевич, Стинский Александр Сергеевич, Шахаев Куаныш Тулеугазыевич // Научная электронная библиотека «КиберЛенинка», 2009.
3. Нагай И.В. Формирование характеристик срабатывания резервных защит воздушных линий с ответвлениями // Известия вузов. Электромеханика. 2011. № 2. С. 56-61.

УДК 621.315.175

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАТЧИКОВ ГОЛОЛЕДНОЙ НАГРУЗКИ**

Г.В. Васильев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

gleb-vasilev-99@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.В. Писковацкий

На сегодняшний день практически вся электроэнергия передается и распределяется с помощью воздушных линий электропередачи (ЛЭП). ЛЭП являются важным элементом энергетической системы, так как обеспечивают доставку электрической энергии непосредственно до потребителя, поэтому работоспособность ЛЭП крайне важна. Гололедные отложения на проводах – одна из нескольких причин появления аварийной ситуации на ЛЭП. Аварии из-за гололеда являются весьма тяжелыми и трудно устраняются, поэтому отслеживание и своевременное принятие мер по гололедным образованиям является актуальным направлением. Отслеживать гололед на проводах ЛЭП позволяют специальные датчики гололедной нагрузки. Исследование датчиков гололедных отложений помогло определить существенные преимущества и недостатки одних перед другими. Поэтому, данные результаты могут использоваться в практических целях, при выборе датчиков, в зависимости от климатических условий и топологии сети.

**Ключевые слова:** датчик гололедной нагрузки, механический датчик, оптический датчик, радиоактивный датчик, преимущества, недостатки, локационный метод, импульс, гололед, сигнал, воздушная линия, бесконтактные датчики.

При образовании гололедных отложений на воздушных линиях (ВЛ) изменяются физические, геометрические и другие параметры. Поэтому есть возможность использования датчиков гололеда, основанных на различных методах определения наличия гололеда на линии электропередачи (ЛЭП) [1].

Датчики при образовании гололеда на ЛЭП могут реагировать на изменения следующих перечисленных параметров: физических параметров среды, которая окружает провода (оптические и радиоактивные датчики); веса или натяжения проводов (механические, а также датчики магнитоупругого типа); условий распространения высокочастотных и импульсных сигналов по проводам воздушных линий (локационное зондирование) [2].

Измерение и контроль веса одного или нескольких пролетов провода воздушной линии электропередачи – это наиболее легкий и самый распространенный в практике способ обнаружения гололедных образований. Конструкции механических датчиков гололеда построены на преобразовании взаимного передвижения деталей датчика в сигнал, передающийся на диспетчерский пункт. Но, несмотря на их простой принцип работы и распространенность в сетях, эти датчики имеют ряд недостатков: небольшая надежность и сложное конструктивное исполнение (из-за большого количества подвижных, механически связанных элементов, которые сильно изнашиваются в процессе эксплуатации). Поэтому, более надежными являются бесконтактные датчики, не имеющие перемещающихся механических деталей. Также, механические датчики обнаруживают уже имеющиеся гололедные отложения на ЛЭП, значения которых превышают критические. Начало образования гололеда не фиксируется – это большой недостаток. Еще одним недостатком таких датчиков является их неуниверсальность. Данные датчики не получится применять без дополнительной конфигурации для любого типа воздушной линии электропередачи (ВЛЭП). Потому что каждая ЛЭП может иметь разные параметры, под которые нужно настраивать механические датчики. Также существуют датчики магнитоупругого типа, позволяющие аналогично механическим измерять вес провода ЛЭП. При использовании данных датчиков появляется возможность отслеживать начальные стадии появления гололеда на линии электропередачи. Но большой недостаток в том, что с течением времени свойства электротехнической стали (основной компонент датчика) ухудшаются и появляется слишком большая погрешность в измерениях. Стоит отметить, что у всех датчиков, устанавливаемых непосредственно на ЛЭП, должен иметься источник питания, что является большим неудобством при монтаже и эксплуатации, а также несет за собой дополнительные финансовые затраты [3].

Датчики, основанные на физических параметрах среды, окружающей провода, имеют сложность конструкции (например, для радиоактивного датчика), возможность ложного срабатывания при запылении (например, для оптического датчика), а также необходимость системы телемеханики для передачи информации от датчика, расположенного на линии, на подстанцию диспетчеру. Преимуществом является способность контролировать и отслеживать начало процесса образования гололедных отложений, что позволяет осуществлять качественный мониторинг ЛЭП и вовремя предпринимать меры по устранению гололедных отложений (плавка гололеда) [4].

Наибольшую популярность набирают бесконтактные датчики, принцип работы которых основан на локационном методе. Метод позволяет определить наличие гололедных образований на проводах линий электропередач и их величину путем сопоставления времени прохождения сигналов (или амплитуд отраженных сигналов) при наличии и при отсутствии гололедных отложений. Главное превосходство локационного зондирования над остальными методами заключается в нахождении всей необходимой аппаратуры на подстанциях, а это означает, что нет необходимости располагать непосредственно на ЛЭП какие-либо устройства. Это преимущество позволяет активно разрабатывать и внедрять в практику локационные способы обнаружения гололеда. Недостатком локационного метода является неспособность отличить наличие малого по толщине гололедного отложения на большой длине ЛЭП от опасной концентрации льда в отдельных ее пролетах (сложность в определении габаритов гололеда) [5].

### **Источники**

1. Минуллин Р.Г., Абдуллазянов Э.Ю., Касимов М.Р., Яруллин М.Р. Современные методы обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи. Ч.1. Методы прогнозирования и взвешивания проводов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. №7-8. С.68-78.

2. Минуллин, Р.Г. Локационное обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи. Часть 1. Способы обнаружения гололеда / Р.Г. Минуллин, В.А. Касимов, Т.К. Филимонова, М.Р. Яруллин // Научно-технические ведомости СанктПетербургского государственного политехнического университета. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». 2014. № 2 (193). С. 61–73.

3. СТО 56947007-29.240.55.113-2012. Методические указания по применению сигнализаторов гололеда (СГ) и прогнозированию гололедоопасной обстановки. ПАО «ФСК ЕЭС». 2012.

4. Международная молодежная научная конференция «Тинчуриные чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация». В 3 т. Т. 1. С. 264-265.

5. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололеда и повреждений на воздушных линиях электропередачи локационным методом // Энергетика Татарстана. 2011. № 2 (22). С. 15–17.

УДК 621.3

## ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЛС

В.А. Волгин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

volodya.volgin2019@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Ф. Ярыш

В статье рассмотрены решения по мониторингу волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) для качественной передачи сигнала. Автоматизированные системы мониторинга позволяют оперативно отслеживать места повреждений, определять местоположение данной неисправности и уведомлять о нем ремонтный персонал обслуживающей организации. Также в статье были рассмотрены некоторые особенности организации систем мониторинга ВОЛС.

**Ключевые слова:** мониторинг, рефлектометр, ВОЛС, RFTS, коэффициент затухания.

В большинстве стран мира телекоммуникационные сети базируются на применении волоконно-оптических линий связи (ВОЛС).

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) имеют ряд преимуществ, таких как: большая длина ретрансляционного участка (100 км), широкая полоса пропускания (по ОВ можно передавать сигналы со скоростью 100 Гбит/сек), наличие бесшовной конструкции (любое внешнее воздействие изменяет характеристики оптоволокна, что позволяет своевременно обнаружить несанкционированный доступ к ВОЛС), небольшая масса и габариты относительно проводов [1].

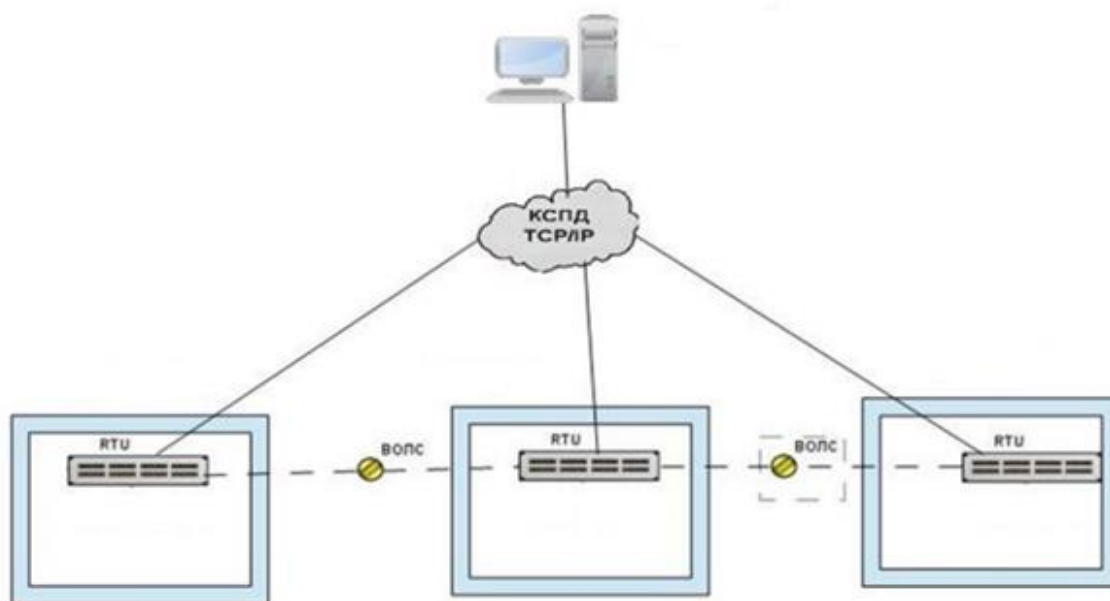
Мониторинг ВОЛС облегчает эксплуатацию оптических линий и обеспечивает высокое качество их работы.

Волоконно-оптические сети связи (ВОСС) увеличивают свою производительность с возрастающей скоростью и требуют контроля своих параметров, как и все другие сложные технические системы.

В современных ВОСС для решения задач по измерению параметров волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) используются автоматизированные системы мониторинга.

Так профессиональные системы мониторинга оптического волокна позволяют работать с разными волокнами, в том числе есть возможность контролировать «темные», неиспользуемые (на длине волны 1550 нм), а также активные, рабочие (на длине волны 1625 нм или 1650 нм), оптические волокна [2].

Система дистанционного тестирования оптоволокна (Remote Fiber Test System – RFTS) – эта система позволяет автоматически отслеживать параметры волоконно-оптических кабелей, находить место повреждения или разрыва и сообщать о местоположении неисправности диспетчеру, обслуживающему персоналу. Уведомления могут быть отправлены на predetermined узлы обслуживания ВОЛС, телефоны, IP-адреса или адреса электронной почты (см. рисунок).



Организация системы RFTS

RTU (Remote Test Unit) – модули дистанционного тестирования волокон. Эти модули включают следующие устройства:



1) OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) - оптические импульсные рефлектометры;

2) OTAU (Optical Test Access Unit) - аппараты доступа для тестирования волокон. Данные аппараты отвечают за подключение к оптическому кабелю.

3) оптические коммутаторы;

4) узлы контроля сети ONT.

Также для мониторинга оптоволокна необходимы мультиплексоры, которые обеспечивают смешение двух волн, идущих от системы мониторинга и от оборудования передачи.

Таким образом, автоматизированные системы мониторинга ВОЛС решают следующие задачи:

1) оперативное оповещение персонала о повреждениях в ВОЛС;

2) обнаружение неисправностей и поврежденных участков в автоматическом режиме;

3) наличие подробной информации об аварии у обслуживающего персонала;

4) сокращение времени и человеческих ресурсов, затрачиваемых на борьбу с повреждениями ВОЛС.

### **Источники**

1. Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. 2012. 3-6 с.

2. Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи измерения. М: Компания САЙРУС – СИСТЕМС, 1999. 672 с.

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В СИСТЕМЕ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Э.И. Галиев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

galievemir@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Ф. Ярыш

В настоящее время имеется большое разнообразие устройств контроля и измерения изоляции в сети оперативного постоянного тока. Для надежной работы релейной защиты и противоаварийной автоматики к данным устройствам предъявляются следующие требования: селективное определение поврежденного фидера, возможность работы с традиционной схемой контроля изоляции, предотвращение появления высокого напряжения на дискретных входах микропроцессорных устройств и промежуточных реле.

Цель работы: провести сравнительный анализ технических характеристик и функций устройств контроля изоляции, выпускаемых промышленностью и используемых на энергообъектах. В процессе исследования были использованы следующие методы: метод анализа, метод сравнения. Результаты анализа могут быть использованы для вновь проектируемых систем оперативного постоянного тока.

**Ключевые слова:** система оперативного постоянного тока, контроль изоляции, сопротивление изоляции, замыкание на землю, поврежденный фидер, релейная защита и противоаварийная автоматика.

Наиболее распространенным видом повреждения в сети оперативного постоянного тока является однополюсное замыкание. Данный вид повреждения не приводит к разрушениям электротехнической аппаратуры, поскольку при возникновении замыкания на землю возникает ток небольшой величины, обусловленный утечкой через изоляцию второго неповрежденного полюса. Однако появление замыкания на землю в другой точке сети способно привести к ложному срабатыванию или отказ устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Широко применяется традиционное устройство контроля измерения изоляции (УКИ) [1], выполненное в виде мостовой схемы (см. рисунок). Данная схема не действует при симметричном снижении изоляции на обоих полюсах и позволяет определить поврежденный фидер путем поочередного отключения от шин постоянного тока присоединений.

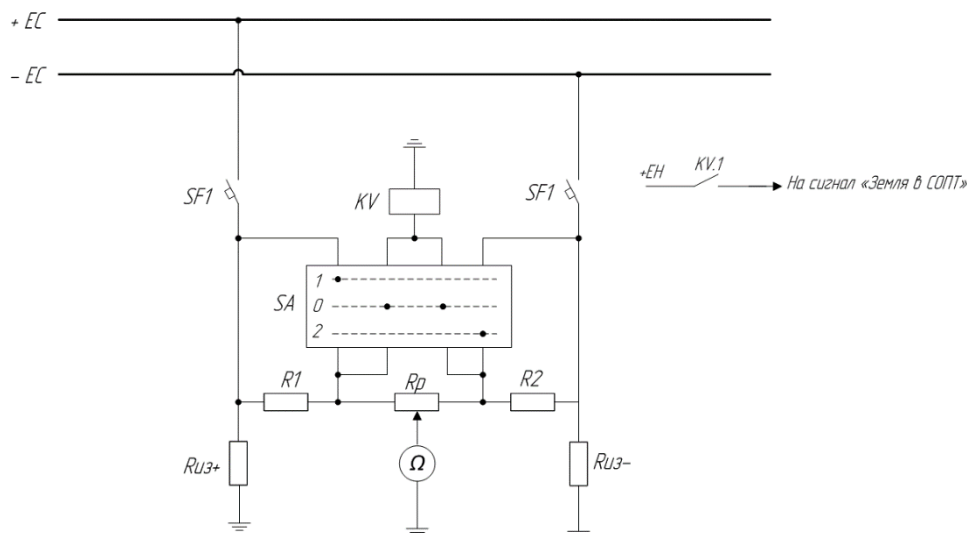


Схема традиционного устройства контроля и измерения изоляции

В настоящее время на щитах постоянного тока электростанций и подстанций используются следующие устройства контроля и измерения изоляции: Isometer (Bender), МикроСРЗ (ООО «НПЦ «Энергоавтоматика»»), Скиф (ООО «Техэлектро СТ»), УКПС Скипетр-КС (ООО «Элекомервис»), ЭКРА-СКИ (ООО НПЦ «ЭКРА»), DCtest2 (ООО «Энерготест») Сенсор-СМ (ООО «Магнит») и др., которые способны определить снижение изоляции по отдельным присоединениям. Принцип действия данных УКИ основан на смещении потенциалов положительного и отрицательного полюсов относительно земли и измерение вызванного им тока утечки [2].

Но не все перечисленные устройства имеют возможность совместной работы с традиционным УКИ (Isometer, МикроСРЗ, DCtest2), что является одним из основных условий применения УКИ в СОПТ. Особенностью традиционного УКИ является исключение ложного срабатывания дискретных входов микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики при однополюсном замыкании на землю и работе современных УКИ в режиме измерения изоляции [3].

В таблицу сведены основные характеристики современных УКИ: перекося напряжений полюсов относительно земли в режиме измерения изоляции и поиска поврежденного фидера ( $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$ ), величина инжектируемого в сеть тока ( $I_{инж}$ ), емкость сети ( $C$ ), диапазоны измерения сопротивления изоляции сети и присоединений ( $R_{сети}$ ,  $R_{прис}$ ), время измерения сопротивления ( $t$ ).

## Технические характеристики устройств контроля изоляции

Наименование параметра	Isometer	DCtest2	ЭКРА-СКИ	МикроСРЗ	Скипетр	Скиф	Сенсор-СМ
$\Delta U_1$ , В	40	110	30	–	–	60	–
$\Delta U_2$ , В	4...220	110	30	–	–	60	–
$I_{инж}$ , МА	1...50	–	1	0,5...2,5	1,5	–	–
$C$ , мкФ	150	–	200	50	300...10000	30	–
$R_{сети}$ , кОм	1...10000	0...250	0...1000	2-1000	0...9999	–	0...300
$R_{прис.}$ , кОм	–	0...30	0...100	30	0...999	0...50	0...300
$t$ , с	4	10...2500	20	60	40	–	3
Совместимость с традиц. УКИ	нет	нет	да	нет	да	нет	да

Таким образом, рассмотренные УКИ потенциально удовлетворяют требованиям ФСК ЕЭС [4]. Из перечисленных характеристик УКИ наиболее важными являются: совместимость совместной работы с традиционным УКИ, способность определять фидеры с симметричным снижением изоляции полюсов относительно земли, селективное определение поврежденного фидера, возможность работы УКИ при различных топологиях сети оперативного тока (две аккумуляторные батареи, два щита постоянного тока).

### Источники

1. Электротехнический справочник в 4 т. Т 3. Производство, передача и распределении электрической энергии; 8-е изд., исп. и доп. М.: Изд. МЭИ, 2002. 964 с.
2. Синегубов А.П. Анализ средств контроля сопротивления изоляции электроэнергетических систем постоянного тока // Известия вузов. Электромеханика. 2015. №1(537). С. 61-65.
3. Алимов Ю.Н., Быков К.В., Галкин И.А., Шаварин Н.И. Контроль изоляции в цепях постоянного оперативного постоянного тока электрических станций и подстанций // Релейная защита и автоматизация. 2013. №03. С. 38-45.

4. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.40.041-2010 Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования.

УДК 621.31

## **ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ПО ПРОТОКОЛУ РТР НА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ**

А.А. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

xodor2015@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.Н. Гавриленко

В статье рассмотрены особенности использования протокола синхронизации времени РТР в цифровых системах РЗА. Отражена актуальность использования протокола РТР и преимущества использования этого протокола. Рассмотрен принцип работы протокола РТР.

**Ключевые слова:** МЭК 61850, цифровая подстанция, синхронизация времени, протокол IEEE 1588, протокол РТР.

В настоящее время идет активное использование и развитие цифровых подстанций. Возникла новая информационная модель передачи данных, им является стандарт МЭК 61850 (Системы и сети связи подстанций). Этот стандарт описывает: форматы потоков данных, виды информации, правила описания элементов энергообъекта и свод правил для организации событийного протокола передачи данных. Этим стандартом установлено требование к синхронизации времени на шине процессов. Она должна быть не хуже 1 мкс, для достижения этой точности используется протокол РТР (Precision Time Protocol), также известный как IEEE 1588 [1, 2].

Когда мы передаем сигналы в сети, возникают задержки на устройствах сети и самой сети. Устройства не могут мгновенно обработать и передать дальше сигнал, на это затрачивается время. Из этого следует, что время сигнала у конечных устройств отличается от времени на отправляющем устройстве.

Разберем как происходит синхронизация по протоколу РТР. Синхронизация происходит в две фазы: фаза 1 – установка иерархии Ведущие часы – Ведомые часы; фаза 2 – синхронизация часов с использованием механизмов задержки.

Задержка времени по протоколу РТР на шинах подстанции определяется по механизму запроса задержки соседнего узла. В этом методе, проверка задержки происходит не один раз, а постоянно. Мастер отправляет ведомому сообщение синхронизации, замерили время отправки  $t_1$  и время приема  $t_2$ . Потом ведомый отправляет сообщение синхронизации мастеру и фиксирует время отправки  $t_3$  и время приема  $t_4$ . В итоге мы имеем две задержки, складываем их и делим на два находим среднюю задержку и считаем среднеарифметическую между всеми задержками. После учитываем её отправляя сообщение синхронизации (добавляем к метке времени).

Для более точной синхронизации времени нужны коммутаторы с аппаратной поддержкой протокола РТР [3]. В аппаратной поддержке РТР есть отдельно прошивка и чипы, которые занимаются обчислением РТР. Запрос отправляется сразу на чип(аппарат). В энергетике для шины процесса нужны коммутаторы с аппаратной поддержкой РТР, они дают точную метку времени и только с ними мы можем достичь требуемой точности.

Коммутаторы работают в режиме Peer-to-Peer. Особенность режима Peer-to-Peer в том, что все коммутаторы и устройства постоянно по всем активным каналам по методу запроса задержки соседнего узла, высчитывают задержку. И при передаче сообщения не имеет значение топология сети. Этот режим сложнее реализовать, и он точнее. В энергетике используется данный режим, в требованиях также стоит режим Peer-to-Peer [4].

Подводя итоги, протокол РТР – это протокол синхронизации времени, работающий по сети Ethernet, высокая точность синхронизации конечных устройств по времени достигается благодаря проставлению меток времени на аппаратном уровне и расчёту временных задержек прохождения сообщений синхронизации времени через устройства сети.

### **Источники**

1. СТО 56947007-29.240.10.299-2020. Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС. Дата введения: 26.02.2020. 125 с.

2. СТО 34.01-21-004-2019. Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110-220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ. Дата введения: 29.03.2019. 114 с.

3. СТО 56947007- 29.240.10.302-2020. Типовые технические требования к организации и производительности технологических ЛВС в АСУ ТП ПС ЕНЭС. Дата введения: 26.02.2020. 62 с.

4. 1588-2019 - IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. Date of Publication: 16.07.2020.

УДК 621.316.925.1

## **АНАЛИЗ ДОПУСТИМОСТИ КРАТКОВРЕМЕННОГО АСИНХРОННОГО РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОТЕРЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

И.Р. Зиннатов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zinnatov.ilnur@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Л. Кузьмин

В статье рассмотрена целесообразность допустимости асинхронного режима для обнаружения причины его возникновения, а также сравнение со случаем отключения генератора без поиска причин потери возбуждения. По итогам анализа определена мера допустимости для различных причин возникновения асинхронного режима в генераторе.

**Ключевые слова:** потеря возбуждения, защита генератора, асинхронный режим.

Генераторы имеют немалое количество факторов для возникновения повреждения. Одним из таких факторов является потеря возбуждения, приводящая к асинхронному режиму, что характеризуется большим потреблением реактивной мощности генератором из системы. Последующее уменьшение напряжения во всей системе, в свою очередь, может привести к нарушению устойчивости других генераторов и двигателей.

Принято считать, что асинхронный режим для всех синхронных генераторов однозначно недопустим из-за возникновения в роторе потерь, многократно превышающих допустимые потери. Однако существуют ЭЭС ограниченной мощности, в которых отключение генератора отзывается на режиме энергосистемы. И в целом, возможность работы генераторов без возбуждения увеличивает надежность процесса электроснабжения. Помимо этого, уменьшается аварийность путём отсеивания случаев возникновения потери возбуждения, не угрожающих безопасности генератора.

Возможность восстановить нормальную работу системы, не прибегая к отключению поврежденного генератора с сохранением результирующей устойчивости, имеет место при выполнении следующих условий [1]: нет опасности повреждения асинхронно работающих генераторов; в результате действия автоматики возможна синхронизация; возмущение, создаваемое асинхронным режимом в энергосистеме, не приводит к дальнейшему развитию аварии.

Рассмотрены и смоделированы случаи влияния на работу сети предполагаемых неисправностей в системе возбуждения генератора при разомкнутой и замкнутой обмотке возбуждения. Так, во втором случае подъем моментной характеристики более крутой относительно первого случая, в котором происходит рост полного сопротивления ротора. А более неблагоприятным является случай замыкания обмотки возбуждения генератора накоротко, даже при учёте наибольшего значения асинхронного момента.

Наилучшие условия работы генератора в асинхронном режиме достигаются при замыкании обмотки ротора на гасительное сопротивление. При этом существенно снижаются перенапряжения на обмотке ротора и не столь значительны колебания тока и напряжения статора, а скольжение намного меньше, чем при разомкнутой обмотке ротора, что создаёт более благоприятные условия для ресинхронизации генератора. [2]

Для всех турбогенераторов мощностью 63–500 МВт допускается кратковременный асинхронный режим. Использование асинхронного режима с последующей ресинхронизацией генератора (после восстановления его возбуждения) позволяет сохранить его в работе. Однако в ряде случаев асинхронный режим может оказаться недопустимым из-за дефицита реактивной мощности в данном районе энергосистемы. В этих случаях генератор должен отключаться.

### **Источники**

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергет. спец. вузов; 4-е изд., перераб и доп. М.: Высшая школа, 1985. 536 с.
2. Вавин В.Н. Релейная защита блоков турбогенератор – трансформатор. М.: Энергоиздат, 1982. 256 с.



## НАЗНАЧЕНИЕ R-GOOSE СООБЩЕНИЙ НА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

П.А. Зудкин

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

pashazuda@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.А. Наволочный

Расширение стандарта IEC 61850 за пределы подстанции является следующим шагом в развитии стандарта, который улучшает его функциональность, чтобы лучше обслуживать интеллектуальную сеть. В статье рассмотрено назначение R-GOOSE и концепция передачи сообщений между подстанциями, выявлены преимущества применения на цифровых подстанциях.

**Ключевые слова:** GOOSE, R-GOOSE, цифровая подстанция, МЭК 61850, релейная защита.

Стандарт МЭК 61850 на протяжении 10 последних лет считается краеугольной технологией для интеллектуальных сетей нового поколения. Одним из главных компонентов, который придает ему эту роль, является Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE) сообщение, которое поддерживает одноранговую связь между многофункциональными интеллектуальными электронными устройствами (IED), отвечающими на требования к быстродействию устройств защиты и автоматики [1]. Первоначально он был разработан как не маршрутизируемое сообщение, используемое внутри подстанции по локальной сети. Успех использования сообщений GOOSE для устройств защиты подстанций делает его привлекательным для использования между IED в системах автоматизации распределения. Это системы, которые предъявляют различные требования к одноранговым коммуникациям.

Сообщение GOOSE было разработано для одноранговой связи между устройствами подстанциями, и поэтому в нем используется многоадресная передача с трехуровневым стекком и контролем доступа к мультимедиа (MAC). Одноранговые сообщения - это характерный тип связи для систем, основанных на стандарте IEC 61850. Это одна из отличительных особенностей стандарта, которая делает его привлекательным для релейной защиты и автоматики на подстанции. Он описывает способность произвольных пар IED, подключенных к сети подстанции, управлять обменом информацией по мере необходимости со всеми устройствами, имеющими равные права.

Высокоскоростная одноранговая связь в системах защиты и управления на основе стандарта IEC 61850 использует специальный метод, разработанный для удовлетворения различных требований. Объектно-ориентированный подход передачи информации предназначен для поддержки надежной высокоскоростной связи между различными устройствами или приложениями и позволяет заменять проводные сигналы между устройствами обменом коммуникационными сообщениями, одновременно улучшая функциональность системы защиты, автоматизации и управления.

Концепция маршрутизированных GOOSE сообщений (R-GOOSE) была создана для высокоскоростной одноранговой связи между подстанциями через глобальную сеть. Ранее был рассмотрен способ передачи GOOSE сообщений предусматривающий многоадресную рассылку. В сообщениях R-GOOSE также используется многоадресный подход, но уже в глобальной сети (Wide Area Network - WAN), и сообщение будет отправляться только предполагаемым получателям. Исходя из этого возникает вопрос, связанный с безопасностью передачи информации. Читаемый R-GOOSE должен содержать необходимый компонент безопасности для авторизации и аутентификации получателей. По мере распространения GOOSE сообщения за пределы безопасности подстанции необходимо учитывать потенциал кибератак чтобы избежать возможность несанкционированного доступа и повреждений электросетевой инфраструктуры. Чтобы решить такие проблемы, 10-ая рабочая группа IEC TC 57 разработала технический отчет IEC 61850 90-5 [2], в котором определены связи синхрофазоров и GOOSE по глобальным сетям. Связь основана на полном семиуровневом стеке соединений открытой системы и использует многоадресную передачу по протоколу управления передачей (Transmission Control Protocol - TCP) и протоколу пользовательских датаграмм (User Datagram Protocol - UDP). В документе также описывается использование сквозной кибербезопасности на основе определений в стандарте IEC 62351. Частью плана является использование брандмауэра для блокировки уязвимых портов и внедрения инструментов кибератак. Концепция брандмауэра изолирует трафик между надежной локальной сетью и ненадежной глобальной сетью фильтруя сообщения, которые входят и выходят из подстанции.

Поскольку у стандартных GOOSE сообщений нет IP-адреса и транспортных возможностей, то при достижении брандмауэра на маршрутизаторе, брандмауэр не знает, что с ним делать и блокирует его прохождение. R-GOOSE – это служба многоадресного обмена сообщениями третьего уровня, предназначенная для использования в среде глобальной сети WAN. Ему назначены заголовки UDP (User Datagram Protocol) и IP, что позволяет сообщению пройти через брандмауэр маршрутизатора. Единственное отличие R-GOOSE от GOOSE это наличие UDP и IP заголовков.

Описанный выше R-GOOSE имеет множество применений в системах релейной защиты и автоматизации (СРЗА) [3]:

- обмен информацией о нагрузке и потоке мощности между локальными элементами мониторинга СРЗА и более высокими уровнями иерархии СРЗА;

- обмен информацией о состоянии выключателей и переключателей между локальными элементами мониторинга СРЗА и более высокими уровнями иерархии СРЗА на основе R-GOOSE;

- обмен сигналами отключения и управления между более высокими уровнями иерархии СРЗА и локальными исполнительными элементами на основе R-GOOSE.

R-GOOSE является важным дополнением к возможностям, предоставляемым инженерам по релейной защите и автоматике, участвующим в разработке СРЗА для интеллектуальных сетей. Это позволяет разрабатывать и внедрять новые решения для СРЗВ распределительных систем на основе высокоскоростных одноранговых коммуникаций, что приведет к повышению надежности электроэнергетических сетей.

### **Источники**

1. Громов И.В., Егоров Е.П., Кошельков И.А. Сравнительный анализ положений различных редакций стандарта IEC 61850 при использовании протоколов GOOSE и SV // Релейная защита и автоматизация. 2019. № 4(37). С. 46-49.

2. IEC TR 61850 90-5. Communication networks and systems for power utility automation – part 90-5: use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE. 2012. C37.118’.

3. Апостолов А. Маршрутизируемые GOOSE-сообщения и их применения в системах противоаварийной автоматики // Релейщик. 2021. № 3(41). С. 20-24.

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО УЧАСТКА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ

Н.В. Кузьмина

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново  
natalialeb37@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.А. Филатова

В статье рассмотрен способ определения поврежденного участка разветвленной линии электропередачи при однофазных замыканиях на землю с использованием цифровых измерительных преобразователей.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, однофазные замыкания на землю, измерительный преобразователь, определение места повреждения.

Анализ статистических данных показывает, что наиболее повреждаемыми объектами являются сети класса напряжения 6(10) кВ [1]. Одной из распространенных аварийных ситуаций является однофазное короткое замыкание (ОЗЗ), которое сопровождается значительным экономическим ущербом [2, 3]. Успешное определение места повреждения (ОМП) на воздушных линиях (ВЛ) позволяет значительно сократить перерыв в электроснабжении.

Данная статья содержит результаты исследования алгоритма определения поврежденного участка разветвленной ВЛ при ОЗЗ.

Алгоритм предназначен для использования с малогабаритными цифровыми измерительными преобразователями, устанавливаемыми непосредственно на опорах ВЛ. На рис. 1 представлена схема электрической сети напряжением 10 кВ, на которой проводилось исследование алгоритма. Нейтрали трансформаторов ответвлений изолированы. Представлен вариант установки устройств и измерительных датчиков [4], в котором полный трехфазный комплект измерительных трансформаторов и цифровой блок (автоматическая точка коммерческого учета электроэнергии АТКУЭ) установлен на головном участке разветвленной сети. В начале каждого участка установлены трехфазные малогабаритные датчики тока (катушки Роговского) с передающим модулями.

Разработанный метод определения поврежденного участка разветвленной ВЛ, основан на определении угла между векторами напряжения нулевой последовательности (НП) (измеренного на шинах центра питания ЦП) и производной тока НП ВЛ. Для поврежденной ВЛ вектора производной тока НП и напряжения НП сонаправлены.

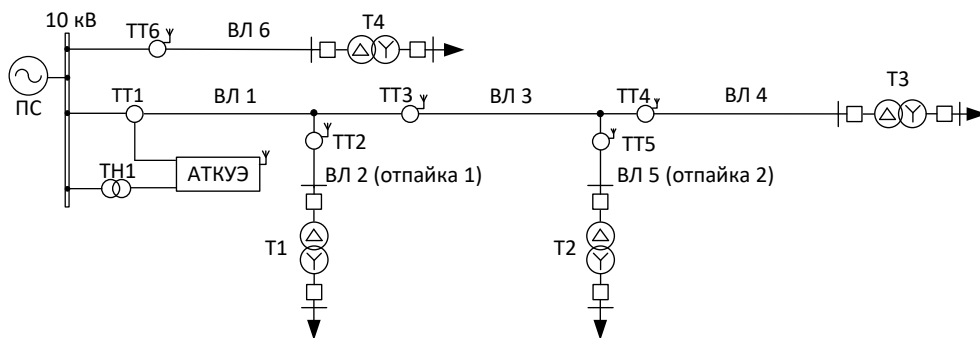


Рис. 1. Рассматриваемая электрическая сеть

Определение поврежденного участка при ОЗЗ происходит по следующему алгоритму:

- АТКУЭ измеряет фазные токи и напряжения на шинах ЦП, вычисляет их векторные значения;
- дополнительные токовые датчики (пояса Роговского) измеряют производные фазных токов и тока нулевой последовательности участка ВЛ, цифровой блок вычисляет их векторные значения;
- обработанная информация передается по каналу GSM диспетчеру и специальной программе;
- вычисляется угол между вектором производной тока НП и вектором напряжения НП;
- определяется поврежденный участок.

Выполнена серия вычислительных экспериментов: моделировалось ОЗЗ в различных точках сети, моделировалось наличие переходного сопротивления (1 кОм) в месте ОЗЗ, а также проведено исследование устойчивости функционирования способа определения поврежденного участка ВЛ при неустойчивых ОЗЗ.

Были промоделированы дуговые ОЗЗ по теории Петерсена и Слепяна, переходящие в устойчивое ОЗЗ. Примеры осциллограмм напряжений (верхние осциллограммы) и токов НП (нижние осциллограммы) приведены на рис. 2.

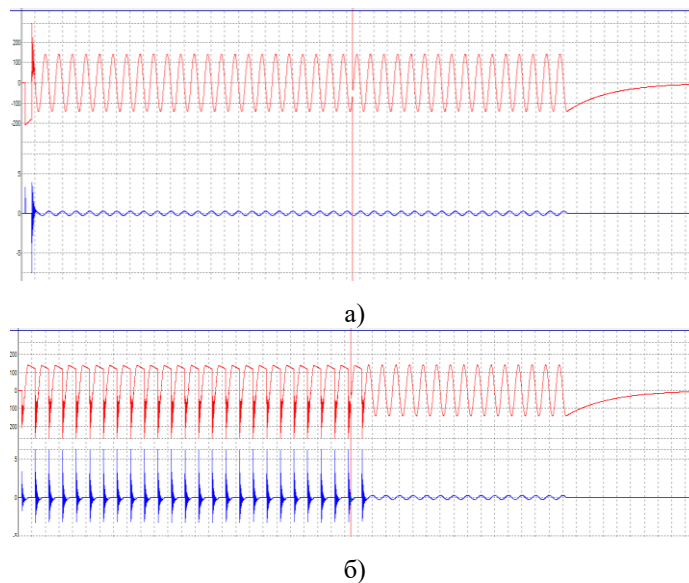


Рис. 2. Осциллограммы электрических величин НП при:  
 а – кратковременном ОЗЗ, переходящем в устойчивое внутреннее замыкание;  
 б – дуговым ОЗЗ по теории Петерсена и Слепяна, переходящем в устойчивое  
 внутреннее замыкание

Во всех смоделированных режимах функция работала верно и определяла поврежденный участок при ОЗЗ.

### Источники

1. Информационно-справочное издание «Новости электротехники». Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php> (дата обращения 12.03.2022).
2. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия. 1971. 152с.
3. Гусенков А.В., Шуин В.А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик». 2001. 104 с.
4. Lebedev V., Filatova G., Kuzmina N. Development of a Method for Location of a Damaged Overhead Power Line Section in Case of Single-Phase Earth Faults // International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), 2021. Pp. 134-140. Doi: 10.1109/UralCon52005.2021.9559544.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ОТВЕТВЛЕНИЕМ

Н.В. Кузьмина

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново

natalialeb37@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.А. Филатова

В статье рассмотрен способ определения места повреждения на линии электропередачи с ответвлением. Приведены результаты оценки точности способа на модели электрической сети.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, определение места повреждения, цифровые трансформаторы.

По статистическим данным линии электропередачи (ЛЭП) являются наиболее повреждаемым элементом электрической системы [1]. Необходимым звеном обеспечения надежности работы электроэнергетических систем является система определения места повреждения (ОМП) на ЛЭП. Информация о месте повреждения необходима для оперативной ликвидации аварий. Существующие методы и средства контроля мест повреждения зачастую не обеспечивают необходимой точности и оперативности.

В Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ) разработан метод ОМП для ЛЭП с ответвлением на основе замера цифровыми измерительными трансформаторами мгновенных электрических величин при коротком замыкании (КЗ). Цифровые измерительные трансформаторы тока и напряжения позволяют измерить не только величины напряжений и токов, но и их производных, обладают высокой точностью трансформации и синхронизации потока данных (Sampled Values (SV)).

Схема рассматриваемой сети представлена на рисунке 1. Модель сети и сам алгоритм ОМП реализованы в программном комплексе Matlab+Simulink.

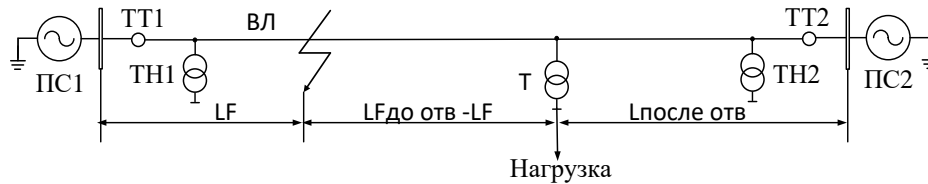


Рис. 1. Схема электрической сети 110 кВ

На рисунке устройства ОМП не изображены; данные для алгоритма ОМП с моделей цифровых трансформаторов тока и напряжения в Simulink (ТТ1, ТН1 на ПС1, ТТ2, ТН2 на ПС2) импортируются в рабочее пространство Matlab, где и реализован сам алгоритм расчета удаленности КЗ.

Трансформаторы ТТ1 и ТН1 измеряют (замер “слева”, шины ПС 1) фазные токи  $i_A', i_B', i_C'$ , производные фазных токов  $di_A'/dt, di_B'/dt, di_C'/dt$ , фазные напряжения  $u_A', u_B', u_C'$ . Трансформаторы ТТ2 и ТН2 измеряют (замер “справа”, шины ПС 2) фазные токи  $i_A'', i_B'', i_C''$ , производные фазных токов  $di_A''/dt, di_B''/dt, di_C''/dt$ , фазные напряжения  $u_A'', u_B'', u_C''$ .

Общий порядок ОМП по разработанному алгоритму представлен на рисунке 2. Алгоритм предполагает «перенос» точки замера на ответвление, согласно [2].



Рис. 2. Блок-схема алгоритма ОМП: ПП – переходный процесс, ПО – пусковой орган

Расчетные формулы, с учетом «переноса» точки замера, представлены ниже:

– КЗ слева от ответвления:

$$l_{КЗ} = \frac{(u_A' - u_A'') + R_{E \text{ ДО ОТВ}} \cdot 3i_0'' + L_{E \text{ ДО ОТВ}} \cdot \frac{d3i_0''}{dt} + R_1 \text{ ДО ОТВ} \cdot i_A'' + L_1 \text{ ДО ОТВ} \cdot \frac{di_A''}{dt}}{r_{1 \text{ уд}} \cdot (i_A' + i_A'') + l_{1 \text{ уд}} \cdot \left( \frac{di_A'}{dt} + \frac{di_A''}{dt} \right) + r_{E \text{ уд}} \cdot (3i_0' + 3i_0'') + l_{E \text{ уд}} \cdot \left( \frac{d3i_0'}{dt} + \frac{d3i_0''}{dt} \right)},$$



– КЗ справа от ответвления:

$$l_{\text{КЗ}} = \frac{(u'''_A - u''_A) + R_{E \text{ ПОСЛЕ ОТВ}} \cdot 3i'''_{0m} + L_{E \text{ ПОСЛЕ ОТВ}} \cdot \frac{d3i'''_{0m}}{dt} + R_{\text{П}} \text{ ПОСЛЕ ОТВ} \cdot i''_{Am} + L_{\text{П}} \text{ ПОСЛЕ ОТВ} \cdot \frac{di''_{Am}}{dt}}{r_{1 \text{ уд}} \cdot (i'''_A + i''_A) + l_{1 \text{ уд}} \cdot \left( \frac{di'''_A}{dt} + \frac{di''_A}{dt} \right) + r_{E \text{ уд}} \cdot (3i'''_0 + 3i''_0) + l_{E \text{ уд}} \cdot \left( \frac{d3i'''_0}{dt} + \frac{d3i''_0}{dt} \right)}$$

где  $r_{1 \text{ уд}}, l_{1 \text{ уд}}, r_{E \text{ уд}}, l_{E \text{ уд}}$  – удельные активные сопротивления и индуктивности ЛЭП;  $di_A/dt, d3i_0/dt$  – производные фазных токов и токов нулевой последовательности, измеренных или рассчитанных в точках замера.

$Z_{1L \text{ ОТВ}}, Z_{EL \text{ ОТВ}} = (Z_{0L \text{ ОТВ}} - Z_{1L \text{ ОТВ}})/3 = R_{EL \text{ ОТВ}} + jL_{EL \text{ ОТВ}}$  – комплексные сопротивления прямой последовательности и контура заземления участка ЛЭП до ответвления;  $Z_{1F}, Z_{EF} = (Z_{0F} - Z_{1F})/3 = R_{EF} + jL_{EF}$  – комплексные сопротивления прямой последовательности и контура заземления участка ЛЭП до места КЗ;  $Z_{1R \text{ ОТВ}}, Z_{ER \text{ ОТВ}} = (Z_{0R \text{ ОТВ}} - Z_{1R \text{ ОТВ}})/3 = R_{ER \text{ ОТВ}} + jL_{ER \text{ ОТВ}}$  – комплексные сопротивления прямой последовательности и контура заземления участка ЛЭП после ответвления;  $i''', u'''$  – расчетные фазные токи и напряжения в новой точке замера.

Проведена оценка точности алгоритма ОМП в зависимости от искажающих замер факторов [2]. Относительные погрешности ОМП в отсутствии искажающих замер факторов и при наличии переходного сопротивления представлена на рис. 3, 4.

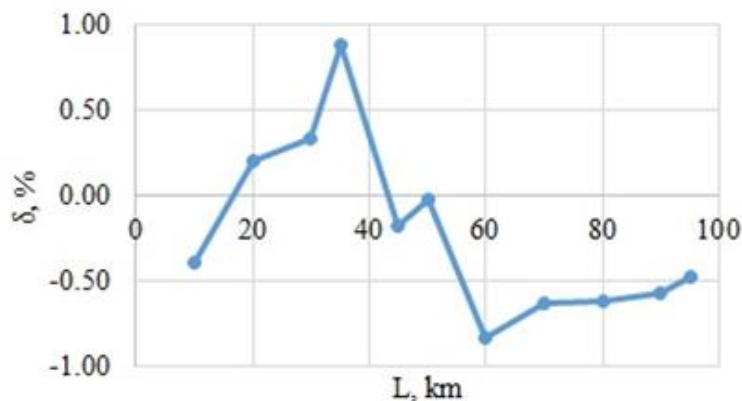


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности ОМП от расстояния до места КЗ

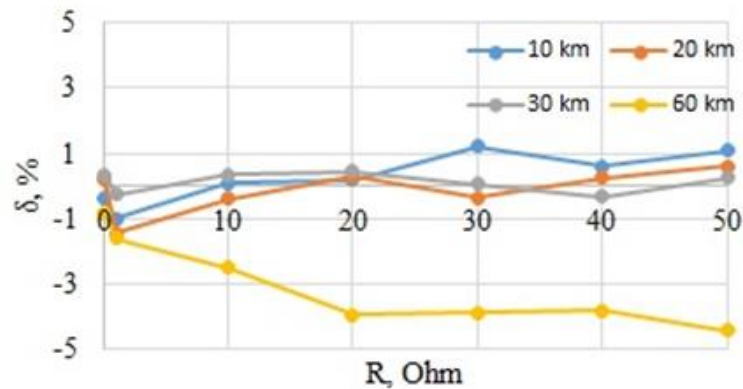


Рис. 4. Зависимость относительной погрешности ОМП от переходного сопротивления в месте КЗ, при различных удаленностях КЗ

### Источники

1. Информационно- справочное издание «Новости электротехники». Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php> (дата обращения 12.03.2022).

2. Lebedev V., Filatova G., Kuzmina N. Development of a Method for Location of a Damaged Overhead Power Line Section in Case of Single-Phase Earth Faults // 2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). Pp. 134-140. doi: 10.1109/UralCon52005.2021.9559544.

УДК 621.3

## ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Б.И. Мирзаянов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

bulat-mirzo@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, зав. каф. Д.Ф. Губаев

Феррорезонанс может вызвать диэлектрические и тепловые проблемы электроэнергетического оборудования. В этой статье представлен обзор явления феррорезонанса. Для иллюстрации этого явления используется простой случай феррорезонанса в однофазном трансформаторе.

**Ключевые слова:** феррорезонанс, феррорезонансные явления, виды феррорезонанса.

Феррорезонанс представляет собой явление резонанса между емкостью и железным сердечником и, таким образом, нелинейной катушкой индуктивности, возбуждаемой источником синусоидального напряжения. В энергосистеме индуктор с железным сердечником обычно является намагничивающей ветвью трансформатора. Емкость может быть естественной емкостью воздушной линии (или подземного кабеля). В противном случае феррорезонанс возникает в электрической цепи, которая должна содержать как минимум нелинейную индуктивность (ферромагнитную и насыщаемую), конденсатор, источник напряжения (обычно синусоидального) и малые потери [1].

В энергосистемах феррорезонанс обычно относится к последовательному резонансу. Последовательная цепь устанавливается при однофазном переключении (включая включение и выключение питания), и ее появление зависит от конфигурации цепи, такой как соединение обмотки трансформатора треугольником и с определенной длиной линий. В системе также могут возникать феррорезонансные перенапряжения при каком-либо ненормальном состоянии системы, таком как неисправность одной линии, перегорание предохранителя.

Феррорезонанс может быть последовательным или параллельным. На рис. 1, а показана базовая конфигурация феррорезонансного контура. Здесь нелинейная катушка индуктивности представляет собой сердечник измерительного трансформатора напряжения или силового трансформатора в условиях легкой нагрузки или без нагрузки, источник синусоидальной формы представляет собой напряжение питания, а емкость и сопротивление представляют собой связь между источником питания и сердечником трансформатора. На рис. 1, б показан еще один феррорезонансный контур. На рис. 2, а показан практический пример феррорезонансной цепи, в которой приборный трансформатор напряжения (ИТН) отделен от сборной шины разъединителем  $D2$ .  $Cd$  – емкость силового разъединителя  $Dp$  в разомкнутом состоянии, а  $Cp$  – общая емкость сборной шины, на рис. 2, б показана приведенная эквивалентная цепь [2].

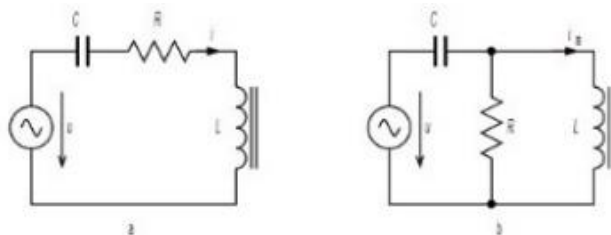


Рис. 1. Базовая конфигурация феррорезонансного контура

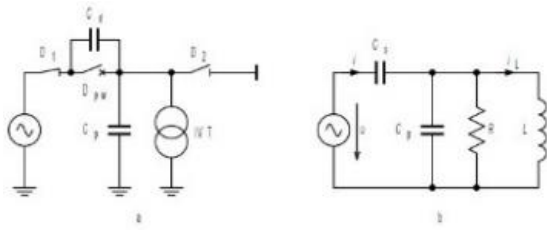


Рис. 2. Феррорезонансная схема (а) и эквивалентная схема (б)

Четыре различных типа феррорезонанса:

1. Основной режим.
2. Субгармонический режим.
3. Квазипериодический режим.
4. Хаотический режим.

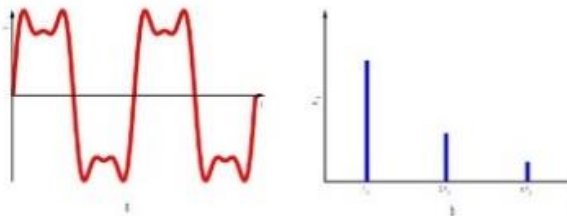


Рис. 3. Основной режим

Напряжения и токи являются периодическими с периодом  $T$ , равным периоду системы, и могут содержать гармоники с различной скоростью. Спектр сигнала представляет собой прерывистый спектр, состоящий из основной частоты  $f_0$  энергосистемы и ее гармоник ( $2f_0$ ,  $3f_0$ , ...).

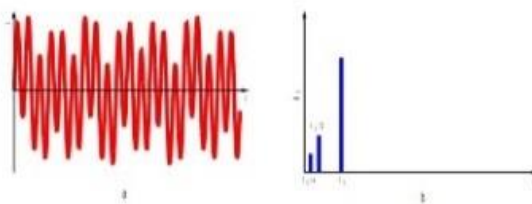


Рис. 4. Субгармонический режим

Сигналы являются периодическими с периодом  $nT$ , кратным периоду источника. Это состояние известно как субгармоническое  $n$  или гармоническое  $1/n$ . Субгармонические феррорезонансные состояния обычно имеют нечетный порядок. Спектр представляет собой основную частоту, равную  $f_0/n$  (где  $f_0$  – частота источника, а  $n$  – целое число), и ее гармоники (таким образом, частота  $f_0$  является частью спектра).

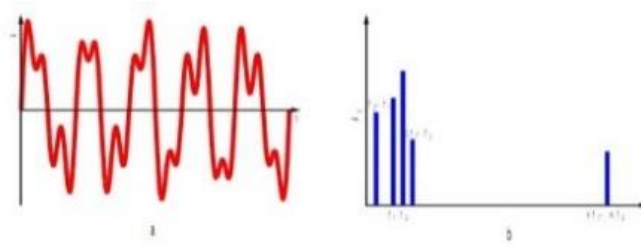


Рис. 5. Квазипериодический режим

Этот режим (также называемый псевдопериодическим) не является периодическим. Спектр представляет собой прерывистый спектр, частоты которого выражаются в виде:  $nf_1 + mf_2$  (где  $n$  и  $m$  – целые числа, а  $f_1/f_2$  – иррациональное действительное число).

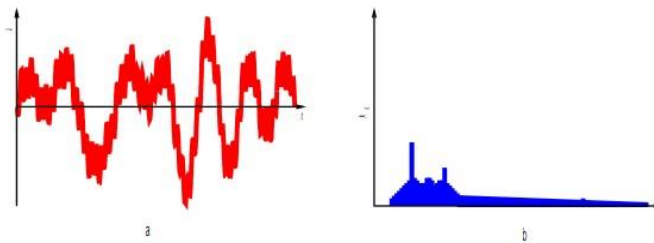


Рис. 6. Хаотический режим

Соответствующий спектр является непрерывным, т.е. не сокращается ни для какой частоты [3].

### Источники

1. Naidu S.R., Souza B.A. Analysis of ferroresonant circuits using a Newton-Raphson Scheme // In IEEE Transactions on Power Delivery. 1997. Vol. 12. No. 4. Pp. 1793-1798.
2. Ferracci Ph. Ferroresonance. Application Note // Cahier Technique Merlin Gerinno. 190, 1998 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.schneider-electric.com/cahier\\_technique/en/pdf/ect190.pdf](http://www.schneider-electric.com/cahier_technique/en/pdf/ect190.pdf).
3. Kavasseri R.G. Analytical Prediction of Subharmonic Oscillations in a Ferroresonant Circuit // Proc. 35th North American Power Symposium, Rolla, Missouri. October. 2003.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТА АВТОТРАНСФОРМАТОРА

М.Н. Семенов<sup>1,2</sup>, Ф.Р. Сиразутдинов<sup>2</sup>, В.М. Лопухов<sup>1</sup>, В.М. Меер<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
<sup>1</sup>maxim.snt@inbox.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. А.Н. Гавриленко<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук, зав. каф. Д.Ф. Губаев<sup>2</sup>

Дистанционная защита автотрансформатора имеет низкую чувствительность при коротких замыканиях на низкой стороне. Есть несколько вариантов для решения данной проблемы, в данном тезисе представлено решение, которое заключается в изменении места установки трансформатора тока.

**Ключевые слова:** автотрансформатор, дистанционная защита, чувствительность, общая обмотка.

Автотрансформаторы применяются при передаче электроэнергии с незначительным отклонением напряжения в сетях высокого напряжения. Отличительной особенностью автотрансформатора от трансформаторов является наличие электрической связи между обмотками, что влияет на уменьшение электромагнитной мощности в сравнении с трансформаторами.

К недостаткам автотрансформаторов можно отнести их ограниченное применение, так как они могут использоваться в сетях только с глухозаземленной нейтралью [1].

Остро встает вопрос защиты автотрансформатора от коротких замыканий и аварийных режимов. Дистанционная защита АТ осуществляют резервирование основной защиты. I и II ступень ДЗ направлены в сторону защищаемого АТ, оставшиеся 3 ступени ДЗ направлены в обратную сторону и защищают прилегающие сети. Чувствительность II ступени в первую очередь проверяется при несимметричных КЗ на низшей стороне автотрансформатора. И вот тут кроется недостаток ДЗ – низкая чувствительность при КЗ на низшей стороне [2].

Попробуем оценить работу II ступени ДЗ при КЗ на стороне низкого напряжения. Для этого построим модель энергосистемы, состоящую из следующих элементов: автотрансформатор, две линии электропередачи, две системы в программном комплексе PSCAD (рис. 1).

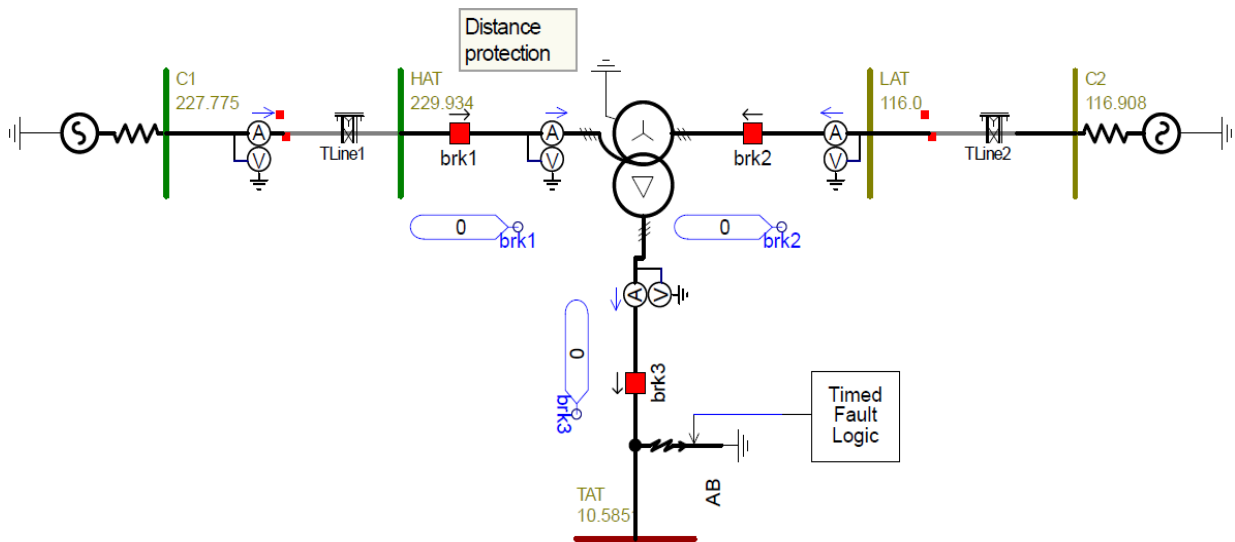


Рис. 1. Модель энергосистемы

Уставим ДЗ на высокой стороне напряжения и проверим работу II ступени при КЗ на низкой стороне, ТТ и ТН устанавим так же на высокой стороне.

Для наглядного представления о срабатывании / несрабатывании ДЗ построим в графической области характеристику срабатывания и годограф сопротивления на зажимах реле (рис. 2).

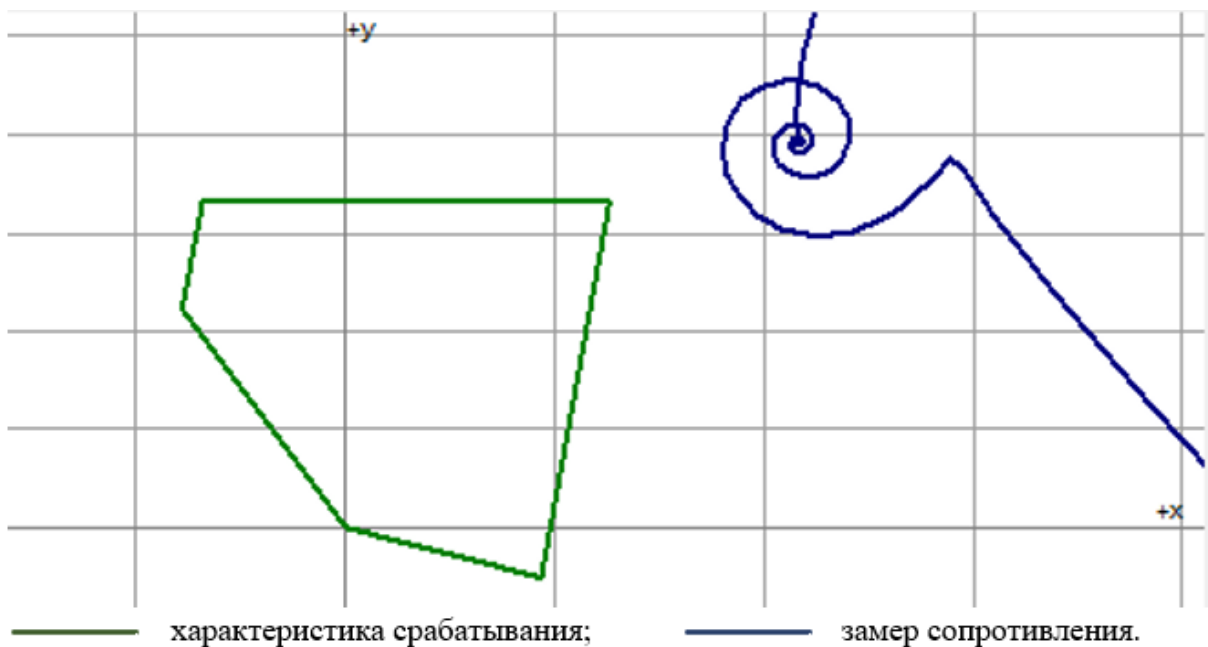


Рис. 2. Несрабатывания защиты

На рис. 2 показан случай, когда длина линии TLine2 составила 30 км. При увеличении длины защиты становится более чувствительной, но все равно находится за характеристикой срабатывания или на грани срабатывания.

Стандартная реализация ДЗ автотрансформатора подразумевает установку ТТ в последовательной обмотке (сторона ВН) или на стороне СН в зависимости от направления защиты, что не позволяет достичь высокой чувствительности. Для увеличения чувствительности предлагается [3] изменить место установки ТТ из последовательной обмотки в общую, и в теории увеличится чувствительность при КЗ на низшей стороне. Это происходит по следующему принципу: в нормальном режиме распределение токов следующее – ток в общей обмотке равен разности токов со стороны среднего и высокого напряжения, самый большой ток на стороне СН. Ток при КЗ на стороне НН подпитывается от ВН и СН и распределение токов меняется – ток в общей обмотке будет равен сумме токов со стороны средней и высокой обмоток.

Теперь проверим работу ДЗ по характеристике срабатывания (рис. 3).

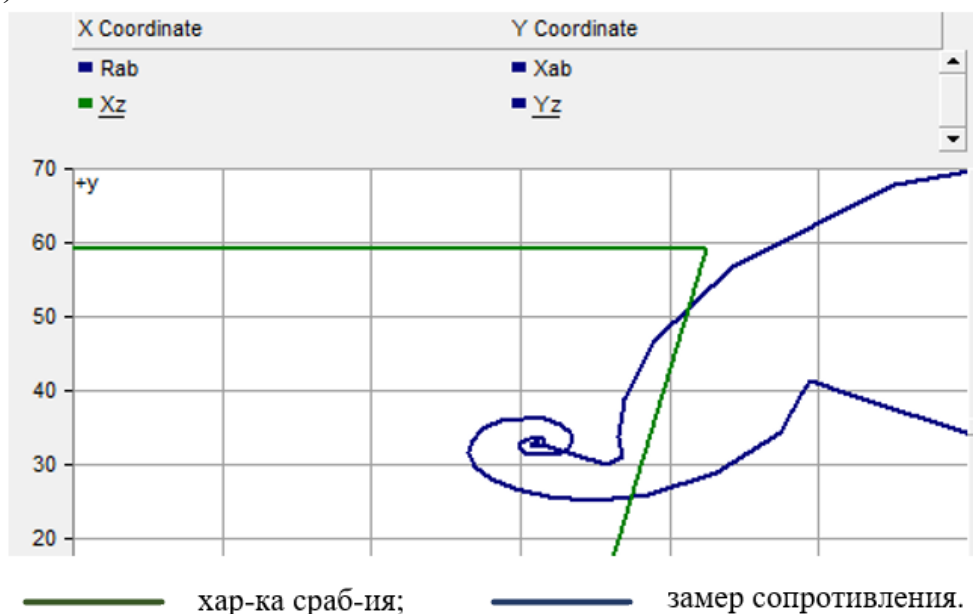


Рис. 3. Ток в общей обмотке

График сопротивления надежно пересекает характеристику срабатывания, ДЗ срабатывает правильно и может отключать КЗ на шинах низшего напряжения.

Можно сделать следующий вывод: резервирование основных защит автотрансформатора не может быть полностью выполнено, так как возникает проблема нечувствительности защит при КЗ на шинах низшего напряжения.



Одним из способов решения проблемы нечувствительности, может быть, изменение подключения токовых цепей к ТТ. Рекомендуется установить ТТ в общую обмотку автотрансформатора. Это даст улучшение чувствительности защиты, поскольку величина тока КЗ, протекающего через эту точку имеет большее значение.

### **Источники**

1. Основы современной энергетики: учебник для вузов; в 2 т.; под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова; 6-е изд., перераб. и доп. М.: Издательским дом МЭИ, 2016.

2. Рекомендации по расчету уставок резервных защит автотрансформаторов напряжением 220–500 кВ на базе шкафов серий ШЭ2607, ШЭ2710: ООО НПП «ЭКРА», 2014. 90 с.

3. Пат. 2639314 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 7/04. Устройство релейной защиты для ближнего резервирования защит автотрансформатора / В.М. Лопухов, В.М. Меер; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ЭКРА»; заявл. 27.02.17; опубл. 21.12.17, Бюл. № 36.

УДК 621.311.4:621.316.925(045)

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 35/10 кВ**

Г.Г. Таткеева<sup>1</sup>, Т.Ж. Бурумбаев<sup>2</sup>

КазАТУ им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан, Казахстан

<sup>1</sup>tatkeeva@mail.ru, <sup>2</sup>naristle@gmail.com

В статье анализируются работа электрических сетей в режиме повышенной нагрузки, когда нет возможности работать без устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Влияние этих устройств на надежность, безопасность и безаварийность электроснабжения и качество передаваемой электроэнергии непрерывно увеличивается, так например скорость срабатывания системы РЗА, в современных приборах, 0,1 секунды, при сравнении скорость отработки персонала начинается от 2 минут и более.

**Ключевые слова:** РЗА, системы защиты электрических установок.

Система электроснабжения характеризуется специфической особенностью, которая заключается в неизбежности возникновения аварийных режимов. Аварийные режимы, как правило, сопровождаются токами короткого замыкания, которые значительно превышают рабочие токи, и глубоким понижением напряжения [1].

Аварийный режим должен быть своевременно обнаружен, а поврежденный элемент отключен от системы электроснабжения действием релейной защиты.

Важным требованием, характеризующим эффективность действия защит, является быстрота действия. Время действия токовых защит выбирается по условию согласования с предыдущей защитой, которое предусматривает увеличение времени последующей защиты на ступень селективности больше предыдущей.

Одним из основных требований, предъявляемых к эксплуатируемым, модернизированным проектируемым средствам защиты и автоматики, является высокая надежность. Однако, достигнуть этого можно только при тщательном анализе устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), учете технологии производства и распределения электроэнергии, схем электрических соединений объектов, специфики работы потребителей, физических процессов прохождения токов при нормальных режимах, перегрузках и коротких замыканиях в первичных и вторичных цепях измерительных трансформаторов и в цепях приборов.

В настоящее время устройства РЗА распределительных сетей в основном выполнены на электромеханических реле. Опыт эксплуатации таких устройств показал их низкую надежность и ограниченные функциональные возможности в сравнении с современными микропроцессорными аналогами.

Часто действия релейной защиты и автоматики не реализуются из-за неудовлетворительного состояния первичного оборудования, которое исполняет команды РЗА, это электромагниты включения и отключения и главным образом системы контактов привода выключателя. В связи с этим необходимо вести исследования по разработке устройств, реализующих новые способы, которые ограничивают использование в схемах РЗА электромеханических реле и ненадежных систем контактов привода выключателя.

В современных условиях развития промышленности в Республики Казахстан и странах СНГ, когда парк энергетического оборудования изношен на 75 % от нормативного срока эксплуатации, анализу работы и частоте отказов элементов системы РЗА (релейной защиты и автоматики), которая является наиболее технической эффективной системой защиты, уделяется повышенное внимание.

Так, согласно проведенным анализом причиной отказа систем РЗА и их элементов, можно заметить общее снижение надежности основных элементов конструкции, при одновременном усложнении конструкции РЗА и переход на новую элементную базу. Так, например, 83 % случаев срабатывания систем РЗА представляют собой ложные отработки алгоритма, подобные срабатывания наносят максимальный вред всей системе и снижают общую надежность системам РЗА.

Таким образом, наиболее актуальной задачей, стоящей перед специалистами обслуживающими энергосистемы является повышение надежности и повышение работоспособности систем РЗА как во вновь вводимых энергообъектах, так и модернизируемых существующих. Однако, недостаточное полноценное исследование общей работы всех элементов систем РЗА на разно-элементной базе, не позволяет создать полноценную модель надёжности.

Существенным недостатком электромеханических реле является использование в схеме защиты большого числа электромеханических реле с их контактами и вспомогательных контактов привода выключателя, а так же невозможности резервирования предыдущих ступеней защиты при отказе. Поэтому она не нашла практического применения. В настоящее время вопрос снижения выдержки времени защит остается актуальным требующим дальнейших исследований.

Известно, что более 50 % всех коротких замыканий на воздушных линиях самоустраиваются после отключения их действием защиты, поэтому после их повторного включения линия остается в работе, обеспечивая бесперебойное питание потребителей электроэнергии, и функцию выполняют устройства автоматического повторного запуска (АПВ) [2].

Согласно отчета Министерства энергетики Республики Казахстан, степень изношенности современных систем электrorаспределения составляет порядка 65,73 % от нормативной, что можно отслеживать по участвовавшим случаям крупных аварийных ситуаций. Среди описанного количества морально и технически устаревшего оборудования, большую часть составляют системы РЗА, которые в свою очередь должны обеспечивать купирование аварийных ситуаций и случаев. Таким образом, имеются предпосылки для масштабной реконструкции, и указанную реконструкцию необходимо начинать с систем РЗА. Современные системы РЗА позволяют снижать количество отказов, тем самым повышая эффективность энергетической службы.

### **Источники**

1. Шалин А.И., Трофимов А.С. О расчете показателей надёжности релейной защиты // Матер. докладов девятой всерос. науч.-техн. конф. «Энергетика: экология, надёжность, безопасность» Т. 1. 2004. С. 114-117.

2. Никитин А.А., Шалимов А.С. Оценка поведения цифрового дистанционного органа при отклонениях частоты // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения: сб. науч. тр. Вып. 11. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015.

## МОНИТОРИНГ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПО ОПТИЧЕСКОМУ ВОЛОКНУ

И.В. Тихонов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

tikhonovir@svep-rt.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.В. Писковацкий

В статье описаны способы использования оптического волокна, как чувствительного элемента, который способен различать изменение различных величин. Представлены возможные варианты применения оптического волокна для мониторинга воздушных линий электропередачи.

**Ключевые слова:** мониторинг, оптическое волокно, контроль проводов.

Оптическое волокно может применяться не только в качестве линии передачи данных, но и как чувствительный элемент большой протяженности, который способен различать изменение некоторых величин.

Это возможно осуществить с помощью специализированных устройств с лазерным источником, которые посылают импульсы в оптическое волокно и, используя анализ обратного рассеивания, предоставляют возможность установить величину воздействия на протяжении всей линии.

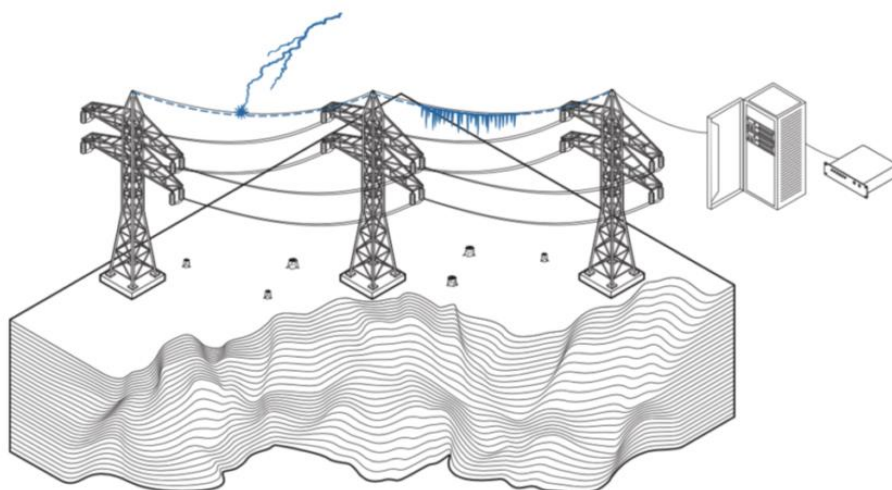
Разновидности приборов для мониторинга:

1) DTS (Distributed Temperature Sensing) – устройство волоконно-оптического мониторинга температуры, механизм действия которого основан на рассеянии Рамана и коррекции его величины при изменении температуры. Возможность определения температуры с погрешностью в десятые доли градуса, возможна при длине оптоволокна до 100 км [1].

2) DSS (Distributed Strain Sensing) – устройство волоконно-оптического мониторинга деформации, механизм действия которого основан на рассеянии Брюллюэна и коррекции его величины при удлинении волокна. Данный способ позволяет зафиксировать удлинения волокна с точностью до сотых процента [2].

3) DAS (Distibuted Acoustic Sensing) – устройство волоконно-оптического мониторинга акустических сигналов, механизм действия которого основан на рассеянии Релея и его коррекции при разнообразных виброакустических колебаниях окружающей обстановки [3].

В зависимости от типа устройства мониторинга и исполнения самих оптических кабелей, их применимость возможна в качестве контроля температуры при плавке гололеда на грозозащитном тросе, температуры фазного провода, начала гололедообразования, состояния изоляторов ВЛ, а также обнаружения места удара молнии, места КЗ на ВЛ, активности вблизи ВЛ (см. рисунок).



Варианты распределенного мониторинга ВЛ

Несомненным преимуществом данного способа мониторинга является тот факт, что волоконно-оптическая линия является по сути совокупностью множества точечных датчиков. Строительство воздушных линий с использованием оптических волокон достаточно перспективно и экономически оправдано, поскольку позволяет решать сразу три задачи: передача данных, цифровизация и мониторинг.

### Источники

1. Распределенное измерение температуры [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.apsensing.com/technology/dts> (дата обращения 02.03.2022).

2. Распределенное измерение деформации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ofsoptics.com/oil-gas-dss/> (дата обращения 02.03.2022).

3. Распределенное измерение акустических сигналов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.apsensing.com/technology/distributed-acoustic-sensing-das-dvs> (дата обращения 02.03.2022).

## СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА МОДЕЛИРОВАНИЯ RTDS

А.Р. Тычкин

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново

tychkin.a@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Г.А. Филатова

Переход на цифровую подстанцию (ЦПС) предполагает массовое использование цифровых трансформаторов тока и напряжения (ЦТТН), в том числе для целей релейной защиты и автоматики (РЗА). Использование ЦТТН, содержащих инновационные датчики тока и напряжения, позволяет реализовать новые алгоритмы РЗА, например, основанные на использовании производных переходных токов. Разработка новых алгоритмов РЗА, а также отработка их совместной работы с ЦТТН требуют масштабных исследований с применением современных средств. Для решения этих задач в электроэнергетике наиболее широко применяется замкнутый метод имитационного моделирования. Статья посвящена разработке программы проверки цифровых алгоритмов и устройств РЗА с использованием комплекса имитационного моделирования в реальном масштабе времени (в замкнутом цикле) RTDS. Представлены результаты проверки цифровых устройств определения места повреждения (ОМП) по указанной программе.

**Ключевые слова:** цифровая подстанция, релейная защита и автоматика, имитационное моделирование, исследовательский полигон, RTDS, определение места повреждения.

Разработка новых алгоритмов, методов и устройств сопровождается их исследованием, тестированием, сравнением с существующими техническими решениями. Стандартные испытания устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) проводят без учета характеристик измерительных преобразователей и при ограниченном числе влияющих факторов [1]. Внедрение цифровой передачи данных, развитие средств испытаний и моделирования в режиме реального времени позволяют перейти к автоматизированным испытаниям с обеспечением условий, максимально приближенных к реальным, при множественном варьировании влияющих факторов и их случайном сочетании.

Целью работы является разработка методики автоматизированных испытаний цифровых устройств РЗА с использованием комплекса моделирования в режиме реального времени RTDS. Методика позволяет провести комплексную оценку устойчивости функционирования и точности работы устройств в условиях влияния искажающих замер факторов, приближенным к реальным условиям эксплуатации.

Применение имитационного моделирования электроэнергетических объектов для проведения испытаний устройств РЗА позволяет не только проверить работоспособность новых устройств, но и получить первичный опыт их эксплуатации [2]. Выделяют следующие методы испытаний устройств РЗА при использовании имитационного моделирования:

1. Разомкнутый цикл. В этом методе используется автономное или независимое моделирование, при котором время вычисления каждого модельного временного интервала превышает время, необходимое для реального протекания процесса. Расчет заданного интервала времени моделируемого процесса может занимать значительно большее время, чем реальная его длительность.

Для проведения испытаний устройств РЗА в разомкнутом цикле результаты автономного моделирования сохраняются в унифицированном формате цифровых осциллограмм COMTRADE и далее с помощью автоматизированного программно-испытательного комплекса (АПИК) из них формируются аналоговые сигналы, которые в режиме реального времени подаются на входы испытуемого устройства. К недостаткам разомкнутого цикла относят большое время проведения испытаний, сложность автоматизации, необходимость использования нескольких программных продуктов, увеличение вероятности ошибки при проведении эксперимента (при переносе/копировании данных, масштабировании данных под конкретный АПИК и т.д.).

2. Замкнутый цикл. В этом методе используется моделирование в режиме реального времени, при котором расчет параметров системы (мгновенных значений токов, напряжений и др.) в ходе вычислительного эксперимента на ЭВМ получается в темпе, соответствующем скорости протекания процессов.

Цифровое моделирование энергосистемы в реальном времени с физическим подключением устройств РЗА к модели на сегодняшний день является наиболее эффективным методом, применяемым при разработке, для тестирования и оптимизации вторичного электрооборудования, а также для исследования режимов функционирования энергосистемы в переходных и аварийных режимах [2].

По разработанной программе были проведены исследования двух алгоритмов ОМП на линиях электропередачи (ЛЭП):

1. Алгоритм ОМП (Алгоритм 1) в составе цифрового устройства РЗА отечественного производителя.

2. Алгоритм ОМП (Алгоритм 2), разработанный коллективом авторов [3] для использования с ЦТТН. Алгоритм реализован в программной среде RSCAD.

Исследования алгоритма проводились на имитационной модели ЛЭП 500 кВ с двухсторонним питанием с распределенными параметрами, разработанной в программе имитационного моделирования RSCAD. Имитационная модель управляется посредством кода, написанного на языке С. Внутри кода указываются базисные параметры модели, вариативность и выбор исследуемых факторов, задание диапазона и шага.

Для научного интереса представляется возможность исследования следующих влияющих на замер факторов: изменение места положения КЗ; изменение переходного сопротивления; изменение фазового сдвига между источниками мощности; изменение сопротивления нагрузки; изменение R, L сопротивлений системы; изменение удельных параметров линии; погрешность измерительных трансформаторов.

Были получены следующие результаты:

– Алгоритм 1 имеет среднюю погрешность 4 %. Погрешность 10 % наблюдалась при больших переходных сопротивлениях (50 Ом и более).

– Алгоритм 2 имеет среднюю погрешность 2,5 %.

– Погрешность ОМП обоих алгоритмов составила 10 % и более при изменении удельных параметров ЛЭП, что является закономерным. Для точного ОМП необходимо актуализировать параметры ЛЭП.

Разработанная методика может применяться разработчиками цифровых устройств РЗА, а также эксплуатационным персоналом.

### **Источники**

1. СТО 56947007-29.120.70.241-2017. Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА. Стандарт: ПАО «СО ЕЭС», 2017. 357 с.

2. Мочалов Д.О., Законьшек Я.В., Шамис М.А. Комплексы моделирования в реальном времени для современных энергосистем // Релейная защита и автоматизация. 2013. № 1 (10). С. 70–74.

3. Filatova G., Yablokov A., Timofeev A. Research of fault location algorithm for data metering system based on digital transformers // in Proc. 2019 Int. Ural Conf. Electrical Power Eng. (UralCon 2019). Pp. 433–437.



## Секция 8. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 66.074

### СНИЖЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ЗА СЧЕТ ОЧИСТКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

Д.Д. Анашкина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

anashkina\_dd@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Л.А. Николаева

В статье рассмотрена экологическая проблема влияния «углеродного следа» на окружающую среду. Предлагается адсорбционная технология очистки попутного нефтяного газа отходом энергетики. Произведен расчет предотвращенного экологического вреда, причиненного атмосферному воздуху и почвам.

**Ключевые слова:** очистка попутного нефтяного газа, углеродный след, декарбонизация, предотвращенный экологический вред.

В настоящее время повышение экологической, экономической и технологической эффективности объектов нефтегазового комплекса является актуальной задачей. Парниковые газы, накапливаясь в атмосфере, вызывают глобальное потепление, которое приводит к значительным изменениям климата. Можно сказать, что нефтегазовая отрасль выбрасывает в атмосферу значительные количества углекислого газа, например, его доля в общем объеме выбросов Российской Федерации составляет 26 % [1].

Загрязнение воздуха и почвы приводит к большим затратам для предприятий нефтяной промышленности, эксплуатирующих нефтяные и газовые месторождения [2]. Влияние добычи углеводородов на окружающую среду часто характеризуется понятием «углеродный след». Эта величина определяется как отношение  $\text{CO}_2$  эквивалента выбросов парниковых газов к функциональной единице добываемого продукта. Производительность энергетического оборудования и промышленных предприятий, эффективность использования ресурсов топливно-энергетических комплексов, мероприятия по минимизации выбросов парниковых газов – все это непосредственно влияет на углеродный след. Данная единица представляет собой показатель, характеризующий уровень негативного воздействия, оказываемого на климатическую систему на этапах добычи углеводородного сырья до его поставки или использования потребителем на определенном этапе технологического процесса [3].

Главная задача, стоящая перед нефтедобывающими предприятиями, состоит в том, чтобы использовать и утилизировать попутный нефтяной газ (ПНГ) максимально эффективно. Примерно в двадцати странах, в том числе и Российской Федерации, попутный нефтяной газ отправляется на сжигание на факелах. На сегодняшний день наиболее актуален вопрос создания и внедрения оборудования и технологических схем предприятий, которые способны решить экологическую проблему эффективной утилизации ПНГ в нефтегазовой промышленности [4].

Экологические проблемы являются очевидным результатом отсутствия инфраструктуры утилизации ПНГ и неконтролируемого сжигания газа на факелах [5].

Для очистки попутного нефтяного газа и предотвращения его сжигания предлагается установка двух параллельно соединенных адсорберов периодического действия с загрузкой гранулированным сорбционным материалом на основе карбонатного шлама химоводоочистки ТЭЦ вместо факела.

С помощью данной технологии не будет происходить выбросов  $\text{CO}_2$  в атмосферный воздух, что в значительной мере позволяет решить вопрос декарбонизации.

В результате проведенных расчетов в соответствии с Методикой исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды, утвержденной Приказом Министерства природных ресурсов и экологии России от 28.01.2021 № 59 [6], и Методикой исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды, утвержденной Приказом Минприроды России от 08.07.2010 N 238, предотвращенный вред составит 87875 руб./год [7].

### **Источники**

1. Pashkevich M.A., Petrova T.A. Assessment of widespread air pollution in the megacity using geographic information systems. 2017. С. 228.
2. Alekseenko V.A., Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Metallisation and environmental management of mining site soils // J. Geochem. Explor. 2017. С. 121–127.
3. NBSP; International Organization for Standardization (ISO) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14813:-1:ed-2:v1:en> (дата обращения: 12.03.2022).
4. Рустамов З.А., Брюхова К.С., Проблема утилизации попутного нефтяного газа. анализ и современное состояние // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2019. № 58. С. 102.

5. Переработка попутного нефтяного газа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gazsurf.com/en/gas-processing/articles/item/associated-petroleum-gas-processing> (дата обращения 01.03.2022).

6. Приказ Минприроды РФ от 28.01.2021 № 59 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536168> (дата обращения 01.03.2022).

7. Приказ Минприроды РФ от 08.07.2010 № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902227668> (дата обращения 10.03.2022).

УДК 502.1

## **ОТХОДЫ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ: АНАЛИЗ СПОСОБОВ ИХ УТИЛИЗАЦИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

А.М. Васильева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[munipovna@list.ru](mailto:munipovna@list.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Ф. Шакуров

В статье проанализированы проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий, их экономические и экологические аспекты, а также представлены результаты анализа методов их переработки. Рассматриваемая проблема является крайне актуальной. В частности, вышедшие из эксплуатации изношенные автомобильные шины, подвергаются естественному разложению только через 50–100 лет, а используемые при производстве токсичные органические соединения представляют опасность для окружающей среды.

**Ключевые слова:** автомобильные шины, резина, отходы, экология, способы утилизации.

В настоящее время особую остроту приобрели проблемы утилизации накопленных в огромных количествах промышленных и бытовых отходов. Поэтому все более остро встает вопрос о необходимости использования вторичных ресурсов с максимальной эффективностью. За последние десятилетия в России увеличилось число отработанных автомобильных шин за счет роста количества автомобильного транспорта.

Вышедшие из эксплуатации старые автомобильные покрышки трудно поддаются процессам естественного разложения и согласно принятой классификации твердых бытовых отходов относятся к 4 классу опасности. Такие отходы нельзя длительно хранить, закапывать в грунт, или же сжигать. Последнее особенно опасно, поскольку в случае возгорания автомобильных шин в атмосферу и грунт выделяется множество ядовитых веществ, в том числе и канцерогенов, способных нанести вред не только окружающей среде, но и здоровью человека.

На сегодняшний день, проблема утилизации отработанных шин в России крайне актуальна. Наша страна строго придерживается международных норм в вопросах охраны окружающей среды. Правительством Российской Федерации в рамках законопроектов регламентируются процессы, регулирующие правильное хранение и переработки отходов всех классов опасности.

В России и СНГ ежегодный объем выбрасываемых автошин оценивается цифрой в более 1 млн т. Свалки данных отходов расположены на окраинах почти всех городов РФ, наибольшее количество которых приходится на Москву и Санкт-Петербург. Отечественные мощности по утилизации непригодных к использованию автошин способны покрыть лишь 7 % объема отходов. Таким образом, проблема их переработки актуальна для каждого региона России, в том числе и для Татарстана [1].

В мире существуют различные подходы для переработки отходов резинотехнических изделий, в том числе и изношенных автомобильных шин, которые принято делить на:

- а) физико-механические методы;
- б) физико-химические методы;
- в) термические методы;
- г) микробиологические методы.

В ходе проведенного анализа представленных подходов был сделан вывод о том, что метод растворения шин в органическом растворителе (физико-химический метод) является наиболее перспективным, несмотря на то, что на данный момент не используется в промышленных масштабах. [2]. Процесс утилизации автошин происходит путем обработки отходов органическим растворителем при температуре 280–435 °С и давлении 6,1 МПа. В ходе данного процесса происходит разделение резины на три фракции: синтетическая нефть (50 %), технический углерод (30 %) и металлокорд (20 %). Синтетическая нефть поступает на ректификационную колонну и в дальнейшем подвергается каталитическому риформингу, после чего часть полученной фракции может быть использована в качестве растворителя для новой порции отходов, а часть – в качестве целевого продукта.

Таким образом, из одной тонны использованных шин получают следующие продукты: бензиновая фракция 325 кг, мазут 175 кг, технический углерод 300 кг, металлокорд 200 кг [3]. Основными достоинствами данного метода являются низкие затраты на органический растворитель, высокий экономический потенциал продуктов переработки и отсутствие отходов. Последнее особенно важно с точки зрения природоохранного вопроса [4].

Переработка изношенных автомобильных шин при высоких температурах очень сложный и энергоемкий процесс. Однако, очевидны перспективы применения рассматриваемого метода в технологии утилизации автошин, что, в свою очередь, позволит решить не только региональные проблемы по охране окружающей среды, но и создать новые рабочие места.

### Источники

1. Харисова А.З. Повышение конкурентоспособности РФ: в новый век с новой энергией // Вестник КГЭУ. 2017. Вып. №3(35). С. 84-90.

2. Цаликов Р. Культура безопасности жизнедеятельности системообразующий фактор снижения рисков ЧС // Основы безопасности жизнедеятельности. 2009. №11.

3. Тарасова Т.Ф., Чапалда Д.И. Установка для переработки изношенных автомобильных шин механическим скоростным способом // Вестник ОГУ. 2007. №2. С. 115-122.

4. Федосеев И.В., Баркан М.Ш., Прохоцкий Ю.М., Ласкина Н.Е., Логинова А.Ю. Технология утилизации отработанных резинотехнических изделий // Химия и химическая технология. 2013. Т. 56. Вып. 2. С. 117-120.

УДК 331.434

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ «УМНОЙ» КАСКИ «SHP» ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

М.С. Волков<sup>1</sup>, Ю.С. Макарова<sup>2</sup>, А.В. Яковкина<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «БрГУ», <sup>3</sup>МБОУ «СОШ №18», г. Братск

<sup>1</sup>mediatordallona@mail.ru, <sup>2</sup>jaredandshanon9@gmail.com, <sup>3</sup>arianahap@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Т.Н. Яковкина

С целью реализации концепции «Vision zero» в статье предложена новая технология «умных» средств защиты для предприятий энергетического комплекса. Система «SHP» оснащена технологией определения местоположения работника, контроля времени его пребывания в электромагнитных полях, предупреждения о возможном скачке напряженности поля, а также мониторинга состояния сотрудника.

**Ключевые слова:** Vision zero, «умные» СИЗ, измерение напряженности электромагнитного поля, контроль местоположения работников.

Вопросы улучшения условий и охраны труда находятся на особом контроле в нашей стране. Подтверждение этому - внедрение концепции «Vision zero» («Нулевой травматизм»), которая была запущена в Сингапуре 4 сентября 2017 года на XXI Всемирном конгрессе по безопасности и гигиене труда. Концепция, состоящая из семи «золотых правил» и нацеленная на обеспечение снижения показателей производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, контролируется Международной ассоциацией сощобеспечения совместно с Минтруда РФ [1].

С целью реализации концепции «Vision zero» в производстве появились «умные» каски [2–4], возможности которых сведены в таблицу.

Основной набор функций «умных» касок

Название	Модуль напряженности и поля	Анализ состояния работника	GPS	Тревожная кнопка	Информирование в режиме реального времени	Шифрование
Умка	х	х	√	х	√	х
Крок	х	√	√	√	√	√
<i>RFI-3</i> <i>BIOT</i> тм	х	х	х	√	х	√

Анализ существующих на рынке продуктов показал (таблица 1), что ни один из них не учитывает особенностей электроэнергетических предприятий: на объектах электроэнергетики функционирует большое количество электрооборудования, которое находится под напряжением и под нагрузкой, за счет чего вокруг образуются электромагнитные поля (ЭМП). Уровни ЭМП в некоторых случаях могут превышать предельно-допустимые значения, что, в свою очередь, требует ограничения времени пребывания персонала в зоне электромагнитных влияний. Так, например, предельно допустимый уровень напряженности воздействующего электрического поля промышленной частоты, при котором в зоне электромагнитного влияния запрещено находиться без средств индивидуальной защиты (СИЗ), устанавливается равным 25кВ/м [5].

Исходя из этого, существует необходимость в создании системы «умных» СИЗ, предназначенных для предприятий энергетической инфраструктуры, которые были бы реализованы в одном объекте, например, в «умной» каске.

В рамках проекта «Умная» каска «SHP» авторами статьи был разработан и изготовлен модуль измерения напряженности ЭМП для расширения возможностей «умных» касок. Демонстрационная модель и структурная схема модуля приведены на рис. 1.

Модуль «АМТА» состоит из 4-х функциональных блоков: биполярного источника и контролера питания (А), платы микроконтроллера на базе процессора ATmega 328 (Б), передатчика, работающего по протоколу Bluetooth 4.0 (В), и самого датчика измерения напряженности ЭМП, плата которого изготовлена авторами статьи (Г).

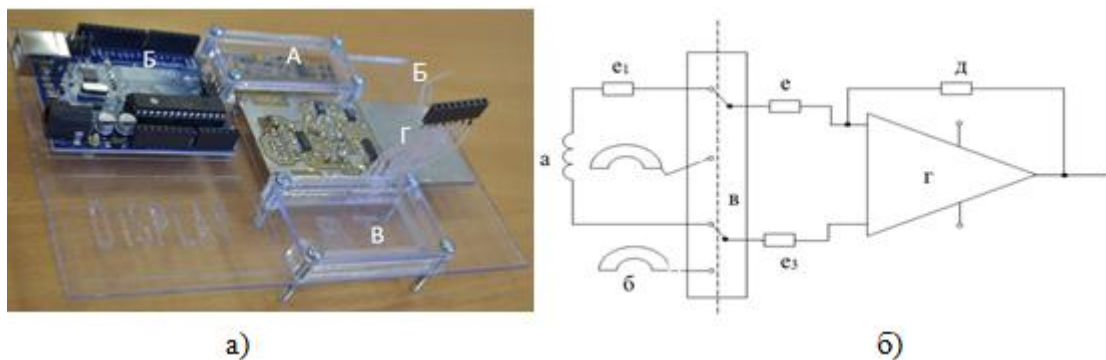


Рис. 1. Модуль измерения напряженности электромагнитного поля «АМТА»: а – внешний вид, б – структурная схема

Анализ одновременно и магнитного, и электрического полей реализуется за счёт аналогового ключа или входных коммутаторов (в), которые подключают то катушку (а), то конденсатор (б) к измерительному усилителю *LM 324* (г). Это позволяет не только уменьшить габариты платы и сократить стоимость изделия, но и обеспечить энергоэффективность системы. Резистор обратной связи (д) устраняет искажения и нелинейность, сглаживает частотную характеристику, а входные резисторы ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$ ), предназначены для регулирования входных параметров и тока смещения. Для осуществления управления модулем на C-подобном языке программирования написана программная часть, реализованная на базе процессора ATmega 328. Мобильное приложение написано на языке Java в среде разработки Android Studio.

Тестирование изготовленного модуля проводилось на высоковольтном испытательном аппарате АВ –70-0,5 с помощью измерителя напряженности ЭМП промышленной частоты ПЗ-50. Отклонение между показаниями модуля «АМТА» и измерителя ПЗ-50 представлены на рис. 2.

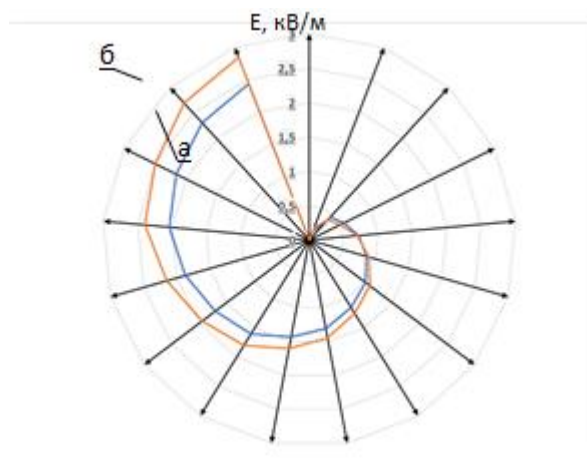


Рис. 2. Результаты испытания модуля напряженности ЭМП:  
а – показания ПЗ-50; б – показания «АМТА»

Использование модуля «АМТА» позволит контролировать пребывание персонала в ЭМП, а также предупреждать работников о том, что оборудование находится под напряжением или нагрузкой.

Для измерения температуры тела работника в разработанной системе «SHP» используется датчик на термисторе *NCP18WF104F03RC* с двухканальным операционным усилителем *MZ922*.

Для оповещения сотрудников отдела Охраны труда об ударах и о падении работника с высоты в продукте использован акселерометр *InvenSense MPU-6500* [6]. G-сенсор работает в декартовой системе координат и реагирует на ускорение отклонения по какой-либо оси системы ( $x, y, z$ ).

Контроль местоположения работника в «умных» касках обычно реализован с применением технологии GPS, однако на многих предприятиях существуют слепые зоны, где уровень сигнала не позволяет работать данной системе (например, галереи внутри плотны ГЭС). Кроме того, у GPS отсутствует возможность контроля перемещения работника по разным уровням высот.

Для реализации системы, лишенной таких недостатков, необходимо провести оцифровку территории и помещений предприятия. Цифровая карта будет находиться на сервере предприятия, а передвижение работников будет фиксировать G-сенсор, который передаст данные о перемещении с помощью модуля приема-передачи данных и базовой станции Вега БС-1.2. Данное решение сократит большие вычислительные мощности системы одной каски, ускорит работу передатчика за счет уменьшения объемов передаваемой информации и необходимости дополнительного шифрования пакета данных.



Следует также отметить, что в разработанном варианте «умной» каски «SHP» авторами статьи рекомендуется использовать G-сенсор в комплексе с Wi-Fi триангуляцией, что позволит сократить общее количество необходимых роутеров. Возможность установки Bluetooth-модуля позволит объединять каску в целую экосистему «умных» СИЗ.

Экономическая составляющая себестоимости одной «умной» каски «SHP» составляет 2385 руб. в ценах 2022 г.; комплекта, состоящего из 200 касок «SHP» и базовой станции Вега БС-1.2, – 482385 руб.

В заключении хотелось бы отметить, что, несмотря на тренд к снижению производственного травматизма на предприятиях энергетического комплекса, концепция «Vision zero» все еще не является достигнутой. Это приводит к необходимости создания абсолютно нового подхода к обеспечению безопасности работника, постоянного мониторинга состояния его здоровья и контролю всех рисков. Предполагается, что данную проблему в полной мере способна решить разработанная система «умной» каски «SHP».

### **Источники**

1. VISION ZERO. Семь «золотых правил» производства с нулевым травматизмом и с безопасными условиями труда: Руководство для работодателей и менеджеров Международной ассоциацией социального обеспечения. 2017. 20 с.

2. Softline. Программно-аппаратный комплекс «Умные каски» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://softline.ru/solutions/infrastructure-solutions/inzhenernyie-sistemyi/programmno-apparatnyj-kompleks-umnye-kaski?search\\_request=умные+каска](https://softline.ru/solutions/infrastructure-solutions/inzhenernyie-sistemyi/programmno-apparatnyj-kompleks-umnye-kaski?search_request=умные+каска) (дата обращения 05.04.2021).

3. Умная каска «Умка» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjx0KyW7> (дата обращения 05.04.2021).

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МАСЛОУЛОВИТЕЛЕЙ НА БРАТСКОЙ ГЭС

М.С. Волков<sup>1</sup>, Н.Д. Шадрин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

<sup>1</sup>mediatordallona@mail.ru, <sup>2</sup>camelotyuy@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Т.Н. Яковкина

Для реализации целей устойчивого развития ООН в области экологии, а также повышения экологичности гидросооружений авторами разработан проект модернизации действующей системы маслоуловителей на Братской ГЭС.

**Ключевые слова:** цели устойчивого развития, очистка сточных вод, маслоуловители ГЭС.

Охрана окружающей среды – основополагающий элемент в области развития энергетического бизнеса «En+Group». Одной из наиболее приоритетных целей устойчивого развития ООН, интегрированных в корпоративную стратегию Компании, является «Цель №6: Чистая вода и санитария» [1].

При этом следует отметить, что многие гидрогенерирующие мощности, входящие в состав предприятий «En+», были построены относительно давно, и первоначальные проекты не предполагали создания эффективной экологической инфраструктуры. Например, сточные системы. Утечка в таких системах грязной воды и в особенности масла в прилегающую акваторию способно нанести колоссальный ущерб водной экосистеме, потому является недопустимой [2].

Анализ состояния системы маслоуловителей в филиале ООО «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация» Братская ГЭС показал, что действующая система очистки сточных вод и вывода из них производственного масла требует модернизации. Это связано с тем, что система маслоуловителей является неавтоматизированной и в процессе эксплуатации требует постоянного обслуживания персоналом цеха технического обслуживания, что в совокупности с устаревшей технологией и человеческим фактором может привести к попаданию масла в сточные воды.

Авторами статьи предложен маслоуловитель (МУ) нового образца, который представляет собой комплекс емкостей из низкоуглеродистой стали, покрытой антикоррозионными лакокрасочными материалами, разного объема, которые сообщаются между собой через насосные установки либо посредством каскада фильтров. Основной принцип действия МУ остается неизменным – вследствие разной плотности масла и воды, водо-маслянистая субстанция естественным образом распадается на отдельные горизонтальные слои.

Принципиальная модель нового МУ представлена на рис. 1 (1.1 – вид сверху; 1.2 – вид сбоку).

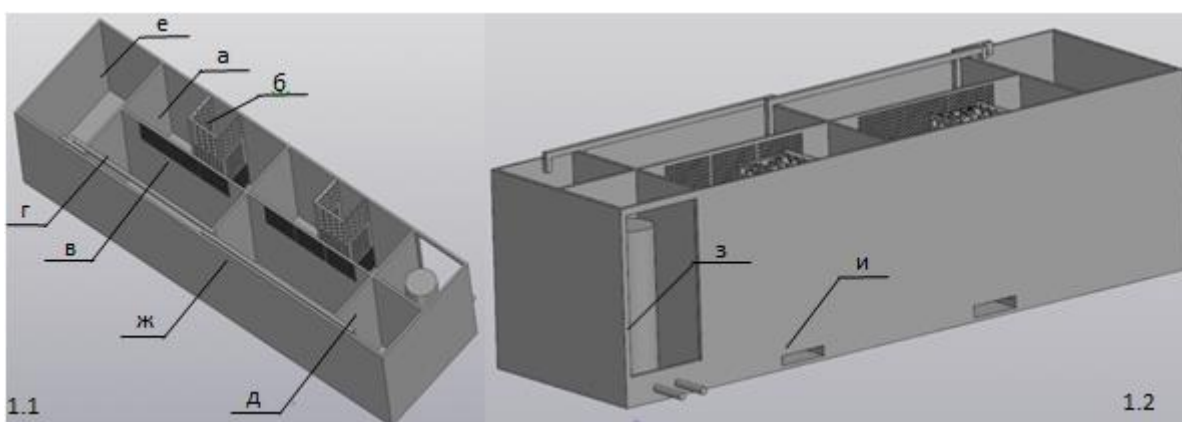


Рис. 1. Принципиальная модель нового маслоуловителя: а – приемная емкость; б – вертикальная система фильтрации; в – горизонтальная система фильтрации; г – водо-масляной отстойник; д – водный коллектор; е – масляной коллектор; ж – циркуляционные системы; з - система ультрафильтрации; и – короб

Вода через систему фильтрации равномерно подается в приемную емкость. Вертикальная система фильтров обеспечивает поэтапную фильтрацию воды. Разная площадь свободного проникновения водных масс у каждой решетки исключает возможность их засорения. Короб за счет возможности ручного открытия/закрытия прорезиненной пластины предусматривает забор твёрдого тяжелого сора прямо в процессе эксплуатации МУ. Из приемной емкости смесь поступает в отстойники через новую систему фильтрации, где жидкость постепенно заполняет объем до фиксированной высоты, а по достижению этого уровня, водно-маслянистая жидкость начинает подаваться на второй блок «приемно-отстойных емкостей». Следует отметить, что две параллельные системы обеспечивают возможность ремонтных работ на одном из блоков без вывода системы из работы.

В течение 2-х часов жидкость естественным путем в отстойной емкости делится на слои, а затем происходит откачивание насосом Pedrollo РК300 [3] нижнего слоя воды в водный коллектор. При этом в месте забора воды установлен датчик уровня «Политех», который в случае приближения слоя масла к насосу заблокирует систему.

После нескольких циклов в отстойнике начинает преобладать слой масла, и в тот момент, когда этот слой станет занимать более 25 % от общего объема емкости, включается насос, расположенный вблизи поверхности рабочего уровня наполнения емкости, отводя масло в масляной коллектор. В коллекторе масло хранится до непосредственного забора масла через задвижку (находится на высоте 0,2 м для исключения возможности попадания воды) и дальнейшей транспортировки масла на утилизацию или регенерацию. В приемной емкости также стоит датчик уровня масла, который сигнализирует о необходимости забора масла из системы.

Из водного коллектора на максимальной близости ко дну емкости насосом Pedrollo РК300 берется забор воды в блок очистки воды. Блок представляет собой флотационно-фильтрационную установку «ФФУ-1К» (рис. 2) [4]. Это современное, малогабаритное (1500 мм×1500 мм×1700 мм) оборудование, которое позволяет полностью решить проблему очистки сточных производственных вод.

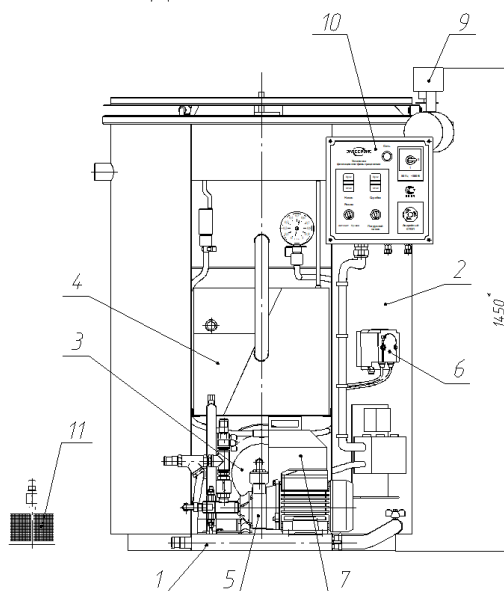


Рис. 2. Общий вид установки «ФФУ-1К»: 1 – металлическая рама, 2 – флотационная емкость, 3 – сатуратор, 4 – встроенный фильтр, 5 – насосный агрегат, 6 – насос-дозатор, 7 – бачок для раствора реагента, 8 – механизм шлакоудаления, 9 – привод, 10 – пульт управления

Установка очищает воду от остаточных нефтепродуктов, масел, жиров и других химических соединений. Это необходимо в первую очередь для того, чтобы исключить попадание множества химических соединений щелочных чистящих средств, применяемых для очистки трансформаторов на трансформаторных площадках, например, ДЭТАЛОН-10М.

Для автоматизации работы МУ в работе реализована система релейной автоматики. Она базируется на программируемом моноблочном контроллере с дискретными и аналоговыми входами/выходами на борту для автоматизации средних систем – ОВЕН ПЛК160 [М02]. Система управления установкой реализована на базе микропроцессорного устройства, так как оно имеет гибкую логику, по сравнению с электромеханическими устройствами, что позволяет модифицировать уже имеющуюся систему без дополнительных затрат. Логическая схема автоматизации системы маслоуловителей представлена на рис. 3.

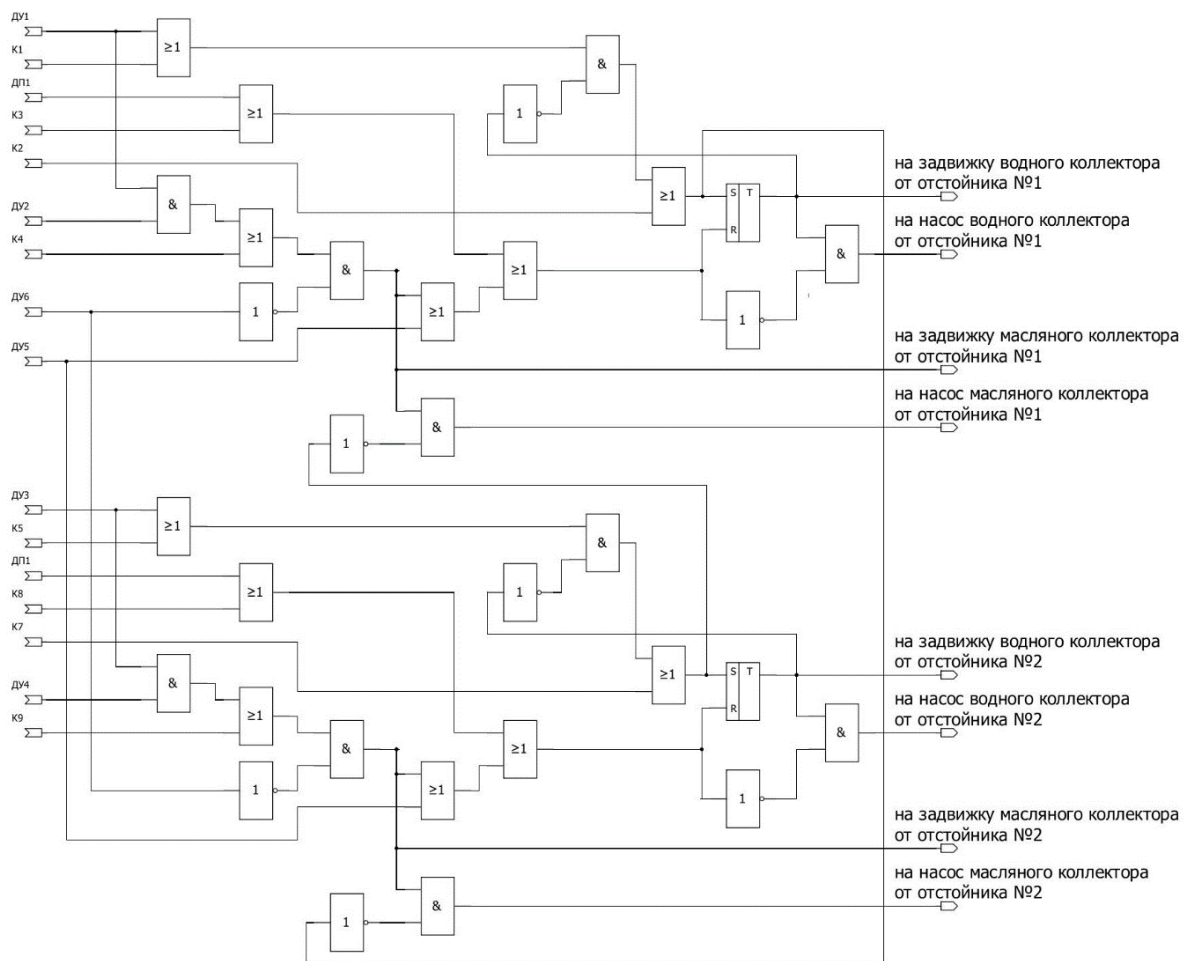


Рис. 3. Логическая схема системы управления маслоуловителем: ДУ – датчик уровня; ДП – датчик плотности;  $K_n$  – ключи ручного управления

Стоимость реализации новой системы МУ складывается из стоимости установки «ФФУ-1К», насосов Pedrollo РК300, автоматических задвижек DN80 4000STE2 и системы релейной защиты и автоматики. Металлические пластины используются от старой установки МУ. Параметры каждого комплекса и их стоимость приведены в таблице.

#### Общие капиталовложения

№	Оборудование	Количество	Стоимость, тыс. руб.
1.	Установка «ФФУ-1К» в сборе	1	391,8
	Насос-дозатор в упаковке, Заборный фильтр с клапаном и шлангом Ду 25–5 м., Сливной шланг Ду 32–5 м, Шланг сброса очищенной воды Ду 32–2м. Раствор реагента «Аква-Аурат-18» - 10 л	1	
2.	Насосный агрегат РК300, Pedrollo с электродвигателем 2,2 кВт, 2900 об/мин, 380 В	2	113,4
3.	4000STE2 Задвижка короткая с индикатором положения DN80 [5]	2	80,7
4.	Датчик уровня «Политех», прямой, нормально открытый [6]	6	6,6
	Датчик плотности L-Dens 3300 [7]	4	219
	Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК160 [M02] [8]	1	64,9
	Блок питания ПРОМА БП-1-12 [9]	1	0,6
Итого:			<b>887</b> тыс. руб.

Создание двух таких систем маслоуловителей обосновывается большой протяжённостью машинного зала Братской ГЭС и необходимостью равномерного распределения сточных вод для предотвращения засорения трубопроводов. Исходя из этого, общие капиталовложения по модернизации составят 1754 тыс. руб.

«En+ Group» – одна из немногих компаний, которая, действительно, сделала вопросы устойчивого развития приоритетными. В постоянной динамике роста требований к экологической политике энергетическому бизнесу «En+Group» необходимо совершенствовать технологии, способные обезопасить водную и наземную экосистему. Несмотря на небольшую прибыль от внедрения модернизированных маслоуловителей, степень отчистки производственных вод позволит не только возвращать в акваторию абсолютно чистую воду, но и использовать ее повторно для хозяйственно-коммунальных и производственных нужд.

## Источники

1. Guy Hutton, Mili Varughese. The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene. The World Bank, 2016. 64с.

2. En+. Отчет о целях устойчивого развития за 2021 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://enplusgroup.com/upload/iblock/d00/EN-\\_SDG\\_report\\_2021\\_RUS\\_1110\\_1830.pdf](https://enplusgroup.com/upload/iblock/d00/EN-_SDG_report_2021_RUS_1110_1830.pdf) (дата обращения 05.03.2022).

3. Насосный агрегат РК300, Pedrollo. Прайс лист [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://italy-pompa.ru/catalog/vikhrevye-nasosy/rk300/> (дата обращения 05.03.2022).

4. Флотационно-фильтрационная установка. ФФУ-1К. Паспорт. ФФУ-1К.00.000.ПС. Научно-производственная фирма «Экосервис», 2021. 10 с.

5. 4000STE2 Задвижка короткая с индикатором положения DN80. Прайс лист [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://profi27.ru/katalog/hawle/4000ste2-zadvizhka-korotkaya-s-indikatorom-polozheniya/> (дата обращения: 05.03.2022).

6. Датчик уровня «Политех», прямой, нормально открытый. Прайс лист [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://pumpcontroller.ru/catalog/datchiki/datchiki\\_urovnya/2171/](https://pumpcontroller.ru/catalog/datchiki/datchiki_urovnya/2171/) (дата обращения 05.03.2022).

7. Датчик плотности L-Dens 3300. Прайс лист [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://paar.ru/products/promyshlennye-datchiki/datchiki-plotnosti/novye-datchiki-plotnosti-l-dens-3300/> (дата обращения: 05.03.2022).

8. Программируемый логический контроллер ПЛК160 [M02] контроллер для средних систем автоматизации с DI/DO/AI/AO (обновленный). Прайс лист [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://owen.ru/product/plk160> (дата обращения 05.03.2022).

9. Блок питания ПРОМА БП-1-12. Прайс лист [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=76866> (дата обращения 05.03.2022).

## ВНЕДРЕНИЕ ПОНЯТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д.Д. Волкова

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

Dashavolkova412@Gmail.Com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. Боровкова

Определена важность внедрения для предприятий расчета экологического риска. Рассмотрен процесс определения риска. Проанализированы проблемы при его определении.

**Ключевые слова:** экологический риск, окружающая среда, оценка риска, управление риском, экологическая безопасность.

В последние годы в России пересматриваются приоритеты в природоохранной политике, которые основаны на определении ПДК, ПДС, ПДВ. Причиной этому служит низкая эффективность нормативного подхода. Вследствие этого, поэтапно внедряется система расчета экологического риска. Поэтому актуальным является разработка методологий оценки экологического риска негативного воздействия на биоту, которые позволят оценить весь спектр негативных последствий.

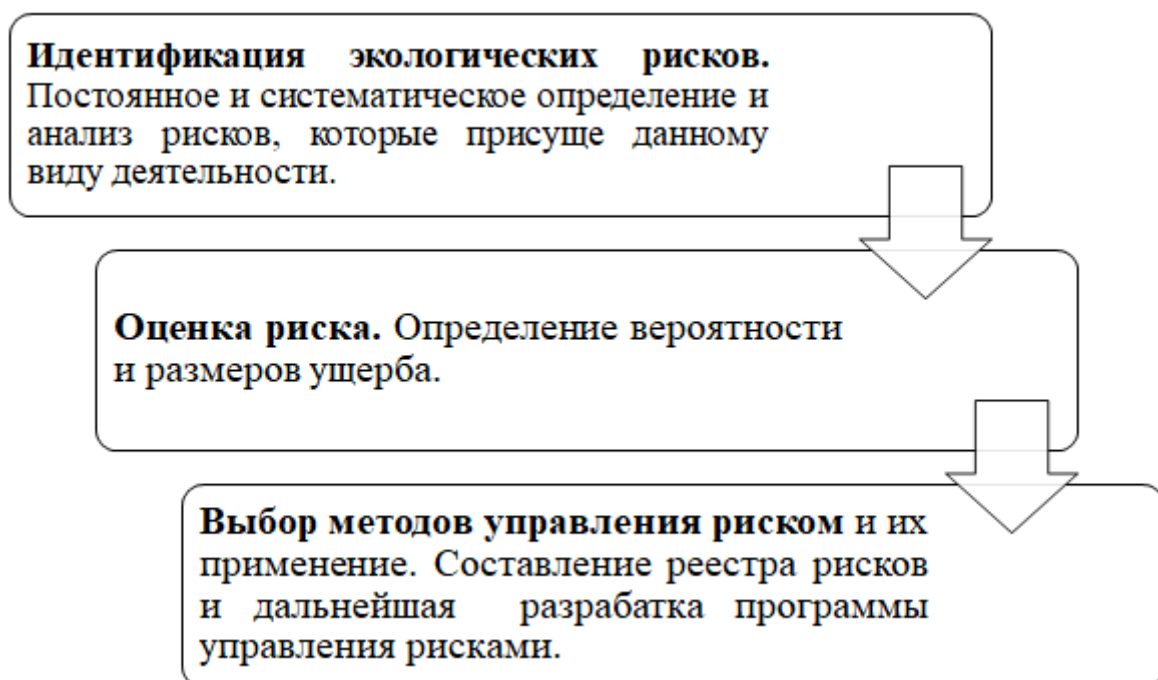
Экологический риск — это оценка на всех вероятности появления негативных изменений в окружающей среде, вызванных антропогенным или иным воздействием [1].

Главная задача при внедрении понятия экологического риска в проблемы обеспечения экологической безопасности состоит в том, чтобы:

- обоснованно осуществлять процедуры экологической экспертизы и сертификации;
- для принятия решений по вопросам обеспечения экологической безопасности использовать категорию экологического риска;
- по показателям уровня экологического риска проводить оценку или приемлемости или высокой опасности разных видов деятельности;
- реализовывать управление экологическим риском;
- ранжировать территорий и групп населения по величине экологического риска.



В общем виде процесс определения экологического риска можно представить на рисунке.



Процесс определения экологического риска

Критерии отнесения к определенной категории риска утверждены в постановлении Правительства Российской Федерации от 17.08.2016 № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации», которым закреплена обязательность применения риск-ориентированного подхода при осуществлении государственного экологического надзора [2].

При внедрении в законодательство Российской Федерации риск-ориентированного подхода будет значительно упрощена и усовершенствована организация государственного контроля путём установления разных требований в зависимости от категории риска.

Однако эффективность оценки риска существенно зависит от ряда факторов:

- достоверность и точность расчетных методик;
- квалификация и компетентность экспертов, которые проводят анализ риска;
- развитие вспомогательных средств (баз данных, системы получения информации).

Важным моментом для компании, при определении мероприятий в области защиты окружающей среды, является оценка экологических рисков. Но в настоящее время существует множество проблем при определении величины риска. К ним можно отнести:

- отсутствие единой и комплексной методики для оценки экологических рисков;
- неоднозначность и логические противоречия в базовых понятиях, таких как: «окружающая среда», «экологические риски», «ущерб окружающей среде»;
- оценка риска не может быть точной, т.к. риск носит прогностический характер;
- сложность получения исходных данных на основе инструментальных измерений;
- учет ограниченного числа факторов воздействия;
- большинство методик по оценке экологических рисков основаны на экспертном методе, что повышает субъективность оценки.

В связи с данными проблемами и значимостью определения величины риска возникает необходимость усовершенствования и дополнения существующих методик, а также создания методик, которые позволяют оценивать комплексное влияние.

### **Источники**

1. Основы экологического риска. Практикум: учеб. пособие / В. И. Марунин, Л. А. Авдоница. Пенза: ПГУ, 2013. 138 с.
2. Постановление Правительства РФ от 17 августа 2016 г. № 806 «О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

УДК 67.08:628.4.032

## **АНАЛИЗ МИРОВОЙ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ**

К.И. Гильмуллина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
kari.gilmullina@yandex.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Л.А. Николаева

В статье рассматривается вопрос развития системы утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) в зарубежных странах.

**Ключевые слова:** система обращения с отходами, мусоросжигание, современные технологии.

Одной из важнейших проблем каждого государства является обращение с ТКО, поэтому главная задача на сегодняшний день – это создание эффективной системы обращения с отходами с применением современных технологий.

В таких странах как Австрия, Швейцария, Япония, Китай, Германия, Великобритания, США и Россия сложившаяся система обращения с отходами приводит к выводу о том, что сокращение объемов отходов, переработка и рециклинг может помочь остальным странам решить проблемы с отходами.

District Heating Plant Spittelau – мусоросжигательный завод (МСЗ) в Вене, который обеспечен современными технологиями, предотвращающими выбросы в атмосферу. Количество перерабатываемых отходов в год составляет около 200 тыс. т, а вырабатываемая тепловая энергия позволяет отапливать почти 100 тыс. домов.

Система обращения с отходами в Евросоюзе представляет собой выстроенный алгоритм. Первый уровень – предотвращение образования отходов, а второй – повторное использование отходов и переработка. Мощности сжигания ТКО в Европе с 2010 по 2014 г. выросли до 81 млн т. На 2013 г. количество МСЗ составляло 1672, на 939 объектах совершалось простое сжигание, а на 688 сжигание с производством электроэнергии.

Сортировка мусора в Швейцарии обязательна и регулируется законодательством. В стране широко используется мусоросжигание отходов, которые не подлежат переработке, а полученную энергию используют в качестве электричества и отопления домов.

Самым развитым и динамичным в Японии является город Токио, где за год образуется более 2 млрд кг отходов. В 2018 г. Япония занимала лидирующую позицию в генерации электроэнергии путем сжигания отходов на МСЗ, что составляло 5,4 % всей выработки электроэнергии страны.

В Китае также применяется метод утилизации отходов с помощью МСЗ. Ежегодно в стране производится более 10 млрд т отходов. Еще 40 лет назад единственным способом утилизации отходов являлось захоронение на полигонах, когда на сегодняшний день число МСЗ доходит до 300 объектов.

Изменения в законодательстве Германии с 2012 г. привели к тому, что производители теперь обязывались отслеживать производство со стадии проекта на предмет опасных для экологии отходов и завершать жизненный цикл товара максимально экологической переработкой. Данное государство является лидирующим по объему утилизации ТКО в Европе, где 2/3 отходов перерабатывается в Германии, другая часть идет на экспорт, а остатки применяются при выработке энергии.

В Лондоне заявили о возможности получения водорода из отходов. Водород является одним из самых перспективных видов топлива и разнообразие способов его получения является одним из главных преимуществ водородной энергетики [2].

Основным способом утилизации отходов в США является захоронение. Из-за низкой экологической безопасности в стране произошел отказ от МКЗ, поэтому новые технологии переработки и применение рециклинга ТКО активно внедряют в сложную систему в данном государстве. В нескольких штатах сжигание отходов считается возобновляемым источником энергии и спонсируется государством [4].

Увеличение объемов ТКО характерно также для России. Жители городов ежегодно производят более 10 миллионов тонн отходов, из которых 5 % идет на переработку. Нагрузка на полигоны возрастает, поэтому происходит загрязнение вод и почв [1].

Государственные органы регулируют сферу обращения с отходами, издавая законы и реализуя национальные проекты. К 2024 г. в рамках национального проекта «Чистая страна» планируется ликвидировать в городах несанкционированные свалки, которые были выявлены до 1 января 2018 г. Федеральный проект «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» должен быть реализован до конца 2024 г.

Для сокращения и предотвращения появления новых полигонов происходит строительство МСЗ. В ближайшее время в Московской области предполагается строительство Единого комплекса утилизации золы и шлаков МСЗ [3].

Таким образом, в дальнейшей работе предполагается разработка технологии использования золы, образующейся от сжигания ТКО в системах очистки жидких и газовых сред.

### **Источники**

1. Владимиров Я.А., Кожукаръ Е.В., Луми А.Н., Опарина А.М. Перспективы энергетического использования твердых коммунальных отходов в крупных городах // Вестник КГЭУ. 2017. № 4(36). С. 74-82.

2. Гайсин А.Ф., Гайсин Ф.М., Багаутдинова Л.Н., Хафизов А.А., Валиев Р.И., Газеева Е.В. Плазменно-электролитные разряды в газожидкостной среде для получения водорода // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. №2. С. 27-35.

3. Дудина Э.А., Сабельников Б.Н. Сравнительный анализ стратегий обращения с твердыми коммунальными отходами // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (экология-2020): матер. XVI Межд. науч.-техн. конф., посвящается 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. 2020. В 2-х т. Т. 1. С. 210-216.

4. Федотова А.В. Зарубежный опыт организации и стимулирования раздельного сбора и утилизации твердых бытовых отходов на региональном уровне // Вопросы региональной экономики: научный журнал. 2019. №4(41). С. 54-62.

УДК 504.064

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА И УЧЕТА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Л.К. Зеленская

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

ZelenskyaLK@mpei.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.М. Боровкова

Определена важность внедрения методик расчета углеродного следа для российских предприятий, проанализированы существующие международные инструменты и системы учета парниковых газов.

**Ключевые слова:** парниковые газы, углеродный след, изменение климата, международный стандарт, прямые и косвенные выбросы.

Стремительное увеличение парниковых газов в атмосфере является причиной изменения климата и глобального потепления. Парниковые газы – газообразная часть атмосферы природного, а также антропогенного происхождения, которая поглощает и испускает инфракрасное излучение, оно исходит от земной поверхности, атмосферы и облаков. Парниковый эффект происходит из-за повышения температуры поверхности земли, вследствие нагревания нижних слоев атмосферы. Полный перечень веществ, относящихся к парниковым газам представлен в Распоряжении Правительства РФ № 2979-р от 22.10.2021, основными из данного списка можно выделить: диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ); закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ); метан ( $\text{CH}_4$ ); перфторуглероды (ПФУ); гидрофторуглероды (ГФУ) и гексафторид серы ( $\text{SF}_6$ ), в свою очередь, диоксид углерода является основным продуктом сгорания органического топлива.

Электроэнергетическая отрасль является существенным источником эмиссий диоксида углерода, метана, закиси азота и гексафторида серы. На территории РФ потребление в электроэнергетике органического топлива составляет около 30 %, выбросы диоксида углерода от ТЭС также оцениваются 30 %, а в балансе всех парниковых газов доля составляет примерно 25 % [1].

В качестве наиболее эффективных инструментов снижения негативного воздействия от выбросов парниковых газов были приняты важные документы: Рамочная конвенция ООН по изменению климата и Киотский протокол к ней (с 12 декабря 2015 г. Парижское соглашение).

Разработка подходов к изменению и учету объемов выбросов парниковых газов заняла продолжительное время, это отразилось на реализации задачи, изложенной в Указе Президента РФ № 752. Впоследствии был издан Указ Президента РФ № 666, где стоит задача обеспечить к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов уже до 70 % (в № 752 было указано 75 %) относительно уровня 1990 г. с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем.

В настоящее время существуют международные инструменты и системы учета выбросы парниковых газов. Необходимость расчета выбросов парниковых газов регулируется документами: ISO 14067:2018 (в России – ГОСТ Р 56267-2014/ISO/TR 14069:2013)».

Среди большого разнообразия методик и руководств по оценки эмиссий парниковых газов можно выделить наиболее распространенные:

1. Greenhouse Gas Protocol (GHG) Всемирного института ресурсов (WRI) – набор отраслевых руководств для учета выбросов парниковых газов, используемый в рамках предприятия.

2. ISO 14064-1 – национальный стандарт РФ для определения количественной оценки выбросов парниковых газов.

3. Общедоступные спецификации-2050 (PAS2050) Британского института стандартов (BSI) для оценки выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла товаров и услуг (BSI 2008).

Протокол по выбросам парниковых газов Всемирного института ресурсов подразделяет выбросы на прямые и косвенные и вводит классификацию по трем категориям (Score 1–3). Прямые выбросы (Score 1) – это выбросы парниковых газов от собственных источников, на которых осуществляется хозяйственная деятельность компании, предоставляющей отчет. Косвенные (непрямые) выбросы (Score 2, Score 3) – это выбросы, которые являются следствием деятельности компании, предоставляющей отчет, но поступают в атмосферу из источников другой компанией. Выбросы категории Score 3 необязательны для подсчета и предоставления.

Углеродный след – совокупность всех выбросов парниковых газов как прямых, так и косвенных, произведенных организацией или продуктом. Процесс оценки углеродного следа продукции изложен также в ISO 14067:2018 (в России: ГОСТ Р 56267-2014/ISO/TR 14069:2013) [2].

Многие российские предприятия ведут расчет эмиссий парниковых газов, пользуясь различными методиками, в том числе GHG, при этом аналогичные методы расчета заложены и в Приказе Министерства природных ресурсов и экологии России от 29.06.2017 № 330, а также в ГОСТ 56267–2014, т.е. важно отметить - российский стандарт (пункт 2) полностью повторяет принципы, требования и рекомендации по проведению количественной оценки и мониторинга, изложенные в Протоколе (пункт 1), однако, в российском стандарте косвенные выбросы (Score 2, Score 3) обобщаются, GHG содержит более полную категоризацию, это способствует лучшему сопоставлению показателей и регулированию выбросов парниковых газов. Расчет выбросов парниковых газов по категориям ведут компании, которые поставляют продукцию или услуги на мировые рынки. Например, компания «Газпром нефть» оценивает как прямые выбросы парниковых газов при сжигании углеводородного топлива и веществ, связанных с деятельностью производственных объектов и технологическими потерями, так и косвенные энергетические выбросы, в которые входит потребление сторонней электроэнергии, тепла, пара, охлаждения [3].

Метод оценки углеродного следа – общедоступных спецификаций – PAS 2050 (пункт 3) (Publicly Available Specification), ставит своей целью предоставление облегченного подхода, применяемого для разных типов продукции на различных предприятиях. Проверка углеродного следа состоит из проверки независимой третьей стороной того, что расчет, сделанный поставщиком, соответствует требованиям PAS 2050, т.е. спецификация не содержит методики расчета, а лишь требования к его проверке и разъяснения международных стандартов [4].

Таким образом, на сегодняшний день международный протокол GHG является самым универсальным стандартом учета парниковых газов, содержащим варианты наилучших методов расчета выбросов парниковых газов, учитывающим их области применения и охвата.

### **Источники**

1. Бочкарев В.А., Бочкарева А.В. Оценка выбросов парниковых газов предприятиями энергетики [Электронный ресурс]. Режим доступа: [otsenka-vybrosov-parnikovyh-gazov-predpriyatiyami-energetiki.pdf](#) (дата обращения 06.03.2022).

2. Ермакова М.С. Выбросы парниковых газов: раскладываем по полочкам [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.ecoindustry.ru/wp-content/uploads/2021/02/Ermakova.pdf> (дата обращения 06.03.2022).

3. Отчет об устойчивом развитии «Газпром нефть» Выбросы парниковых газов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://csr2018.gazprom-neft.ru/pdf/csr/ru/safe-development\\_environmental-safety\\_reducing-greenhouse-gas-emissions.pdf](https://csr2018.gazprom-neft.ru/pdf/csr/ru/safe-development_environmental-safety_reducing-greenhouse-gas-emissions.pdf) (дата обращения 06.03.2022).

4. Углеродный след: для чего он нужен и как рассчитывается [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru1.warbletoncouncil.org/huella-de-carbono-13160> (дата обращения 06.03.2022).

УДК 621-313.3

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Т.Ю. Михайлова  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
taisya.mikhaylova.00@bk.ru  
Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Е. Липантьев

В статье рассмотрены основные загрязнители воздуха вентиляционных выбросов и рабочей зоны предприятий, занимающихся производством изделий из композиционных материалов, кроме того, выявлены главные причины возникновения загрязнения воздуха. Также рассмотрены наиболее распространенные технологии очистки воздуха вентиляции от вредных газообразных примесей: адсорбция, биофильтрация, термическая деструкция. Предложена наиболее подходящая для предприятия, производящего стеклопластиковые изделия, технология очистки воздуха.

**Ключевые слова:** очистка вентиляционных выбросов, стеклопластиковые изделия, адсорбция, биофильтрация, термическая деструкция.

На сегодняшний день вопросы очистки воздуха вентиляционных выбросов и рабочей зоны предприятий, производящих и применяющих композиционные материалы от токсичных газообразных загрязнений, являются до сих пор открытыми. Постоянное присутствие в зоне воздействия широкого спектра химических веществ, находящихся в воздухе рабочей зоны на разных этапах технологического процесса при производстве стеклопластиковых изделий, является характерной особенностью условий труда работников данных предприятий.



Основными веществами, выделяющимися при производстве стеклопластиковых изделий, являются пары растворителей, таких, например, как ацетон, уайт-спирит, а также пары аэрозолей, выделяющиеся из технологических добавок (бензол, ксилол и др.). Отдельно стоит отметить пары стирола, которые выделяются при формовке изделий и нанесении связующего вещества (гелькоут) при изготовлении стеклопластика. Кроме того, при процессах финальной механической обработки изделий из стеклопластика образуются пыли стекловолокна, относящиеся к аэрозолям преимущественно фиброгенного действия.

К причинам загрязнения воздуха рабочей зоны вышеназванными веществами относят низкую автоматизированность рабочих процессов, а также высокую температуру воздуха рабочей зоны, ускоряющую испарение вредных веществ. Поэтому на предприятиях, изготавливающих стеклопластиковые изделия в обязательном порядке должны применяться системы аспирационной очистки воздуха от паров стирола, растворителей различного типа, аэрозолей и пыли [1].

Промышленность России предлагает широкий спектр разнообразных технологий очистки воздуха систем вентиляции от вредных газообразных примесей. Наиболее распространёнными являются технологии на основе адсорбции, биофильтрации и термической деструкции.

В основе процесса адсорбции лежит способность специального вещества с пористой структурой (адсорбента) поглощать различные газы и пары. Преимуществами этого метода очистки воздуха рабочей зоны являются: несложность эксплуатации; высокая эффективность очистки; простота механизмов очистки; а также небольшая стоимость очистного оборудования. Помимо этого, существуют и недостатки адсорбционного метода очистки воздуха, а именно: по истечении определенного времени сорбент необходимо утилизировать и заменять новым, а также, может происходить закупоривание пор сорбента, кроме того, промышленные фильтры, загруженные сорбентом, имеют большую массу [2].

Биофильтрация представляет собой процесс очистки воздуха рабочей зоны предприятия, загрязненного органическими примесями с помощью разнообразных микроорганизмов (бактерий, грибов) путем микробиологического распада. Для такого метода очистки воздуха обычно применяется установка, принцип работы которой основывается на технологии биофильтрации с использованием скруббера, благодаря чему очищенный воздух отделяется от примесей, после чего охлаждается и увлажняется. Так как происходит процесс разрушения загрязнителей, а не просто их адсорбция, наполнитель биофильтра не содержит в себе остатки исходных органических соединений, присутствующих в очищаемом воздухе [3].

Процесс термической деструкции представляет собой разрушение загрязнителей воздуха рабочей зоны под влиянием повышенных температур. Термическое обезвреживание загрязненного воздуха проводится в установках, в состав которых входят топочные и горелочные устройства с дымоходами для отвода продуктов сгорания и теплоутилизаторами. Этот способ очистки воздуха является наиболее дорогостоящим и энергозатратным из рассматриваемых выше [4].

Подводя итог можно сказать, что очистка вентиляционных выбросов на предприятиях, производящих изделия из стеклопластика, является необходимым условием безопасного и эффективного производственного процесса. Исходя из рассматриваемых технологий очистки воздуха рабочей зоны от различных паров, аэрозолей и пыли, можно сделать вывод о том, что биофильтрация является наиболее рациональным способом очистки выбросов, так как биофильтры экономически выгодны, просты в использовании и имеют довольно большой срок эксплуатации. Применение такой технологии позволит значительно сократить выбросы вредных веществ в атмосферный воздух, а также повысит качество воздуха в рабочей зоне предприятия по производству изделий из стеклопластика.

### **Источники**

1. Пикалов Е.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Физико-химические методы очистки промышленных выбросов в атмосферу и гидросферу: учеб. пособие. Владимир: ВлГУ, 2016. 86 с.
2. Акужаева Г.С. Физическая химия. Поверхностные явления и адсорбция. Коллоидные системы: учеб.-метод. пособие. СПб.: ЛГУ им. А. С. Пушкина, 2016. 43 с.
3. Компанцев Д.В., Лежнева Л.П., Чахирова А.А. Возможности биотехнологии в реализации глобальных экологических проблем. Пятигорск: ООО «Рекламно-информационное агентство на КМВ», 2021. 119 с.
4. Сергина Н.М., Калюжина Е.А., Стреляева А.Б., Бурханова Р.А. Очистка выбросов в атмосферу и сточных вод: учеб. пособие. Волгоград: ВолгГТУ, 2020. 130 с.

## РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ ПО МОНИТОРИНГУ И ОЦЕНКЕ ЭМИССИИ БИОГАЗА В ХОДЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Я.Р. Морскова

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КХТИ», г. Казань

yana.serazeeva@mail.ru

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. С.Ю. Гармонов

Рассмотрены метрологическое и хемотрическое обеспечение контроля и эмиссии биогаза в ходе экологических исследований с определением оптимальных условий отбора проб биогаза, типа и пористости сорбента, аэродинамических показателей скважин, условий окружающей среды.

Данные исследования могут быть положены в основу разработки унифицированных подходов по мониторингу биогаза в ходе экологических исследований.

**Ключевые слова:** отбор проб, биогаз, газовая хроматография, хемотрические методы, расширенная неопределенность измерений.

Справочные материалы и нормативные документы Российской Федерации в настоящее время, к сожалению, не всегда корректно определяют и разделяют некоторые понятия в области экологических исследований эмиссии биогаза. Размытость и нечеткость определений, неоднозначность предъявляемых требований к тем или иным объектам регулирования нормативных документов по отбору проб биогаза, усложняет исполнение, а также позволяет неоднозначно трактовать те или иные требования нормативных документов, что в свою очередь приводит к определенным трудностям в работе организаций и государственных структур – контролирующих или согласующих органов.

Наиболее сложная ситуация возникает, когда объект исследования входит в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений в соответствии с 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [1].

При проведении исследований по определению концентраций газа в почвах и мониторинга свалочного газа в полигонах эксперты сталкиваются с проблемой отсутствия единого руководства по отбору проб. Различные методические рекомендации, которые применяются специалистами при выполнении работ, подразумевают различия в способах и этапах при проведении отбора проб, что приводит к получению искаженных результатов. Также в нормативной базе не рассматривается обработка и интерпретация полученных результатов [2].

Нами предлагается анализировать данные сорбционным способом с помощью хемометрических методов. Хемометрические методы основываются на геометрическом представлении данных. Наблюдаемые объекты располагаются в теоретическом пространстве размерностью, соответствующей числу признаков, которыми они характеризуются. С помощью данных методов будет возможно проанализировать взаимосвязь между различными факторами при данных экологических исследованиях биогаза.

Выход биогаза может составлять от нескольких кубометров, до нескольких тысяч кубометров в секунду [3]. Выбор способа отбора проб определяется множеством факторов: природой анализируемых веществ, наличием сопутствующих примесей.

Оптимизация определений анализируемого вещества была основана на подборе фильтров и сорбентов и уменьшению погрешности определения, связанных с пробоотбором. На основании различных методик и научных статей были выбраны следующие типы сорбентов:

1. Древесный уголь.
2. Кокосовый уголь.
3. Диатомит крупная фракция.
4. Диатомит мелкая фракция.

Древесный уголь имеет поры трубчатой формы, соответственно можно предположить, что метан может быстрее пройти через поры и приблизиться к крану трубки, в следствии чего улетучиться из нее. Поры кокосового угля так же имеют трубчатую форму, но расположены не параллельно друг другу, а пересекаются, что гипотетически должно увеличить возможное время аккумуляции метана на данном сорбенте. Диатомит также имеет хорошую твердость, меньше крошится, не забивает газовую пипетку и сорбционную трубку, не оставляет пыли. Проанализировав представленные сорбенты, выявили наиболее подходящие для аккумуляции метана в газовой пипетке – кокосовый уголь и диатомит мелкой фракции.

Поскольку наша цель – создание унифицированной методики измерений, необходимо рассчитать расширенную неопределенность измерений. Расчет производился согласно РМГ 76-2014, приложение Л [4].

Рассчитав расширенную неопределенность, стало ясно, что в день отбора для кокосового угля неопределенность составила 10,36 %, для диатомитовой крошки – 9,49 %, а через три дня для кокосового угля – 18,42 %, для диатомитовой крошки – 17,30 %. Данные результаты дают понять, что наши исследования не превысили табличное значение расширенной неопределенности, что является хорошим показателем для наших измерений.

Отбор проб биогаза – метана проводился на полигоне ТБО «Преображенка» Самарской области. Исследования проводились скважинным методом с послойным отбором проб биогаза на разных горизонтах в нескольких точках отбора проб.

Срок хранения проб составлял не более 5 ч, что неудобно при отборе проб в большом объеме и при анализе в стационарной лаборатории. Таким образом, была поставлена задача увеличения времени хранения пробы. Для выполнения данной задачи было принято решение заполнить внутреннее пространство пипетки сорбентом, который задерживал газ внутри пипетки, тем самым увеличивал время хранения пробы.

Проанализировав отобранные пробы биогаза с помощью хроматографического анализа пришли к заключению, что содержание метана в газовой пипетке с сорбентами по истечении трех дней уменьшилось в среднем на 12 % от первоначального, а в пипетке без сорбента – на 50 %. Содержание метана в газовой пипетке с мелким диатомитом уменьшилось примерно на 10,5 %, а в газовой пипетке с кокосовым углем – примерно на 14 %.

Методы хемометрики позволяют установить, от каких факторов зависит выход метана на поверхность: от глубины бурения скважины, от температуры газопылевых потоков, от типа грунта, от метеорологических условий, от объема, скорости или температуры газопылевых потоков и т. д. Использовались методы хемометрики такие как: корреляционный анализ, кластерный анализ, метод главных компонент, факторный анализ. Исходя из анализа полученных данных видно, что содержание метана тесно связано с типом сорбента, диаметром пор, влажностью и температурой окружающей среды, а также прослеживается небольшая зависимость метана от площади сечения и температуры газопылевых потоков.

## Источники

1. Российская Федерация. №102-ФЗ (2008). Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений». М: Государственная дума, 2008. 11 с.
2. Инженерно-экологические изыскания для строительства: СП 11-102-97: утв. Деп-том развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России 25.02.1997: ввод. в действие с 15.08.1997. М.: ПНИИИС, 1997. 75 с.
3. Чусов А.Н. Оценка зонального распределения метана на полигонах ТБО северных регионов для его использования местной энергетикой / В.И. Масликов, Д.В. Молодцов, В.В. Жажков, О.А. Рябухин. СПб.: Инженерно-строительный журнал №6. 2015. 12 с.
4. РМГ 76-2014. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа. ФГУП «УНИИМ», 2016. 114 с.

УДК 504.064

## МОНИТОРИНГ АКРИЛОНИТРИЛА В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСАХ, ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ И АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Г.А. Нагуманова

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КХТИ», г. Казань

Nagumanova-g@mail.ru

Науч. рук. д-р хим. наук, проф. С.Ю. Гармонов

В работе изучены подходы к анализу атмосферного воздуха, воздуха рабочей зоны, промышленных выбросов в атмосферу на содержание акрилонитрила сорбционно-хроматографическим методом. Проведена разработка и валидация методики определения акрилонитрила в воздушных средах методом газовой хроматографии на аппаратно-программном комплексе на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000» в комплекте с пламенно-ионизационным детектором, генератором водорода, термодесорбером.

**Ключевые слова:** акрилонитрил, промышленные выбросы, воздух рабочей зоны, газовая хроматография.

Акрилонитрил широко используется в качестве сырья в производстве пластмасс, АБС-пластика, синтетического каучука и других синтетических волокон [1]. Является сильнодействующим ядовитым веществом.

Предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе 0,03 мг/м<sup>3</sup>, в воздухе рабочей зоны – 0,5 мг/м<sup>3</sup>, в воде водоемов – 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Максимально допустимая концентрация при использовании промышленных противогозов составляет 10000 мг/м<sup>3</sup> [2].

Согласно действующему законодательству предприятия, выбрасывающие загрязняющие вещества в атмосферный воздух, должны контролировать их концентрацию в отходящих газовых потоках. Однако методики измерений некоторых веществ на настоящий момент являются морально и технически устаревшими либо вовсе отсутствуют.

В связи с этим создание современных подходов к определению экотоксикантов в объектах окружающей среды является актуальной задачей.

Целью работы стала разработка методики измерения акрилонитрила в воздушных средах включая промышленные выбросы, воздух рабочей зоны и атмосферный воздух.

При разработке методики был применен аппаратно-программный комплекс для медицинских исследований на базе хроматографа «Хроматэк – Кристалл 5000» с пламенно-ионизационным детектором. В состав комплекса также входят персональный компьютер, программное обеспечение «Хроматэк Аналитик», десорбер 5.886.045, термодесорбер ТДС-1 и другие комплектующие.

Образцы для градуировки были приготовлены с использованием чистого вещества для хроматографии (Cas № 107-13-1) с содержанием основного вещества акрилонитрила 99,5 %.

Разделение проводилось на капиллярной колонке CR-Vol, 60 м×0,53 мм×3,0 мкм, Кат.№6.917.878 компании Хроматэк с рабочей температурой 0...290/300 °С.

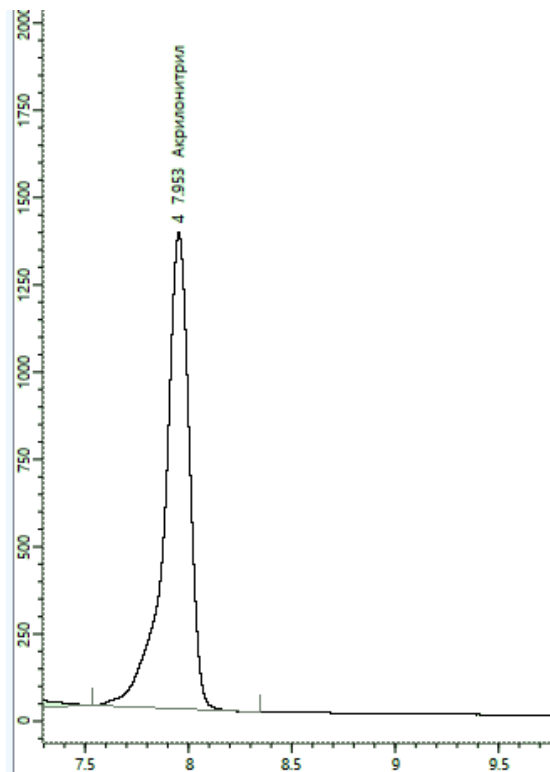
Для поглощения акрилонитрила были выбраны комбинированные сорбционные трубки, заполненные последовательно тремя сорбентами: Tenax; Carborack B; Carbosieve S III.

Проведена градуировка хроматографа с использованием стандартных растворов (см. таблицу).

Данные для построения градуировочного графика

Масса акрилонитрила, нанесенного в сорбционную трубку, мкг	Отклик			СКО,%
0,0763	142,686	142,117	145,678	1,3
0,1526	355,13	342,83	358,484	2,3
0,763	1976,28	1927,2	2013,11	2,2
1,526	4226,44	4075,79	4137,51	1,8
3,815	11314,2	11226,9	11487,7	1,2

На рисунке приведена хроматограмма при определении акрилонитрила. Время удерживания акрилонитрила составило 7,970 мин. По приведенным в таблице данным построен градуировочный график с функцией  $C = 0,000341 S$ ;  $R=0,99$ .



Хроматограмма акрилонитрила (3,815 мкг)

Число торических тарелок составило 6708. Приведенное число теоретических тарелок 112.

Эффективность десорбции, рассчитанная по результатам эксперимента составила 98,6 %. Линейный диапазон измерений от 0,03 до 40 мг/м<sup>3</sup> при объеме пробы от 0,1 до 2,5 дм<sup>3</sup>. Установленная расширенная неопределенность результатов измерений акрилонитрила при коэффициенте охвата  $k=2$ , соответствующей уровню доверия  $P=0,95$  составила 16,6 %, что соответствует нормативным критериям.

Таким образом, результатом научной работы является методика измерений концентрации акрилонитрила в воздушных средах.

### Источники

1. Осторожно - яд! Акрилонитрил. Химия онлайн [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://himija-online.ru/ximiya-v-bytu/ostorozhno-yad/akrilonitril.html> (дата обращения 19.02.2022).



2. Акрилонитрил. Энциклопедия – справочник пожарного и не только // Сетевое издание «Fireman.club» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fireman.club/inseklodepia/akrilonitril/> (дата обращения 19.02.2022).

УДК 614.8

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА**

В.В. Нефедов

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

NefedovVV@mpei.ru

Науч. рук. ст. преп. Д.А. Бурдюков

В данной статье рассматриваются методики оценки устойчивости промышленного объекта к чрезвычайным ситуациям (ЧС). Оценка проводится с целью предотвращения угроз для жизни и здоровья граждан или минимизации их последствий.

**Ключевые слова:** ЧС, природный, техногенный, оценка устойчивости, методики.

За последние годы человек стремительно наращивает объемы производства. Прогрессирующая деятельность человека и глобальное изменение климата, в результате которого возникают стихийные бедствия, могут стать причиной аварийной ситуации на предприятии. В связи с этими факторами, риски ЧС являются огромной угрозой для населения и промышленных объектов, которые могут отчасти либо всецело утратить свою функциональность, если они окажутся в зоне поражения.

Устойчивость объекта можно охарактеризовать как: возможность работать в штатном режиме при ЧС; способность материально-технического комплекса противостоять разрушению, сохранение уровня объемов производства при ЧС; способность восстановить производство до требуемого уровня в кратчайшие сроки.

В ходе решения вопросов по устойчивости к ЧС различных промышленных объектов необходимо рассматривать ряд моментов:

1) необходимость направлять определенное количество сил и средств для осуществления оперативного регулирования;

2) выделение соответствующего количества ресурсов, необходимых для уменьшения вероятности возникновения ЧС.

В случае оперативного регулирования оценка по обеспечению устойчивости функционирования объекта может быть осуществлена как при его проектировании, так и на действующем объекте при его реконструкции или модернизации. Огромное внимание при проектировании промышленных объектов необходимо уделять решениям по предупреждению ЧС, которые могут возникать в ряде случаев, а именно: аварийная ситуация непосредственно на объекте; аварийная ситуация на объектах, расположенных неподалеку от проектируемого; в результате стихийных бедствий [2].

На действующих объектах оценка проводится по трем основным направлениям:

- 1) оценка организационных мер;
- 2) оценка инженерно-технических мер;
- 3) определение соответствие мер.

Оценка производится по четырехбалльной системе, где 1 балл – несоответствие требованиям, и 4 балла – полное соответствие требованиям.

После проставления оценок определяется степень соответствия мер установленным требованиям. Соответствие их в полном объеме принимается за единицу. По формулам рассчитывается устойчивость:

- устойчивость не обеспечена, если она  $\leq 0,5$ ;
- устойчивость ограничено обеспечена, если она находится в диапазоне от 0,5 до 0,9;
- устойчивость обеспечена, если она  $\geq 0,9$  [1].

Тенденцией последних лет является анализ риска и вероятности возникновения ЧС. Экономически гораздо эффективнее направить средства на идентификацию опасности ЧС и предотвращение ущерба, нежели возместить этот ущерб.

Идентификация опасности ЧС – процесс выявления, распознавания и качественного описания опасности ЧС [3].

Для оценки рисков ЧС разработаны следующие методические документы:

Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [4]. В данной методике представлены основные законы и зависимости, порядок и алгоритм проведения расчетов для оценки риска для человека от ЧС различного характера.

Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций / Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов [5].

Данное руководство определяет процедуру оценки рисков ЧС, а также методические рекомендации по построению и анализу различных «деревьев».

Используя вышеописанные методики и руководства, можно провести анализ по устойчивости объекта, на основании которого принимаются решения о необходимости проведения мероприятий по обеспечению устойчивости функционирования. Проведение профилактических мероприятий позволит снизить затраты на ликвидацию последствий, а в некоторых случаях – полностью предотвратить их.

### **Источники**

1. ГОСТ Р 22.2.12-2020. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Повышение устойчивости функционирования организаций в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.

2. Методические рекомендации по составлению раздела «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций» проектов строительства предприятий, зданий, и сооружений МДС 11-16.2002 (утв. МЧС РФ 12 сентября 2001 г.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dokipedia.ru/document/5320136> (дата обращения 09.03.2022).

3. ГОСТ Р 55059-2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения.

4. Методика комплексной оценки индивидуального риска чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. М.: ВНИИГОЧС, 2002.

5. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций. Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов. М.: Центр стратегических исследований гражданской защиты МЧС России, 2007.

## АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО МЕСТА И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТРЕССА ДИСПЕТЧЕРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.А. Новичихин  
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва  
m4sn1kk@gmail.com  
Науч. рук. асс. Н.В. Васильева

В статье представлен анализ влияния эргономических факторов рабочей среды на утомляемость, работоспособность и профессиональный стресс работников энергетических предприятий, а, именно, диспетчера энергосистемы. Выделено положительное и отрицательное влияние каждого фактора трудового процесса и предложен перечень мер.

**Ключевые слова:** эргономика, факторы трудового процесса, профессиональный стресс.

В рамках национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» труд остается важнейшим фактором производства. Для энергетической отрасли характерна централизация, сложная координация деятельности подсистем, непрерывное участие человека в процессах управления. Повышение качества жизни работников — не перестает быть неотъемлемой частью пути достижения успеха современной компании. Надежность и эффективность сложных систем существенно зависит от психоэмоционального состояния персонала, на которое влияют гигиенические критерии оценки факторов рабочей среды, тяжести и напряженности трудового процесса.

В работе проведен анализ рабочего места диспетчера энергосистемы (см. рисунок).



Рабочее место диспетчера энергосистемы

В поле зрения оператора расположены 10 мониторов с возможностью корректировки угла наклона, 3 клавиатуры, 2 мыши, 2 стационарных рабочих телефона, рация и зарядное устройство для нее, пульт управления, настольный органайзер для документации, канцелярские принадлежности. Под столом расположены 2 тумбы. Кресло диспетчера оснащено подлокотниками и колесами для свободного перемещения, регулируется по высоте и углу наклона спинки. За рабочим столом на расстоянии трех метров установлены мониторы, образующие монолитный экран. Уровень освещенности составляет 280 Лк. Уровень шума не превышает 80 дБ. Параметры микроклимата – оптимальные.

Факторы трудового процесса, влияющие на психоэмоциональное состояние диспетчера

Факторы	Влияние	
	Положительное	Отрицательное
Освещенность	Оказывает положительное психофизиологическое действие, повышает безопасность и эффективность труда, способствует сохранению высокой работоспособности, снижается утомляемость и уровень травматизма	При недостаточном освещении ухудшается зрительная работоспособность, наступает утомление, спад концентрации внимания, усталость нервной системы [1]
Шум	При уровне звукового давления 65 – 70 дБ и ниже сохраняется уровень выработки, при этом затрачивается меньше нервно-психических и физических усилий на 15 – 25 %	Накапливающиеся акустические раздражения приводят к усталости, гипертонии, сонливости, нервозности, препятствуют сохранению долгосрочной концентрации. Растет количество ошибок у оператора, замедляется темп работы [2]
Микроклимат	Оптимальные микроклиматические условия повышают производительность труда до 58 % [5]	В условиях повышенной температуры появляется головная боль, головокружение, общая слабость, снижение работоспособности [3]
Эргономичность кресла	Снижается риск развития заболеваний, связанных с сидячей работой, повышается комфорт, концентрация работников	Возникают боли в спине, шее, плечах, ухудшение настроения, головные боли, растет нервное и психоэмоциональное напряжение [4]
Мониторы	При соблюдении норм выбора и расположения мониторов повышается комфорт и работоспособность, существенно снижается усталость глаз, головные боли	Зрительное утомление; боли, жжение в глазах; болезненное ощущение при движении глаз; сухость, ощущение «песка» в глазах; покраснение глаз после работы на компьютере; головная боль [5]

В таблице рассмотрено влияние факторов трудового процесса на психоэмоциональное состояние диспетчера.

Современный диспетчер, принимая решения управления, учитывает большое количество взаимосвязанных факторов, принимает правильные управляющие решения в условиях риска и неопределенности, выявляет проблемные ситуации. Поэтому соблюдение норм факторов производственной среды и эргономических параметров рабочего места позволит обеспечить высокие показатели работоспособности, снизить утомляемость, профессиональный стресс и уровень травматизма.

### **Источники**

1. Шарипова М.Н., Пименова К.А. Влияние освещенности на физиологическое состояние организма человека. Оренбург: ОГУ. 2017. 5 с.

2. Рахимов Х.Р. Изучение влияния шума на организм человека. Дюряули: ГБПОУ Дюряулинский многопрофильный колледж, 2017. 33 с.

3. Микроклимат. Влияние параметров микроклимата на самочувствие человека. Системы обеспечения параметров микроклимата и состава воздуха, их устройство и требование к ним: учеб. пособие. М.: ПУ№63. 2015. 6 с.

4. Старков С.В. Влияние сидячей работы на здоровье офисного работника // Наука и образование: «Новое время»: сб. ст. №6. Тольятти, 2017. 6 с.

5. Авдеева Н.В. Как компьютер на самом деле влияет на зрение. Воронеж, 2020. 7 с.

УДК 628.477.6

## **ОЧИСТКА ВОДНЫХ СРЕД ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГИДРОФОБНЫМ КАРБОНАТНЫМ ШЛАМОМ**

Д.П. Тихонова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

darryat@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Л.А. Николаева

На ТЭЦ при известковании и коагуляции образуется карбонатный шлам, являющийся отходом энергетики. Рассмотрена возможность применения данного шлама при очистке водных объектов от загрязнений нефтепродуктами.

**Ключевые слова:** гидрофобный сорбционный материала, разливы нефтепродуктов, схема очистки от нефтяных загрязнений.

Изучение окружающей среды и воздействия человеческой деятельности на природные экосистемы в последнее время приобрело всемирное значение. Очевидно, что постоянное стремление человека полностью использовать продукты окружающей среды привело к образованию отходов в таких пропорциях, которые угрожают самому существованию определенных стратегических экологических мест обитания и прямо или косвенно влияют на численность населения. Выбросы в окружающую среду стойких химических веществ приводят к уровню воздействия, который в конечном счете зависит от времени, в течение которого химическое вещество остается в обращении, и от того, сколько раз оно циркулировало до окончательного удаления.

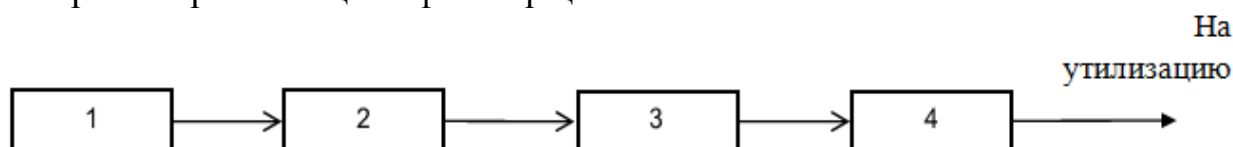
В случае загрязнений нефтепродуктами, особенно в тех случаях, когда принимающая среда является водной, последствия находятся в диапазоне не поддающегося количественной оценке ущерба рыбам и другим экономически важным водным организмам, а также прямых и косвенных негативных последствий для социально-экономической жизни людей, выживание которых во многом зависит от продуктов водной среды, поэтому становится актуальной разработка технологий ликвидации разливов нефтепродуктов, новых технологических схем очистки сточных вод от нефтяных углеводородов, которые должны соответствовать современным требованиям - быть максимально доступными, удобными, экологически безопасными и экономически целесообразными.

Целью исследования является разработка технологии очистки водных объектов от загрязнений нефтепродуктами с использованием гидрофобного сорбционного материала, разработанного на основе шлама химводоподготовки ТЭЦ АО «Марийский целлюлозно-бумажный комбинат» (АО «МЦБК»).

На стадии предварительной очистки природной воды на ТЭЦ АО «МЦБК» при известковании и коагуляции образуется шлам химводоподготовки, который является отходом производства. Он складывается в накопителях, в результате чего возрастает экологическая нагрузка на прилегающие территории предприятия.

Для очистки водных сред от нефтяных загрязнений к сорбентам для сбора нефтепродуктов предъявляют следующие требования: гидрофобность, высокая нефтеёмкость, высокая плавучесть (способность удерживаться на поверхности воды), способность к удерживанию нефти при удалении сорбционного материала с водной поверхности, простота утилизации или биоразлагаемость, устойчивость к разрушению в водной среде, возможность многократной регенерации, простота эксплуатации, эффективность работы в широком диапазоне температур, нетоксичность, оптимальная стоимость [1].

Во время растекания нефтепродуктов происходит уменьшение толщины их слоя. Для локализации нефтяного загрязнения применяют заградительные боны постоянной плавучести. Заградительный бон попадает на водный объект, в который поступают загрязненные нефтепродуктами сточные воды предприятия, – пруд-отстойник с территории предприятия АО «МЦБК». Далее распылителем наносится гидрофобный сорбционный материал в область локализованных нефтепродуктов. После насыщения, происходит сбор сорбционного материала при помощи нефтесборщика.



Очистка от нефтяных загрязнений водной поверхности сорбентом ГКШ: 1 – концентрирование нефтяного загрязнения, 2 – нанесение ГКШ, 3 – сбор насыщенного ГКШ, 4 – утилизация отработанного ГКШ

После очистки пруда-отстойника от нефтяных загрязнений разработанным сорбционным материалом, образуется насыщенный нефтепродуктами материал, который возможно использовать в качестве вторичного энергетического ресурса на этом же предприятии.

Результаты экспериментальных исследований доказали возможность очистки загрязненных нефтепродуктами водных объектов по предлагаемой технологии до качества, представляющего возможность повторного использования в техническом водоснабжении предприятия.

### Источники

1. Бородай Е.Н. Ресурсосберегающая технология утилизации шлама водоподготовки на ТЭС: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.14. Казань: КГЭУ, 2011. 155 с.

УДК 628.315

## СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПОСЛЕ МОЙКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

А.И. Хайрутдинова<sup>1</sup>, Р.Я. Исхакова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>khayrutdinova-99@mail.ru, <sup>2</sup>imreginaiskh@gmail.com

В статье исследованы современные способы очистки сточных вод на автомойках с целью предотвращения загрязнения окружающей среды. Также предложены методы повторного использования отфильтрованной воды с целью экономии природного запаса.

**Ключевые слова:** сточные воды, автомойка, способы фильтрации, отстаивание, снижение антропогенного воздействия.



На сегодняшний день с каждым годом увеличивается количество автомобилей, что приводит к расширению сети автомобильных моек. Данная область является потенциально опасной для экологии, в частности, необходимо проводить очистку сточных вод на автомойках. Процесс очистки – это затратный процесс, для которого требуется специальное оборудование. Однако, применение систем очистки сточных вод являются необходимыми для экологичного ведения бизнеса.

Современные автомойки оснащены различными видами химических средств (мыло, воск и т.д.), поэтому в случае отсутствия качественной системы очистки сточных вод, все вредные вещества вместе с бензином и машинным маслом могут уйти в системы центрального водоснабжения или попасть в водоемы. Наличие очистных сооружений – это главное требование, которое предъявляют автомойкам, т.к. Санэпидемстанция тщательно контролирует работу по фильтрации и обезвреживанию воды в целях сохранения окружающей среды. В случае, если автомойка не пройдет сертификацию и не подтвердит свою экологическую безопасность, то она в дальнейшем не сможет продолжать свою деятельность [1].

Для бесперебойной работы автомойки требуется большое количество воды. Если автомойка находится далеко от каналов водоснабжения и провести водопровод сложно, то работа объекта ставится под угрозу. Так как в среднем для мытья одной машины (в течение 10 мин) при использовании аппарата высокого давления необходимо порядка 100–300 л воды. Следует отметить, что наличие замкнутых систем очистки является перспективным для автомоек, так как ежедневно расходуется большой объём воды, предприятия несут значительные расходы, которые связаны со значительным водопотреблением. При применении данных систем экономия воды составит примерно 80 %, а 20 % будут отведены в виде концентрата, а также с примесями и загрязнениями [2].

Наилучшим решением в этом случае будет организация на мойке автомобильного транспорта системы круговорота воды. Рециркуляция воды предполагает то, что уже использованная вода подвергнется тщательной очистке, а затем будет применена повторно. Данные системы рециркуляции смогут очистить воду от разного рода механических примесей, таких как песок, глина, нефтепродукты, а также ликвидировать бактерии и устранить запахи.

Основой в любой системе по очистке вод, образующихся после мойки автотранспорта, являются способ отстаивания и последующей фильтрации. Перед попаданием в резервуары-отстойники вода должна пройти через называемый приемный лоток. Таким образом, на решетках остаются крупные механические загрязнения. Затем, посредством отстаивания, различные взвешенные твердые частицы – смесь сажи, сульфатов, пыли, золы, и т.д. оседают на дно. После этого специальным оборудованием удалению подлежат нефтепродукты, которые всплывают на поверхность. Данный метод является дешевым и наиболее безопасным для окружающей среды [3].

Очистные сооружения при замкнутой системе представлены в трех видах. Первый способ организации системы включает в себя следующие этапы: отстойники, последовательная тонкая фильтрация, адсорбция мелких частиц. Второй способ основан на использовании метода флотации, который базируется на удалении частиц с пузырьками воздуха, проходящих через жидкость. Наиболее эффективным способом очистки воды от нефтепродуктов является флотация. Третий способ основывается на реагентной очистке воды с последующей фильтрацией.

Еще одним [4] перспективным методом является электромагнитная обработка воды как один из безреагентных способов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что способы очистки сточных вод после мытья автомобилей различны, и целесообразность применения зависит от экономической оценки и возможности их реализации на территории автомойки.

### **Источники**

1. Колесников А.В., Лобачева Г.К. Методы очистки сточных вод. Альманах-2004. Волгогр. отд-ние МААНОИ. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2004. 272-275 с.
2. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: учеб. пособие. Вологда: ВоГТУ, 2003. 152 с.
3. Аввакумова Н.Ю. Экология человека как актуальная проблема современности // Вестник КГЭУ. 2014. №1(20). С.64-72.
4. Рунов Д.М., А.Г. Лаптев. Электромагнитная обработка воды в системе оборотного водоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2015. №1-2. С. 18-25.

## **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ В ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

А.Д. Шамин

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

galkino@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.В. Королев

В статье рассматриваются основные изменения в охране труда (ОТ), связанные с обеспечением работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ), обязанности работодателя при обеспечении СИЗ работников. Проведен анализ изменений в главе 10 ТК РФ, связанных с обеспечением СИЗ работников.

**Ключевые слова:** средства индивидуальной защиты, СИЗ, охрана труда, изменения в ТК РФ, СОУТ.

В настоящее время энергетика является объектом повышенной опасности [1]. Состояние здоровья и работоспособность работника на предприятиях электроэнергетики зависит от уровня негативного воздействия опасных и/или вредных факторов производственной антропогенной среды. Вредные факторы могут стать причиной профессиональных заболеваний, а опасные – травм и, зачастую, смертельных несчастных случаев. Обеспечение работникам безопасных условий труда является одной из важнейших обязанностей работодателя.

Законодательство в области ОТ регулярно обновляется и последними достаточно важными изменениями стало:

– реализация проекта регуляторной гильотины, в рамках которой осуществлен пересмотр ранее действовавших нормативно-правовых документов;

– необходимость снижения уровня производственного травматизма, возникновения профессиональных заболеваний работников.

В связи с этим становится актуальным обеспечение работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ). Согласно нормативно-правовым документам в обязанности работодателя входит обеспечение работников СИЗ для защиты от воздействия вредных и/или опасных факторов производственной антропогенной среды, а также на опасных работах, связанных с повышенным уровнем риска. Также работникам должны бесплатно выдавать СИЗ и смывающие средства [2].

Все виды, характеристики и нормы выдачи СИЗ устанавливаются в Приказе Минтруда России №\_997, Постановлении Минтруда России №\_63 и других нормативно-правовых актах.

С 01.03.2022 г введена в действие измененная глава 10 ТК РФ по охране труда. Данные изменения направлены на улучшение условий труда работников. Федеральный закон №\_311 вносит большие изменения в законодательстве по охране труда [3]. Изменения касаются применения СИЗ, оценке профессиональных рисков, а также расследованию микротравм (см. таблицу).

#### Основные изменения в трудовом законодательстве в 2022 году (СИЗ)

Изменение	Статья	Комментарий
Требование объявлять простой с сохранением средней зарплаты всем сотрудникам, которых работодатель не может обеспечить СИЗ за свой счет в соответствии с существующими нормами выдачи	(статья 216.1 ТК РФ)	Объединение нескольких статей старой редакции ТК РФ, добавили новые права работников
Внедрение ЕТН выдачи СИЗ и смывающих средств, учитывающих наличие вредных ПФ на рабочих местах, вместо отраслевых норм	(статья 221 ТК РФ)	Внедрение ЕТН выдачи СИЗ на которые должны опираться работодатели. Меняется системный подход в выдаче СИЗ работникам

Также в новой редакции ТК РФ установлен новый порядок обеспечения работников СИЗ:

- вместо списочного подхода для работников вводится комплектование с учетом результатов специальной оценки условий труда (СОУТ) и оценки профрисков в СУОТ, присущих для данного рабочего места;

- введены Единые типовые нормы (ЕТН) [4] на смену Типовым отраслевым нормам (ТОН).

В 2014 году аттестация рабочих мест (АРМ) была заменена на СОУТ, представляющей собой комплекс мероприятий по идентификации вредных и/или опасных производственных факторов, их оценке и анализу воздействия на работников энергетических предприятий [5].

Если по результатам СОУТ на рабочем месте установили наличие вредных и/или опасных факторов, то работодатель обязан провести мероприятия для улучшения условий труда работника, а также снижения уровня профрисков. Если это невозможно выполнить из-за характера выполняемой работы в организации, то запрещается проводить работы без обеспечения работников соответствующими средствами коллективной и индивидуальной защиты.

Изменения главы 10 ТК РФ устанавливают порядок хранения, стирку, сушки, стирки, ремонта и замены СИЗ работодателем за свой счет. Работодатели сами установят нормы бесплатной выдачи сотрудникам СИЗ и смывающих средств на основании следующих материалов:

- ЕТН;
- результатов СОУТ;
- результатов оценки профрисков;
- результатов мнения профсоюзной организации.

В целях реализации нормативных требований статьи 221 обновленного ТК РФ Министерство труда РФ утвердило два документа:

- Правила обеспечения работников СИЗ и смывающими средствами;
- ЕТН выдачи СИЗ и смывающих средств [4].

Следовательно, необходимо учитывать результаты СОУТ для подбора СИЗ для работников предприятий электроэнергетики. Также, необходимо для защиты от воздействия вредных и/или опасных факторов производственной антропогенной среды работодателем обеспечить бесплатную выдачу СИЗ работникам предприятий электроэнергетики.

Соблюдение прав работников и выполнение обязанностей работодателей в области обеспечения СИЗ работников ведет к снижению травматизма и количества профессиональных заболеваний, что ещё более улучшает условия труда на энергетических предприятиях.

### **Источники**

1. Сурова Л.В., Юскевич О.И. О содержании раздела «Безопасность жизнедеятельности» в дипломном проекте (работе) // Вестник КГЭУ. 2009. №2. С.158-165.

2. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 25.02.2022)

3. Федеральный закон от 02.07.2021 №311-ФЗ «О внесении изменений в трудовой кодекс РФ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111220001> (дата обращения 01.03.2021)

4. Министерство труда и социальной защиты РФ. Приказ от 29 октября 2021 года №767н. «Об утверждении Единых типовых норм выдачи средств индивидуальной защиты и смывающих средств».

5. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 №33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда».

## ПРОФИЛАКТИКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В АВТОСЕРВИСНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Е.Ю. Шелягин

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

sheliaginyu@mpei.ru

Науч. рук. ст. преп. Д.А. Бурдюков

Решение проблемы профилактики производственного травматизма на предприятиях, деятельность которых связана с техническим обслуживанием автомобилей, требует всестороннего анализа законодательства Российской Федерации на федеральном и региональном уровнях и рассмотрения профессиональных рисков работников в данной отрасли. Для этого производится оценка основных обязанностей и ответственности работодателя и работника, анализ статистических данных получения травм в автосервисных предприятиях, выделяются основные причины их появления, а также анализируются мероприятия по снижению травматизма.

**Ключевые слова:** производственный травматизм, травмы, автосервисные предприятия, СТО, профессиональные риски.

Современное законодательство Российской Федерации предусматривает регулирование отношений между работодателем и работником, устанавливая обязанности и ответственность за соблюдение мероприятий по предотвращению производственного травматизма с обеих сторон.

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя. Работник обязан соблюдать требования охраны труда; правильно применять средства индивидуальной и коллективной защиты; проходить обучение безопасным методам и приемам выполнения работ, оказанию первой помощи, инструктаж по охране труда, стажировку на рабочем месте и проверку знаний требований охраны труда; немедленно извещать руководство о любой ситуации, угрожающей его здоровью; проходить обязательные медицинские предварительные и периодические осмотры [1].

На территории Российской Федерации вопросы производственного травматизма в организациях, связанных с работой автомобильного транспорта, регулируются Приказом Министерства Труда от 9 декабря 2020 г. №871н, где утверждены основные правила по охране труда на автомобильном транспорте. В Приказе строго оговариваются обязанности работодателя в данной сфере, а именно: обеспечение условий охраны труда и безопасности при эксплуатации зданий и средств труда; проверка состояния оборудования и его своевременное обслуживание; обучение и проверка знаний работников по охране труда; контроль за соблюдением инструкций персоналом. Кроме того, в документе перечисляется перечень возможных вредных и опасных факторов при работе с автотранспортом: подвижные части, движущиеся механизмы, острые и шероховатые поверхности, падающие предметы, загазованность рабочей зоны, температуры воздуха рабочей зоны и поверхностей рабочего оборудования, шум, вибрации, влажность воздуха, недостаточная освещенность, физические и психологические перегрузки [2].

Согласно Приказу Министерства Труда № 656н от 22 сентября 2021 г. для прогнозирования и предотвращения производственных травм, работодателю необходимо предусматривать четыре основных вида мероприятий по предотвращению случаев повреждения здоровья работников: организационные, технические, лечебно-профилактические и санитарно-бытовые, мероприятия по обеспечению средствами индивидуальной защиты. Для организационных мероприятий рекомендуется составить перечень вредных факторов, связанных с производимыми работами и не связанных с характером производимых работ, а также вести перечень опасностей с оценкой профессиональных рисков для здоровья человека [3]. Технические мероприятия направлены на поддержание оптимальных или хотя бы допустимых условий труда. Мероприятия по обеспечению средствами индивидуальной защиты предусматривают определение особенностей использования и размещения СИЗ на производстве. Лечебно-профилактические и санитарно-бытовые мероприятия направлены на обеспечение и размещение средств первой помощи на территории предприятия, организацию комнат отдыха, приема пищи, обогрева и других санитарно-бытовых помещений.

Исходя из общеотраслевого анализа Министерства Труда производственного травматизма и инвестиций по регионам РФ следует отметить, что существует положительная тенденция снижения общего уровня травматизма за счет повышения инвестиций в оборудование на предприятиях.

Это указывает на важность финансирования программных мероприятий в сфере охраны труда. Однако есть регионы, в которых несмотря на инвестирование в модернизацию производства показатели травматизма растут. Это свидетельствует о неправильной оценке рисков и неэффективной профилактике и контроля производственного травматизма со стороны работодателей. Анализ статистики Министерства Труда и Социальной Защиты, о состоянии производственного травматизма за 2020 год показал, что на долю деятельности по обслуживанию автотранспорта совместно с торговлей приходится около 8,8 % страховых несчастных случаев на производстве от общего числа по стране. [4]

Согласно статистике РосТруда, за 2019 г., автотранспортная отрасль является одной из самых опасных с точки зрения влияния на здоровье человека: доля работающих во вредных и опасных условиях составляет 59,8 %. Это обуславливается большим количеством работников, занятых на предприятиях ремонта автотранспорта (около 15,7 %). Также следует отметить, что большинству работ в СТО присваивается II класс условий труда (допустимые условия труда). Вредные производственные факторы данного класса условий труда находятся в допустимых пределах влияния на здоровье человека, изменения носят переходящий характер и почти не оказывают последствий на организм [5].

Данный анализ позволит в будущем оценить наиболее эффективные мероприятия по профилактике производственного травматизма для отдельно взятых автосервисных организаций с учетом специфических условий труда и других критериев, влияющих на потенциальные профессиональные риски здоровья работников предприятия. Таким образом, может быть достигнута эффективность мероприятий по предотвращению случаев травматизма среди персонала организации. Также данный подход позволит уменьшить экономические потери и снизить ответственность работодателя в случае получения травм работником.

### **Источники**

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ ТК РФ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022). Собрание законодательства РФ. 11.06.2021. №346. Ст. 212,214.

2. Приказ Министерства Труда и Социальной Защиты РФ от 9 декабря 2020 г. № 871н «Об утверждении правил по охране труда на автомобильном транспорте». Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 N 61561. П. 1.



3. Приказ Министерства Труда и Социальной Защиты РФ от 22 сентября 2021 г. N 656н «Об утверждении примерного перечня мероприятий по предотвращению случаев повреждения здоровья работников (при производстве работ (оказании услуг)) на территории, находящейся под контролем другого работодателя (иного лица)». Зарегистрировано в Минюсте России 2 декабря 2021 N 66192.

4. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2020 году. Доклад Министерства Труда и Социальной Защиты Российской Федерации. М., 2021. С. 32-40.

5. «Перечень профессий с Оценкой факторов тяжести и напряженности трудового процесса»: справочное пособие. СПб.: Центр Государственного Санитарно-эпидемиологического надзора в Санкт-Петербурге, 1999.

УДК 331.45(075.8)

## **ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА**

П.В. Юдин<sup>1</sup>, В.Н. Шевченко<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

<sup>1</sup>Zloazazin@yandex.ru, <sup>2</sup>vovashevchenko.01@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.В. Струмеляк

В статье были изучены основные источники электромагнитных полей, создающие влияния, как на окружающую среду, так и на человека. В дополнении был выполнен обзор публикаций, указывающих на опасность и безопасность электромагнитных полей для человека.

**Ключевые слова:** источники электромагнитного поля, интенсивность излучения, диапазон частот, предельно допустимые нормы.

В современном мире техника активно развивается. Происходит развитие социально-технологического общества, улучшение условий труда, ведущий к последовательному совершенствованию техники и ее эффективности. Рост числа населения приводит к увеличению потребителей электрической энергии, что влияет на усиление интенсивности электромагнитных полей (ЭМП).

До настоящего времени практически отсутствуют сведения об опасности влияния на человека ЭМП малой интенсивности. Многие полученные теоретические изыскания, опубликованные международными научными изданиями, уверяют общественность в неблагоприятных последствиях для здоровья [1]. К примеру, есть риск возникновения опухолей головного мозга, повреждения тканей, ухудшение устойчивости внимания и памяти, влияние на качество сна и многое другое. Однако убедительных доказательств опасности для человека нет [2].

В зависимости от типа источника ЭМП существуют различные подходы к нормированию допустимых уровней воздействия поля на человека.

ЭМП мобильной связи работает в радиочастотном диапазоне от 900 МГц до нескольких ГГц. Вопросом об её опасности, занялась международная, независимая, некоммерческая организация (ICNIRP), занимающаяся исследованиями неионизирующих излучений. Результаты ICNIRP показали, что излучения от сотового телефона способны только проникать глубоко в тело и увеличивать температуру в тканях организма [3].

Влияние на человека микроволновых СВЧ печей, относится к той части электромагнитных полей, частота которых составляет 2,45 ГГц. Экспериментальным путем доказано [4], что от длительного воздействия микроволн могут ухудшаться работа нервной системы, возникать стрессы, головные боли, утомляемость и в некоторых случаях – боли в области сердца.

ВЧ индукционные печи работают от 20 до 120 кГц. Исследования ученых ВОЗ доказали, что индукция магнитных полей минимально влияет на организм человека [5]. Так, уровень ЭМИ на расстоянии 30 см от поверхности плиты, стремится к нулю. В дополнение были проведены множество исследований от научно-оздоровительного центра в Швейцарии [6], которые показали, каким образом можно снизить вред индукционных плит.

Рассмотрим основные источники ЭМП от промышленных инженерных сооружений:

Линии электропередач работают в большинстве стран на частоте 50 Гц, но на разных классах напряжений 0,4–1150 кВ, которые зависят от дальности транспортировки электрической энергии и от требований потребителя. Многие источники говорят об опасности электрических и магнитных полей ЛЭП [7].

Согласно данным санитарно-эпидемиологическим правилам, можно сделать вывод, что при длительном нахождении под ЛЭП 500 кВ и выше, излучения электрических и магнитных полей, становится опасным для здоровья человека [8].

В целях защиты населения от воздействия ЭМП, вдоль трассы высоковольтной линии, устанавливаются санитарно-защитные зоны (СЗЗ) [9]. Помимо расстояния, к методам защиты относят: ограничение времени нахождения в ЭМП, защитные фильтры, различные способы экранирования.

Базовые станции могут излучать радиочастотные электромагнитные поля в диапазоне от 900 МГц до 2 ГГц.

Воздействия радиочастотных электромагнитных полей (РЧ-ЭМП) на человека базовыми станциями отличается от воздействия мобильных телефонов. Если у телефона воздействие на организм в основном ограничено по времени и части тела, вблизи которой он находится, то у базовых станций – напротив. Они являются источником непрерывного воздействия на всё тело человека. Однако такое воздействие менее интенсивное, чем от мобильных телефонов [10].

Основные защитные мероприятия от РЧ-ЭМП – установка санитарно-защитных зон (СЗЗ) и зон ограничения застройки (ЗОЗ), также установка различного экранирования.

На рисунке мы привели примерные напряженности электрических и магнитных полей при промышленной частоте.



Характерные напряженности электрических и магнитных полей промышленной частоты

Таким образом, в ходе работы было определено, что воздействие на человека ЭМП – неотъемлемая часть нашей реальности, однако она не настолько опасна, как о ней уверяют многие интернет-источники. Как показано в статье, опасности от бытовых приборов не исходит, она присутствует только на профессиональных должностях, связанных с работой под ЛЭП.

## Источники

1. Жарков Н.Ф. Электромагнитное поле и его влияние на здоровье человека. 2018. 16 с.
2. Скворцов В. Обеспечение электромагнитной совместимости современных бытовых приборов и биологических объектов как метод улучшения экологической обстановки в нашей среде обитания. 2019. С. 158–164.
3. Swerdlow A. J., Feychting M. Mobile Phones, Brain Tumours and the Interphone Study: Where Are We Now? SCI ICNIRP. 1 July 2011. 23 p.
4. Родченко Д. А., Кизиченко М.С., Сарчук Е.В. Воздействие СВЧ-излучения на организм человека: аспекты проблемы // Научное обозрение. Фундаментальные и прикладные исследования. 2020. №3. 11 с.
5. Вред и польза индукционной плиты [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://temperatures.ru/articles/vred\\_i\\_polza\\_induktionnoy\\_plity](http://temperatures.ru/articles/vred_i_polza_induktionnoy_plity) (дата обращения 29.02.2022).
6. B-field exposure from induction cooking appliances [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://temperatures.ru/pdf/induction.pdf> (дата обращения 02.03.2022).
7. Чехов В. И. Экологические аспекты передачи электроэнергии: учеб. пособие; под ред. Г. К. Зарудского. М.: Изд-во МЭИ. 1991. 44 с.
8. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901853847> (дата обращения 03.03.2022.).
9. Заиченко А.И. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/sanitarnye-normy-i-pravila-zashchity-naselenija-ot/> (дата обращения 05.03.2022).
10. Health issues related to the use of hand-held radiotelephones and base transmitters [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPradiotelephones.pdf> (дата обращения 09.03.2022).

## Секция 9. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 551.55:551.556.3

### COMPUTATIONAL ANALYSIS USING MONTE CARLO SIMULATION OF THE WIND SPEED IN SOUTH-WEST TATARSTAN

F. Alhajj Hassan

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Fouadhajjhassan42@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

Anemometers are positioned on specific heights to measure the wind speed and wind direction in addition to other sensors to gather data such as temperature, humidity, pressure etc in the data station that is installed in South-West Tatarstan during from 26<sup>th</sup> of July 2018 till the 18<sup>th</sup> of July 2019. The data gotten by the sensors are illustrated by tables on Excel with certain percentage of error, these are processed according to the previous paper (Computational analysis of the wind speed in Buinsk district during October 2020) [1]. In this paper the histograms on all the levels (99m, 94m, 74m, and 52m) will be studied according to Monte Carlo distribution, on South-West Tatarstan case, to eliminate the uncertainties.

**Keywords:** Monte Carlo simulation, wind speed histogram, uncertainty.

When studying the area of the wind farm, choosing the appropriate wind turbine is a critical matter to assess the profitability of the project, and to monitor with high accuracy and quality.

Anemometers are positioned in different elevations, 99m, 94m, 74m and 52m. The wind direction sensors are supported at 95.65m and 55.65m, while the hygrometers, thermometers and a barometer at elevations of 96.4m. Those sensors are using to measure the wind speed, wind direction, humidity, temperature and pressure respectively.

The data gathered are given in excel tables, each table represents one day with 10 minutes' interval. Each slot

To compensate for uncertainties, a numerical method was used to study the random process - Monte Carlo simulation. Using Monte Carlo simulation, the percentage of error of each sensor is calculated and then the new histograms on all levels are calculated. The new simulated estimation, are compared with the original estimation to present the difference of error.

The percentage of error is calculated by constructing a prototype on a closed system, to simulate the percentage properly, the pressure, temperature and the humidity of each height level is applied [2].

The resulted error percentage is as follow:

- The anemometer at 99 meters is 0,232759.
- The anemometer at 94 meters is 0,243167.
- The anemometer at 74 meters is 0,2556.
- The anemometer at 52 meters is 0,24018.

As it is obvious, the percentages are close to each other as the conditions are closed to each other.

Then each slot is submitted to the percentage and simulated for 1000 times, and the result is taken into account.

The compared histogram, diurnal, and wind rose between the original data and the new Monte Carlo data are shown afterward (fig. 1-3).

The histogram is calculated by using frequency function [3], first the bin should be set, the wind speed range is between 0 and 20. The frequency is made on average wind speed of the sensors.

The histogram of first sensor at 99 meters compared to the Monte Carlo simulation is shown in the fig. 1.

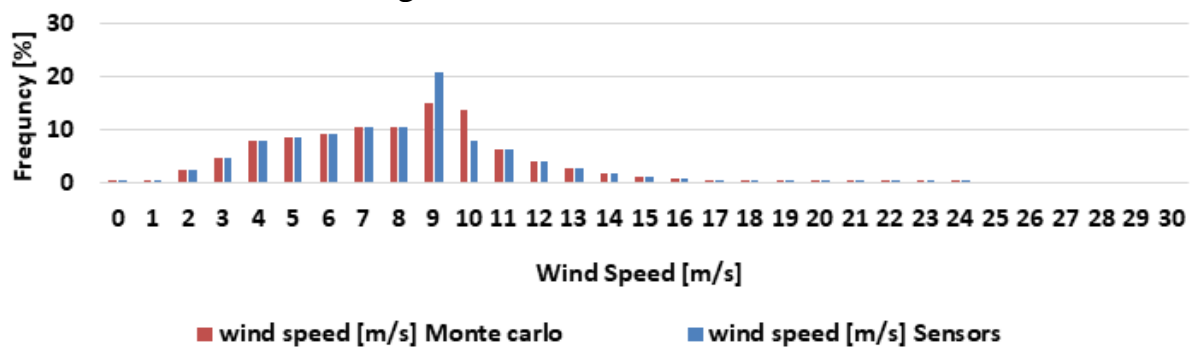


Fig. 1. Different values of the frequency depending on the error percentage at 99 meters

The histogram of second sensor at 94 meters compared to the Monte Carlo simulation is shown in the fig. 2.

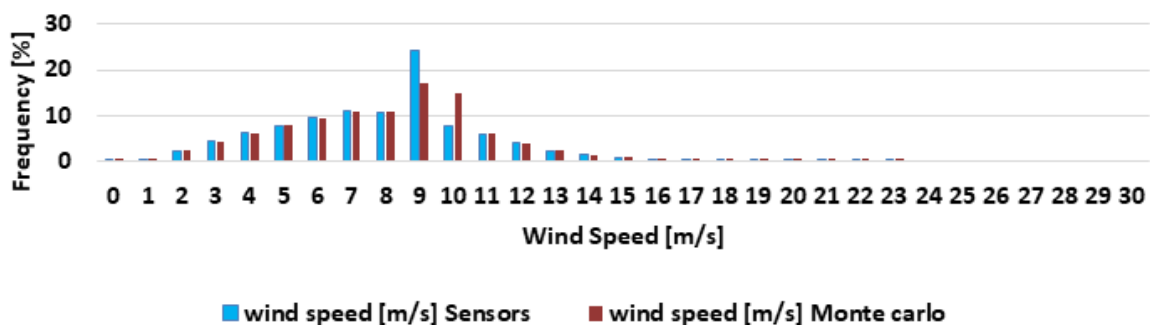


Fig. 2. Different values of the frequency depending on the error percentage at 94 meters

The histogram of third sensor at 74 meters compared to the Monte Carlo simulation is shown in the fig. 3.

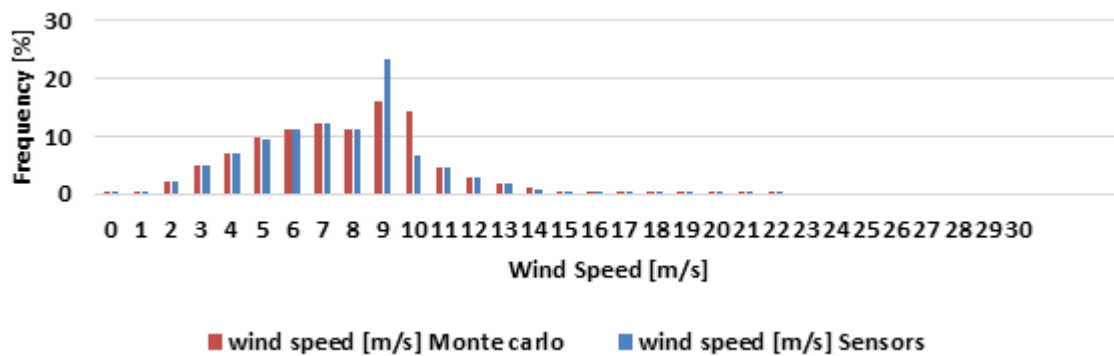


Fig. 3. Different values of the frequency depending on the error percentage at 74 meters

The histogram of fourth sensor at 52 meters compared to the Monte Carlo simulation is shown in the fig. 4.

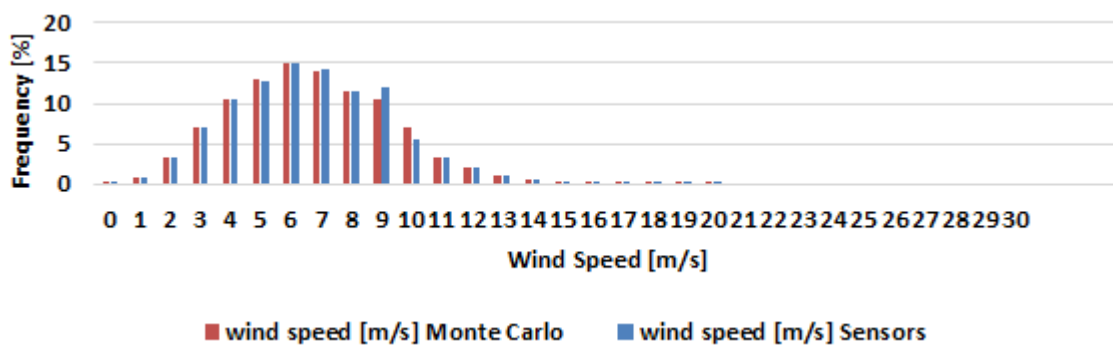


Fig. 4. Different values of the frequency depending on the error percentage at 52 meters

1. Measurements of wind parameters were carried out and histograms were studied in accordance with the distribution of Monte-Carlo.

2. Data obtained as a result of practical research, estimates the histogram at each level with minimum possible uncertainties.

3. It is recommended to do further investigations to measure the proper wind turbine according to the new frequency and average wind speed.

### References

1. Alahajj Hassan F., Mazarov I.U., Alzakkar A., Almohamed O.M., Timerbaev N.F. Computational analysis of the wind speed in Buinsk district during October 2020 // International Scientific Conference Tinchurin. 2021.

2. Yang, Kaolee Aziz, Mohammad. Modeling wind speed distributions using skewed probability functions: a Monte Carlo simulation with applications to real wind speed data 2018 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/79304> (дата обращения 12.03.2022).

3. What is a histogram? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://asq.org/quality-resources/histogram> (дата обращения 12.03.2022).

УДК 620.92

## СЕКТОР ВИЭ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ ЕГИПТА ДО 2035 ГОДА

М.М.М. Ахмед

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ahmed01140044@gmail.com

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

В данной работе, основанной на анализе актуальных источников литературы, предпринимается попытка обсуждения текущего положения и будущего развития возобновляемой энергетики Египта, с целью представления научному сообществу роли и места ВИЭ в современной энергетической стратегии государства до 2035 года.

**Ключевые слова:** энергетика Египта, энергетическая стратегия, электроэнергетика, ВИЭ, солнечная энергетика, ветроэнергетика, гидроэнергетика.

Сегодня большая доля экономического развития Египта связана с энергетическим сектором, на который приходится около тринадцати процентов ВВП. С целью удовлетворения растущего спроса на электроэнергию, правительство государства разрабатывает комплексные и устойчивые стратегии диверсификации источников энергии. Такая энергетическая политика достигла существенных результатов в обеспечении стабильности энергоснабжения и во многом направлена на усиление роли и повышение эффективности возобновляемой энергетики.

В нынешней повестке дня Египет подтвердил свою заинтересованность в широкомасштабном распространении технологий альтернативной энергетики. По данным аналитиков, на конец 2021 г. установленная мощность ВИЭ в стране составляла 5,5 тыс. МВт, в том числе 2,7 тыс. МВт, генерируемых солнечно-ветровым сектором энергетики и 2,8 тыс. МВт – гидроэнергетикой. Большой вклад в производство столь внушительных мощностей электроэнергии внесли солнечный парк Benban (1465 МВт) и новый ветропарк West Bakr Wind (250 МВт) [1].



Такой успех во многом обусловлен внедрением комплексной стратегии устойчивого развития энергетики Египта до 2035 года (далее – Стратегия), где особый акцент сделан на важности развития ВИЭ. Так, страна намерена повысить их долю в энергетике до 20 % к 2022 г. и более чем до 40 % – к 2035 г. Ожидается, что через 13 лет Египет будет вырабатывать из ВИЭ 61 тыс. МВт электроэнергии, среди которых 12 тыс. МВт планируется произвести с помощью гелиотермальных источников и 18 тыс. МВт с помощью ветроэнергетики [2]. Как сообщает экс-директор Агентства по регулированию электроэнергетики Египта, государство активно извлекает выгоду из ВИЭ и намерено продолжать развивать подходы и методы управления их электроэнергетическими системами, привлекая как арабские, так и международные компании для инвестирования в этот перспективный сектор. Прогнозируется, что благодаря инвесторам в ближайшем будущем Египту удастся снизить стоимость мощностей ВИЭ и повысить экономические возможности для торговли на рынке электроэнергетики. Однако перед этим важно разработать нормативно-технические, юридические и законодательные правила строительства новых станций и продажи электроэнергии, а также обеспечить реализацию надлежащего документооборота, в чем Египет пока отстает от многих других стран. Тем не менее, как заявляет глава Управления ВИЭ Египта, Стратегия предполагает устранение подобных уязвимостей в документации и внедрение недостающих технологий, поэтому египетский электроэнергетический рынок благодаря наличию подходящей законодательной среды в ближайшие годы станет особенно привлекательным для инвесторов [1, 3, 4].

Несмотря на то, что согласно Стратегии страна намерена значительно увеличить долю ВИЭ в энергетике государства, многие эксперты рекомендуют Египту еще больше ускорить темпы работы в данном направлении и внести в законы об электроэнергетике некоторые поправки, которые расширят возможности частных компаний участвовать в ряде инновационных энергетических проектов. При рассмотрении этого вопроса исследователи подчеркивают, что частные корпорации всегда искали стимулы для вливания значительного капитала на энергетический рынок, поэтому уже сегодня важно позаботиться о том, чтобы так называемое комплексное видение правительства касательно стратегического развития ВИЭ подтверждало свое название и при достижении поставленных государством задач рассматривало проблемы, а также стремления частного сектора энергетики [2, 5].

Международное агентство по ВИЭ, известное в мире как IRENA, изучив перспективы возобновляемой энергетики в Египте, рекомендовало арабскому государству рассмотреть ключевые меры для ускорения развития обозначенного сектора в стране, а также подчеркнуло важность периодического обновления и пересмотра Стратегии, с целью снижения экономико-технических затрат, упрощения нормативных актов и уточнения соответствующих институциональных обязанностей. IRENA отметило необходимость анализа потенциала энергии биомассы, реформирования нынешней рыночной структуры для увеличения финансовой целесообразности проектов, а также проведения масштабных кампаний по оценке потенциальных возможностей солнечно-ветровой энергетики. Кроме этого, организация рекомендовала и дальше расширяться в направлении ВИЭ для снижения экономических рисков и обеспечения реализуемости энергетических проектов. Помимо всего прочего, IRENA подчеркнуло важность разработки и реализации дополнительных стратегий по увеличению объемов национального энергопроизводства, которое было бы способно поставлять электроэнергию для нужд строящейся в стране промышленности, связанной с другими критически важными секторами экономики [1, 5].

Как было рассмотрено в работе, на сегодняшний день Египет уже выполнил ряд основных рекомендаций по развитию ВИЭ, однако справедливо и то, что многое на пути достижения целей, закрепленных в энергетической стратегии государства, еще предстоит реализовать.

### **Источники**

1. Renewable energy outlook: Egypt [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Oct/IRENA\\_Outlook\\_Egypt\\_2018\\_En.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Oct/IRENA_Outlook_Egypt_2018_En.pdf) (дата обращения 01.03.2022).

2. Egypt announces Plan to Get 42% of Electricity from Renewables, become Solar Energy Hub for Europe via Greece [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.juancole.com/2022/02/announces-electricity-renewables.html> (дата обращения 03.03.2022).

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67.

5. 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 // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019. Article number 8934021.

УДК 620.92

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

А.Т. Багманов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dreamofbah@bk.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Н.И. Москаленко

Наиболее многообещающее направление на сегодняшний день в абсолютно во всем обществе - «зеленая энергетика», то есть технологические процессы извлечения энергии из возобновляемых источников. Их формирование и усовершенствование обусловлены потребностью восполнения энергодефицита, решения природоохранных вопросов и новой стадии научно-технического формирования международной экономики. Диапазон и спектр ВИЭ весьма обширен - от местных передовых конструкций вплоть до массовых планов извлечения энергии вселенной. «Зелёная энергетика» предполагает собою комплекс многообещающих методов получения, передачи и применения энергии, которые на данный момент пока распространены не так обширно, как классические. Но высокая перспективность их очевидна.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, энергия солнца, энергия ветра, альтернативные источники энергии.

Возобновляемые источники энергии в настоящий момент считаются наиболее экологически чистой энергией для нашей планеты. В отличие от других разновидностей ресурсов, возобновляемые источники энергии никак не истощаемы, по крайней мере, в ближайшие тысячелетия. Зеленая электроэнергетика сможет удовлетворить все растущие потребности нашей республики в электричестве.

Одним из приоритетных направлений формирования электроэнергетики и решения природоохранных вопросов Татарстана считается применение возобновляемых источников энергии и адекватный выбор этих источников, основываясь на фактических электрических нагрузках [1, 2].

Формирование альтернативной энергетики в республике Татарстан располагается в начальной стадии развития [3]. Не смотря на действия единичных фирм (к примеру, общество «Татнефть») по строительству ветроустановок и введение в устройство строя небольших гидроэлектростанций, доля нестандартных источников в единой выработке электрической энергии республики составляет меньше 1 %.

При этом «Программа развития топливно-энергетического комплекса Республики Татарстан» учитывает строительство двадцать пяти небольших гидроэлектростанций и сто сорока шести ветроустановок. Суммарная выработка этих перспективных станций оценивается в 1 382 млн кВт·ч/год, что сформирует приблизительно 5 % потребления электрической энергии в нашей республике [4].

Пригодность альтернативных энергоустановок ограничивается несколькими трудностями, лежащих как в промышленной, так и в финансовой сфере. К технологическим трудностям можно отнести неустойчивую работу возобновляемых источников энергии (несистематический сток небольших рек – в условиях нашего атмосферного климата, существенную долю года наши реки находятся подо льдом, изменения направления и скорости ветра и числа солнечных дней в году), кроме того еще относительно низкий коэффициент полезного действия ветро- и гелиоустановок, несмотря на то, что данный коэффициент медленно увеличивается.

К финансовым трудностям можно отнести, в первую очередь, значительно высокую цену оборудования, но кроме того потребность постоянной смены дорогих аккумуляторов, которые входят в состав самой энергоустановки.

Многообещающим считается применение опыта ОАО «Татнефть» согласно совмещению ветроустановки и микроГЭС с солнечными установками.

Достоинства такого комплексного решения следующие:

1. Относительно короткие сроки постройки по сравнению с временем ожидания постройки подстанции и высоковольтной линии (и решения определенных экономических задач).

2. Возможность постоянного использования электричества (в дневное время – ветро- и гелиоустановки, в ночное время – микроГЭС).

3. Возможность приступить к освоению территории одновременно с сооружением сетевого хозяйства с целью электроснабжения населенного пункта.

4. Невысокое влияние в находящуюся вокруг окружающую среду.

Модель совмещения ветрогенерации, солнечных батарей и микроГЭС в хорошей степени проработки способна уменьшить расходы на спецоборудование и эксплуатации всей энергоустановки, так как даст возможность целиком отказаться или уменьшить применение аккумуляторных батарей. Проблема в том, что в основной массе энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии, учитывается присутствие аккумуляторов, для того чтобы была возможность использовать электричество в период невозможности деятельности основных конструкций. Использование аккумуляторов имеет конкретные недостатки: недостаточная емкость для полноценной деятельности в протяжении продолжительного периода, значительно меньший ресурс деятельности аккумуляторов по сравнению с ресурсом основной установки, высокая цена замены аккумулятора. Соединенная установка, содержащая в себе ветрогенератор, солнечную батарею и микроГЭС, способен функционировать в отсутствии аккумуляторной батареи, которые нужно после отработки ресурса необходимо еще и перерабатывать.

В обстоятельствах, когда первоначальная стоимость добычи ископаемых ресурсов регулярно увеличивается, а степень выбросов вредных элементов остается значительным, освоению возобновляемой энергетики в республике Татарстан следует выделять больше интереса. Только лишь, благодаря присутствию единой общегосударственной помощи и формирование финансовых стимулов этот раздел сумеет завоевать крепкую позицию в электроэнергетическом равновесии Татарстана.

### **Источники**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

2. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А.Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019.Т. 11. № 3(43).С. 47-56.

УДК 620.92

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО ЛАГЕРЯ ШЕЛАНГА**

Р.И. Бикбулатов<sup>1</sup>, Н.Ф. Тазеев  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup> bikbulatov77777@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

Основной целью представленной работы является изучение вопроса использования альтернативных источников питания. Авторами обосновываются актуальность и эффективность использования солнечных панелей в качестве постоянного источника питания на примере учебно-оздоровительного лагеря Шеланга КГЭУ. В работе применяются теоретические и эмпирические методы исследования, используются научные материалы зарубежного и отечественного авторства.

**Ключевые слова:** альтернативные источники электроснабжения, солнечные панели, потребление электроэнергии.

Учитывая мировую тенденцию перехода на альтернативные источники энергии, рассмотрим использование экологически чистых ресурсов способных обеспечивать электроснабжение на примере учебно-оздоровительного лагеря Шеланга КГЭУ.

Рассматриваемый лагерь расположен на берегу реки Волга в селе Шеланга. Лагерь находится в условиях низкого ветроэнергетического потенциала, соответственно наиболее рациональным альтернативным источником питания является использование солнечных панелей. Преимуществами солнечной энергетики является, возобновляемость энергии, экологичность и минимальные затраты на эксплуатацию, небольшой срок окупаемости в сравнении с другими преобразователями энергии [1].

Сегодня разрабатываются и интегрируются все более эффективные вариации солнечных панелей, с высокой способностью выработки электричества. Необходимо отметить, что до недавнего времени данные системы не были доступны большинству сегментов ввиду высокой стоимости, однако, ситуация изменилась и на сегодняшний день комплекты солнечных панелей стали более доступны [2].

За прошлый год среднемесячное электропотребление лагеря составило 5 586,5 кВт. Пиковые значения приходятся на июль и август. За август было потреблено 13546 кВт электроэнергии – максимальное месячное значение затраченной энергии за 2021 г. (табл. 1).

Был рассчитан необходимый для жизнеобеспечения лагеря объем вырабатываемой электроэнергии солнечными панелями. Для этого рассчитали суточный расход электроэнергии:

$$13546/30 = 437 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Для расчета мощности солнечных модулей суточный расход разделим на количество часов в сутках:

$$437000/24 = 18208 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

По полученному суточному расходу электроэнергии был выбран модуль ФСМ-340П с номинальной мощностью 320 Вт. Необходимое количество таких модулей при идеальных условиях:

$$18208/320 = 58 \text{ шт.}$$

Учитывая риски –пасмурная погода, угол наклона панелей, время года, многочисленные потери на аккумуляторах, инверторе и прочих устройствах – необходимо учесть 33 %-ный резерв – 78 шт.

На сайте [energo-souz.ru](http://energo-souz.ru) стоимость солнечных модулей ФСМ-340П составляет 18 717 рублей, тогда 78 модулей будут стоить:

$$78 \cdot 18717 = 1\,459\,926 \text{ руб.}$$

Дополнительно на том же сайте приобретаем сетевой инвертор SolaxX3 30KW за 518 062 руб. и 78 контроллеров заряда MPPT 2410 за 4 169 руб.:

$$78 \cdot 4\,169 = 325\,182 \text{ руб.}$$

Суммарная затрата (табл. 2):

$$2\,171\,172 + 518\,062 + 116 \cdot 4169 = 2\,302\,170 \text{ руб.}$$

В 2021 г. издержки лагеря на электроэнергию составили 513 567,21 руб. (табл. 1). Значит срок окупаемости составит:

$$2\,302\,170 / 513\,567,21 = 4,48 \text{ лет или же 4 года и 7 месяцев}$$

Таблица 1

Затраты на электроснабжение в Шеланге за 2021 г.

Месяцы	кВт·ч	рублей
Январь	5 556,00	41 054,95
Февраль	6 141,00	46 149,32
Март	5 025,00	37 031,62
Апрель	3 189,00	24 245,95
Май	5 135,00	38 426,05
Июнь	1 302,00	9 886,01
Июль	12 864,00	98 124,95
Август	13 546,00	107 188,58
Сентябрь	2 833,00	22 692,30
Октябрь	3 001,00	23 444,60
Ноябрь	4 201,00	33 313,46
Декабрь	4 245,00	32 009,42
Итого	67 038,00	513 567,21

Таблица 2

Затраты на проект

Оборудование	Цена за единицу, руб	Необходимое количество	Итоговая цена, руб
Сетевой инвертор SolaxX3 30KW	518 062,00	1	518 062,00
Контроллер заряда MPPT 2410	4 169,00	78	325 182,00
Солнечные модули ФСМ-340П	18 717,00	78	1 459 926,00
		Итого	2 302 170,00

Рассмотрим вариант использования дополнительных аккумуляторов, необходимых для стабильной работы лагеря в течение одного дня, в случае непредвиденных ситуаций. Для этого 437 кВт·ч мы разделим на напряжение системы в аккумулятора, которое обычно составляет 12, 24 и 48 В, и на 70 %, чтобы не допускать разряд аккумулятора ниже 30 %:



$$437000/(12 \cdot 0,7) = 53763 \text{ А} \cdot \text{ч.}$$

Теперь рассчитаем примерное количество аккумуляторов, общая емкость которых будет равна полученному значению. Аккумуляторы выбираем от российского производителя серии Восток PROCX-12200, изготовленные по технологии GEL и не требующие обслуживания. Один аккумулятор на сайте mywatt.ru стоит 40 404 рублей. Тогда разделим общую полученную емкость 53763 А·ч на емкость одного аккумулятора, которая составляет 200 А·ч, и найдем необходимое количество аккумуляторов:

$$53763/200 = 269 \text{ шт.}$$

Лагерю понадобится 269 аккумуляторов для поддержания рабочего состояния:

$$40404 \cdot 269 = 10\,868\,676 \text{ руб.}$$

Все расчеты основывались на пиковых значениях потребления электроэнергии, значит лагерю не всегда нужны будут такие объемы аккумуляторов, следовательно это число всегда можно уменьшить, основываясь какие именно электроприборы будут использоваться в непредвиденных ситуациях.

Анализ рациональности и эффективности возможного использования солнечных панелей взамен основного источника питания для лагеря Шеланга показал:

- понадобится конвертор и 78 солнечных панелей вместе с контроллерами;
- общая стоимость проекта составила 2 302 170 руб.;
- срок окупаемости проекта составит 4 года 7 месяцев;
- после срока окупаемости экономия составит около 500 тыс. руб./г.

### **Источники**

1. Семенович К.С. Категории надежности электроснабжения: автономный резервный источник питания // Ленинградский юридический журнал. 2017.
2. Квитко А.В., Отмахов Г.С. Перспективы и особенности работы солнечных фотоэлектрических станций // Научный журнал КубГАУ. 2017.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РФ**

А.Н. Богданова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

bogdaannovaa@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Н.Ф. Тимербаев

В статье разобраны перспективы применения возобновляемых источников энергии для энергообеспечения изолированных территорий РФ, сделан вывод об эффективности их использования.

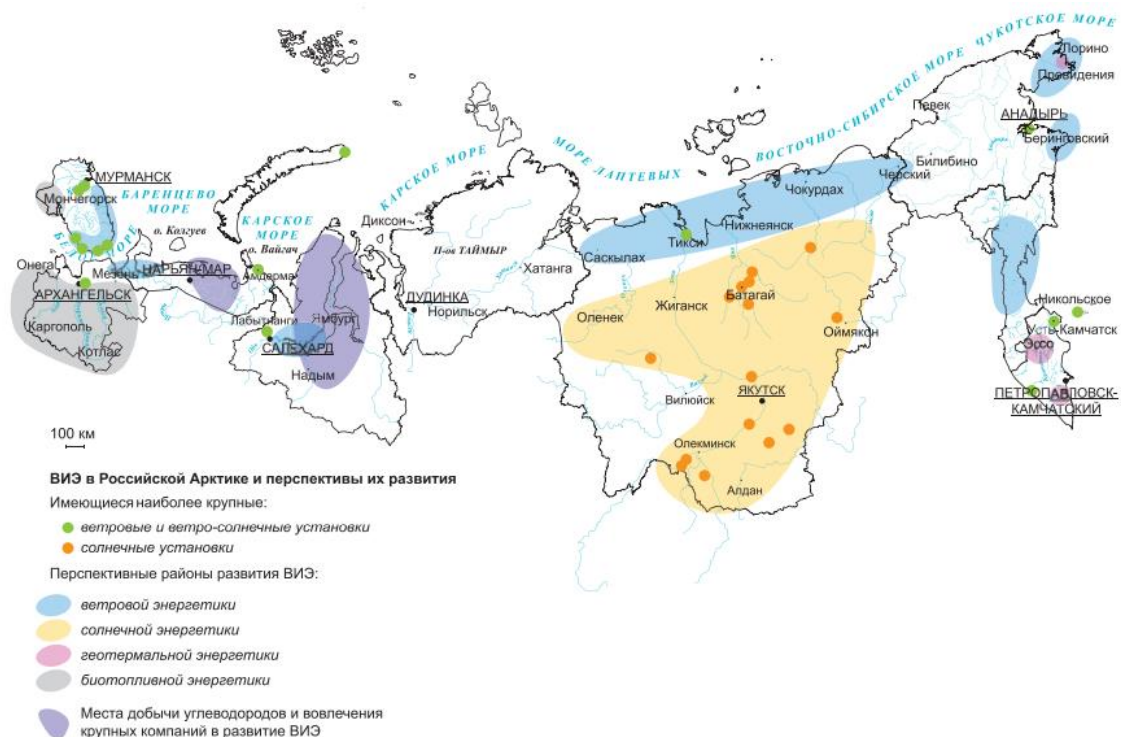
**Ключевые слова:** энергоснабжение, изолированные районы, солнечная энергетика, гидроэнергетика, ветроэнергетика, накопители энергии.

Большая часть территории Российской Федерации не охвачена централизованным энергоснабжением. К районам автономного электроснабжения относятся зона Крайнего Севера и приравняемые к нему территории: Ханты-Мансийский АО – Югра, Ямало-Ненецкий АО, Чукотский АО, Республика Саха, Иркутская область, Сахалинская область. По оценкам, число децентрализованных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию превышает несколько тысяч, и они обслуживают более 11 млн человек [1]. В связи с плохо развитой энергетической и дорожной инфраструктурой подключение удалённых населённых пунктов к Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) является технически нерациональным и экономически необоснованным решением.

Локальная энергосистема типового изолированного посёлка состоит из местной электрической сети и нескольких источников генерации, работающих на привозном (чаще всего) дизельном топливе [2]. Топливо завозится из удалённых субъектов РФ по сложным логистическим схемам; это приводит к возрастанию сроков доставки и увеличению стоимости продукта.

Субсидирование изолированных районов из государственного бюджета постоянно растёт, так как увеличиваются экономически обоснованные тарифы на электроэнергию. Установка объектов ВИЭ-генерации частично может решить эту проблему.

Возобновляемые источники энергии могут найти широкое применение в изолированных регионах России (см. рисунок).



Основные объекты ветровой и солнечной энергетики и перспективные районы развития в изолированных районах России.

Северные районы страны благоприятны для развития солнечной энергетики. Например, в Арктике поступление прямого солнечного излучения в год составляет 2–5 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·день). В Якутии в безоблачные летние дни этот показатель достигает 6–8 кВт·ч/м<sup>2</sup>; такие же данные наблюдаются на юге России [2]. Также хорошими перспективами обладает ветроэнергетика в районах, где ветры дуют со средними скоростями около 6–7 м/с. В южной части западных регионов существуют условия для развития биоэнергетики, этому способствует наличие древесных отходов и низкосортной древесины. Геотермальная энергетика может найти широкое применение на Чукотке и Камчатке [3]. На данный момент российские разработчики уже занимаются созданием установок, сочетающих ветровые и фотоэлектрические станции с дизельными генераторами, с учетом реальных электрических нагрузок потребителей [4]. Они найдут широкое применение для питания осветительных приборов и средств связи.

Существует ряд проблем, которые препятствуют широкому внедрению объектов генерации, работающих на возобновляемых источниках энергии. Одна из серьёзных проблем – нехватка технологий для создания установок, способных выдерживать суровые северные условия – сильные и порывистые ветра, крайне низкую температуру и минимум обслуживания. Другая важная проблема – накопители энергии. На данный момент хорошо изученными являются свинцово-кислотные аккумуляторы. Они обладают относительной дешевизной и простотой конструкции, поэтому находят широкое применение. К более новому поколению накопителей энергии относятся литий-ионные аккумуляторы. Их начинают всё чаще использовать в Российской Арктике.

Проблемы и перспективы развития ВИЭ в разных арктических регионах во многом специфичны [5]. Требования потребителей, климатические условия и наличие топливных ресурсов являются основополагающим факторами при выборе состава генерирующих мощностей. Применение возобновляемых источников энергии на территории изолированных районах РФ обеспечит надёжность электроснабжения и снижение субсидирования за счёт бюджетных средств.

### **Источники**

1. Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.cenef.ru/file/Discussion\\_paper1.pdf](http://www.cenef.ru/file/Discussion_paper1.pdf) (дата обращения 02.03.2022).

2. Электроснабжение изолированных населенных пунктов [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://ef-tek.pro/remote\\_areas\\_power\\_supply/](http://ef-tek.pro/remote_areas_power_supply/) (дата обращения 02.03.2022).

3. Попель О.С. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (База климатических данных): учеб. пособие. М.: Издательство МФТИ, 2010. 56 с.

4. Лаврик А.Ю., Жуковский Ю.Л., Лаврик А.Ю., Булдыско А.Д. Особенности выбора оптимального состава ветро-солнечной электростанции с дизельными генераторами // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 1. С. 10-17.

5. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://wwf.ru/upload/iblock/826/renewable\\_rus.pdf](https://wwf.ru/upload/iblock/826/renewable_rus.pdf) (дата обращения 03.03.2022).

## ОЦЕНКА ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Г.Р. Валеева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

guzel-valeeva-99@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

В настоящей работе проведена оценка водородных технологий с точки зрения применимости на территории Российской Федерации по различным критериям. Определены наиболее приоритетные технологии, а также проведена оценки потенциала снижения стоимости приоритетных водородных технологий на период до 2050 года.

**Ключевые слова:** водородные технологии, электрическая энергия, водород, низкоуглеродные источники энергии.

Сегодня водород является важнейшим элементом политики перехода к углеродно-нейтральному состоянию многих развитых стран. Водородная энергетика включает в себя совокупность устройств и технологий производства, транспортировки, накопления и использования водорода. Водородная энергетика в свою очередь дополняет один из наиболее важных энергоносителей – электрическую энергию. Применение водорода и водородных технологий дает возможность получать экологически чистую электрическую энергию, а также позволяет хранить ее длительный период без потерь, в том числе в крупных масштабах.

Также многие развитые и развивающиеся страны приняли различные государственные стратегии и дорожные карты по развитию водородной энергетике. Примерами данных документов являются нормативные документы, направленные на развитие водородной энергетике, такие как «Водородная стратегия ЕС», «Дорожная карта водородной энергетике Европы», «Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы». В России принята дорожная карта развития водородной энергетике согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. «Перспективы развития водородной энергетике в России», также отражены в Энергетической стратегии России на период до 2035 г. [1].

Для полномасштабного внедрения водородных технологий на территории всех страны, необходимо провести оценку каждой технологии, и выбрать приоритетные, т.е. наиболее подходящие под условия Российской Федерации.

Для удобства оценки и сравнения, необходимо определить уровень технологической готовности (УГТ/TRL) и уровень производственной готовности (MRL) водородных технологий [2, 3].

Также приоритетные технологии должны оцениваться с точки зрения востребованности и наличия конкурентных преимуществ на территории страны. В качестве критериев отбора приоритетных технологий можно выделить:

- востребованность водородной технологии в России на период до 2030 года,
- востребованность водородной технологии в России на период до 2050 года,
- наличие потенциала технологического экспорта.

В ходе анализа, было выявлено 22 технологии, которые могут быть внедрены на территории Российской Федерации. Условно, все технологии можно разделить на 3 группы:

Группа 1. Технологии, прошедшие по критериям отбора и имеющие значения TRL MRL выше 6, и обладающие существенным потенциалом снижения стоимости (>40 % к 2050 г.):

- ПОМ-электролизер,
- ТО-электролизер,
- металлгидридное хранение H<sub>2</sub>,
- ТЭ с протонообменной мембраной (ПОМТЭ),
- твердооксидный ТЭ (ТОТЭ),
- метанольные технологии (синтезы на основе CO<sub>2</sub>) с электролизным водородом.

Группа 2. Технологии, прошедшие по критериям отбора и имеющие значения TRL MRL выше 6, и обладающие умеренным потенциалом снижения стоимости (15–40 % к 2050 г.):

- автотермический риформинг метана,
- плазмохимическое разложение метана,
- каталитическое разложение метана,
- абсорбция CO<sub>2</sub> алканаминами,
- щелочной электролизер,
- сжижение водорода, емкости для жидкого водорода,
- гидрирование/дегидрирование ЖОН,
- аммиачные технологии (разложение аммиака),
- получение горячегерметизированного железа (H<sub>2</sub>-DRI).

Группа 3. Технологии, прошедшие по критериям отбора и имеющие значения TRL MRL выше 6, и обладающие низким потенциалом снижения стоимости (<15 % к 2050 г.):

- паровой риформинг метана,
- жидкие органические носители H<sub>2</sub> (реконверсия),
- аммиачные технологии (получение аммиака),
- сосуды низкого давления,
- компримирование H<sub>2</sub>,
- получение горячебрикетированного железа (H<sub>2</sub>-BF),
- метанольные технологии (синтезы на основе CO<sub>2</sub>) на базе природного газа.

На сегодняшний день, водородная энергетика является одним из ключевых направлений при декарбонизации и достижении углеродной нейтральности многих стран, в том числе и Российской Федерации. Получение водорода возможно из низкоуглеродных источников, а также его использование не приводит к выбросам парниковых газов, что делает его универсальным инструментом для решения ряда климатических задач, так как может быть использован как для производства электрической энергии, так и для его хранения [4, 5].

### Источники

1. Аналитическая записка Состояние и перспективы водородной энергетике в России и мире [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://mgimo.ru/files/120132/polyakova\\_vodorod.pdf](https://mgimo.ru/files/120132/polyakova_vodorod.pdf) (дата обращения 12.03.2022).

2. Кулик О.П., Чернышев Л. И. Водородная энергетика: хранение и транспортировка водорода (обзор) // Препринт НАН Украины, Ин-т проблем материаловедения им. И. Н. Францевича. 2013.

3. Студенческая библиотека онлайн: Методы получения водорода: [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studbooks.net/2295758/matematika\\_himiya\\_fizika/poluchenie\\_vodoroda\\_metodom\\_fotoliza](https://studbooks.net/2295758/matematika_himiya_fizika/poluchenie_vodoroda_metodom_fotoliza) (дата обращения 12.03.2022).

4. АНО Центр исследований и научных разработок в области энергетике «Применение водорода в энергетике: вопросы экологии» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ww-h2.com/services/application-of-hydrogen-in-the-energy-sector/> (дата обращения 12.03.2022).

5. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Филимонов А.Г., Печенкин А.В. Перспективы развития водородной энергетики в Татарстане // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №6. С. 79-91.

УДК 620.92

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА МЕСТНЫХ УСТАНОВКАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В.В. Гаврилин<sup>1</sup>, К.С. Сорокин<sup>2</sup>  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.И. Минибаев

В статье рассматриваются установки малой мощности с возможностью перехода на альтернативные виды топлива, производимые из органических отходов жизнедеятельности и производств локального расположения. Были приведены две системы малой мощности с конкретным примером. Представлена тенденция развития твердого биотоплива в различных странах и техническое обоснование эффективности его генерации и использования в установках малой мощности.

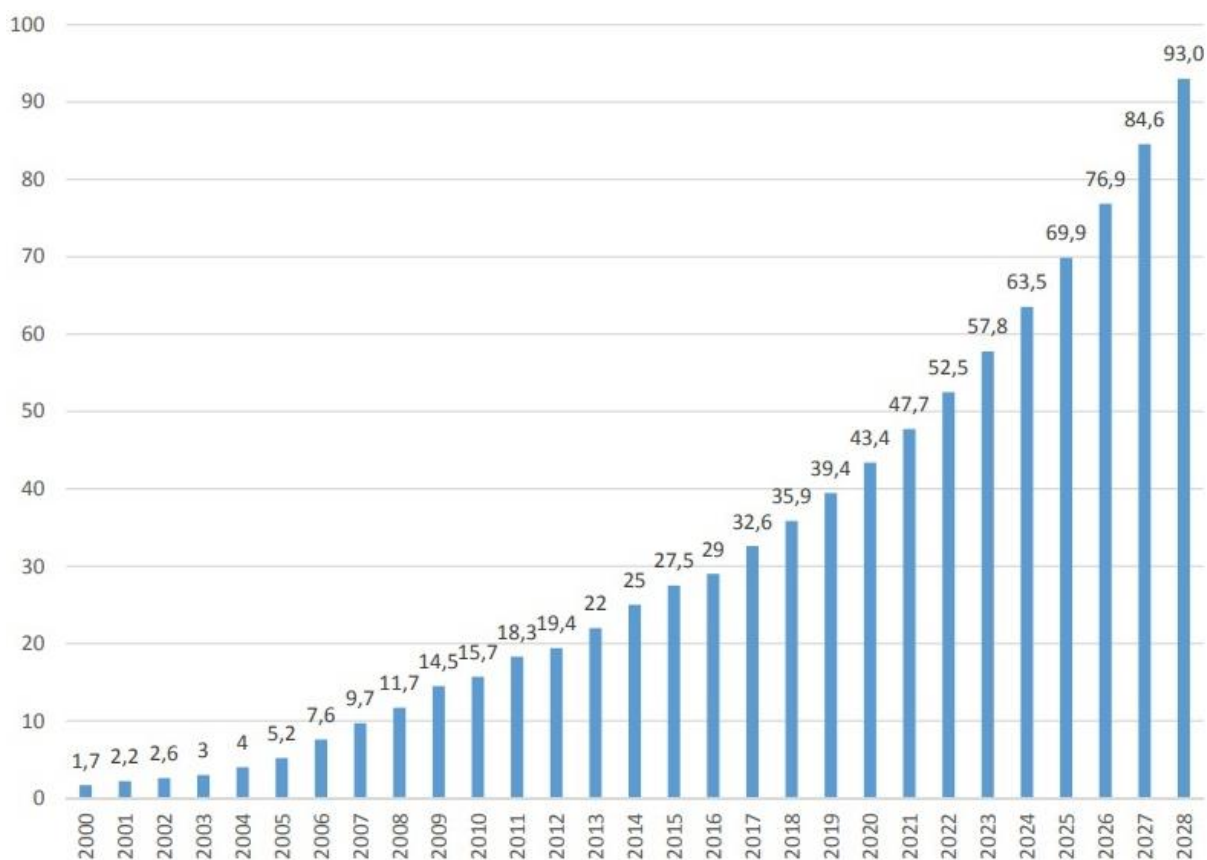
**Ключевые слова:** установки малой мощности, биотопливо, котельная, газовая турбина, ископаемое топливо, альтернативная энергетика, пеллеты, энергетика.

Наряду с ростом потребностей человека в более мощных и новых бытовых приборах возникает проблема жителей малонаселенных пунктов в подключении к централизованным системам крупных городов. Использование объектов энергетики малой мощности позволяет решить данную проблему. На сегодняшний день уже применяются такие системы, как газотурбинные установки малой мощности (ГУММ), солнечные панели, бензиновые и дизельные генераторы.

Для генерации тепловой и электрической энергии (ТЭ и ЭЭ) в основном используют газотурбинные и котельные установки. Преимуществами этих установок являются простота их использования и возможность подключения к потребителю при отсутствии централизованной системы теплоснабжения и электрической магистрали. Например, при помощи ГУММ мощность 100 кВт возможно обеспечить ЭЭ 40 частных домов, а для снабжения теплом пространства 3400 квадратных метров и высотой 2,7 метров применяют котельную установку мощностью 380 кВт. Во всяком случае, даже такие простые в эксплуатации установки зависят от ряда факторов, таких как подведение электричества для работы оборудования и доставка необходимого топлива для их функционирования [1].



Одним из решений для повышения автономности приведенных установок можно использовать биотопливо, производимое из органических отходов местного населения и производств, также это позволит наладить переработку и утилизацию продуктов очистки сточных вод. При сжигании одной тонны каменного угля концерн получает 2,5 МВт/ч электроэнергии. Одна тонна сухих осадков сточных вод (ОСВ) в смеси с углем дает около 1 МВт/ч, тонна щепы – от 0,8 до 1,5 МВт/ч и тонна пеллет – 1,8 МВт/ч. Подобный частичный отказ от традиционного топлива, т.е. угля, позволит улучшить состояние окружающей среды, сокращая количество свалок, производить полезные минеральные удобрения (зола). Снизить затраты на закупку и транспортировку топлива, так как производство пеллет и других видов биотоплива стабильно развивается, как показано на рисунке, а цена на организацию технологического процесса снижается. Все это воздействует на частичный или полный переход альтернативных источников энергии экономически и технически целесообразным, также побочным положительным эффектом будет появление новых рабочих мест [2, 3].



Динамика мирового производства пеллет

Таким образом, возможная переработка вторичного сырья на сельскохозяйственном производстве и отходов жизнедеятельности для получения биотоплива позволяет решить данные проблемы и существенно снизить объемы закупки ЭЭ и ТЭ у централизованных поставщиков.

### **Источники**

1. Антонюк Д.О., Евдокимов А.А., Безбородов Д.Л. Теплоэлектроцентраль на базе отопительной котельной и газотурбинной установки // Перспективи розвитку очима молодих вчених: Матер. науково-практичної конференції. Донецк. 2012.

2. Рышков В.И., Иванов С.А., Писаревский А.Ю. Получение тепловой и электрической энергии из биотоплива // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: сб. тр. Межд. науч. конф. Красноярск. 2022. С. 112-115.

3. ИАА «ИНФОБИО». Маркетинговое исследование: «Мировой и российский рынок древесных топливных гранул». СПб., 2019.

УДК 620.93

## **ПРОЕКТ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МАЛОНАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ**

В.В. Гаврилин<sup>1</sup>, К.С. Сорокин<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.И. Минибаев

В статье были спроектированы установка и малонаселенный пункт с автономной системой генерации электроэнергии, работающая на биотопливе. Продуктом создания биотоплива являются отходы, производимые местным производством. Был приведён технический расчёт потребляемой и получаемой энергии и исходного сырья.

**Ключевые слова:** электрическая энергия, топливные брикеты, пеллеты, малонаселенный пункт, котельная и паротурбинная установка, биотопливо.

В связи с недоступностью или отдаленностью малонаселенных пунктов от существующих централизованных систем отопления, горячего водоснабжения и электрических магистралей крупных городов, был разработан проект по генерации тепловой и электрической энергии с автономностью работы.

В проект были включены приблизительные расчеты потребления электрической энергии порядка 40 частных домов, которые снабжаются электричеством, выработанными на котельной и паротурбинной установки малой мощностью, функционирующих на биотопливе. Биотопливо будет получено путём сушки и прессовки органических отходов сельского хозяйства, а именно навоза коров.

Расчет произведен для типового дома со следующими параметрами, представленными в таблице [1].

Потребление электрической энергии типового дома

Наименование	Мощность, кВт	Часы работы в сутки	Потребляемая мощность		
			День, кВт·ч	Месяц, кВт·ч	год, кВт·ч
Телевизор	0,1	5	0,5	15	182,5
Чайник	1,8	1	1,8	54	657
Холодильник	0,035	24	0,84	25,2	306,6
Микроволновка	0,7	0,5	0,35	10,5	127,75
Электрическая плита	2,5	3	7,5	225	2737,5
Лампочки x 16	0,176	10	1,76	52,8	642,4
Компьютер	0,3	4	1,2	36	438
Стиральная машина	1,5	0,5	0,75	22,5	273,75
Пылесос	1,5	0,5	0,75	22,5	273,75
На 40 домов	344,44	1940	618	18540	225570

Для того, чтобы получить 344,44 кВт энергии, необходимо установить установку со следующей мощностью:

$$N = P \times 1,1 = 378,884 \text{ кВт (округлим до 380 кВт)},$$

где  $N$  – это максимальная мощность необходимой установки [2].

Учитывая, что средний КПД ТЭЦ составляет 39%, то необходимое количество энергии будет следующим:

$$Q = \frac{Q_{\text{эф}}}{0,39} = \frac{225570}{0,39} = 578384,615 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $Q_{\text{эф}}$  – годовое потребление электрической энергии.

Для генерации такого количества энергии, будут использованы котельная и паротурбинная установка, функционирующие на сжигании топливных брикетов. Низшая теплотворная способность пеллета из навоза составляет 4,0705 (кВт·ч)/кг.

Необходимый годовой расход топливных брикетов составляет:

$$m = \frac{Q}{q} = \frac{578384,615}{4,0705} = 142091,786 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

Необходимый расход исходного сырья для производства брикетов. С учетом первоначальной влажности биомассы примерно 60 %, а итогового продукта порядка 15 %, получаем переводной коэффициент, равный [3]:

$$k = \frac{100 - 60}{100 - 15} = 0,47,$$
$$M = \frac{m}{k} = \frac{142091,786}{0,47} = 302322,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

Таким образом были получены все готовые значения для подбора установки для производства энергии и количество исходного сырья для производства топлива.

### Источники

1. Постановление Правительства РФ от 4 мая 2012 года № 442. Основные положения функционирования розничных рынков электрической энергии.
2. Министерство угольной промышленности СССР. Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления. Сборник инструкций. М., 1982.
3. Попов И.Н. Использование твердого биотоплива из местных ресурсов в системах автономного энергообеспечения // Актуальные проблемы энергетики АПК: сб. тр. III Межд. науч.-практ. конф. Саратов. 2012. С. 204-207.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ НА ПРОИЗВОДСТВО ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

В.В. Гаврилин<sup>1</sup>, К.С. Сорокин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru, <sup>2</sup>kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.И. Минибаев

В данной статье приведено полное описание оборудования, используемого для производства топливных брикетов. Был произведен расчет необходимых мощностей и затрачиваемых топливных ресурсов и сырья для стабильной и автономной работы установки.

**Ключевые слова:** биотопливо, топливные брикет, потребляемая мощность, линия брикетирования, электрическая энергия.

Установка по производству топливных брикетов по своей сути является простым в эксплуатации и организации механизмом. Установка включает в себя два основных агрегата: сепаратор для сушки биомассы и пресс для производства евродров в виде брикетов. Также используется сторонняя периферия для транспортировки, вентиляции и управления: двигатели, вентиляторы, конвейерные ленты, блок управления и различные датчики для контроля рабочих параметров. Все перечисленное оборудование потребляет электроэнергию. Проведем экономический расчет на примере установки производительностью 0,5 тонны в час. При потреблении на производство тепловой и электрической энергии, на отопление и горячее водоснабжение жилого комплекса, состоящего из 40 частных домов, затрачивается порядка 300 кг/час биомассы. Для закрытия потребностей в топливе достаточно приобрести одну установку по переработке и производству биотоплива, которая также будет способна производить запас брикетов и будет иметь огромный потенциал для наращивания мощностей [1, 2].

Установка состоит из следующих компонентов:

Перечень комплектующих входящих в линию:

1. Бункер накопитель сепарированного сырья.
2. Вентилятор вытяжной с частотным преобразователем.
3. Транспортер L.
4. Транспортер L.

5. Пресс брикетировщик ВІ-РІ – 420.
6. Эл. шкаф управления линией.
7. Термодатчик (с обратной связью) для контроля температуры сушки сырья в барабане (сосна), с термосопротивлением до 500 °С.
- Электродвигатели привода оборудования:
8. Привод вентилятора циклона.
9. Привод сушильного барабана с частотником.
10. Вентилятор подачи воздуха в печь с частотником.
11. Транспортер загрузки сырья в пресс-брикетировщик с частотником.
12. Привод шнекового транспортера.
13. Привод пресса-брикетировщика.

Общая потребляемая мощность установки:

$$N = P_1 + P_2 + \dots + P_n = 55,5 \text{ кВт.}$$

Годовое потребление электроэнергии:

$$W = N \times t \times k = 55,5 \times 8760 \times 0,282 = 137102,76 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $k$  – коэффициент пересчета, равный:

$$k = \frac{A_n}{A_m} = \frac{300}{1064} = 0,282,$$

где  $A_n$  – потребляемый уровень производительности,  $A_m$  – максимальный уровень производительности.

Годовое потребление с учетом КПД производства электроэнергии типовой ТЭЦ:

$$W_{um} = W \times 1,39 = 190572,836 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Необходимый годовой расход топливных брикетов составляет:

$$m = \frac{W_{um}}{q} = \frac{190572,836}{4,0705} = 46818,041 \frac{\text{кг}}{\text{год}}.$$

Необходимый расход исходного сырья для производства брикетов. С учетом первоначальной влажности биомассы примерно 60 %, а итогового продукта порядка 15 %, получаем переводной коэффициент, равный [3]:

$$k = \frac{100 - 60}{100 - 15} = 0,47,$$

$$M = \frac{m}{k} = \frac{46818,041}{0,47} = 99612,8532 \text{ кг} \cdot \text{год}.$$

Таким образом, приведенная установка будет соответствовать заявленным требованиям. Полученные данные являются экономически эффективными и целесообразными для обеспечения тепловой и электрической энергией.

## Источники

1. Костенко А. Рынок биотоплива в России и экологические требования к производству биотоплива // Устойчивое лесопользование. 2012. Т. 2. № 31. С. 38-41.

2. Попов И.Н. Использование твердого биотоплива из местных ресурсов в системах автономного энергообеспечения // Актуальные проблемы энергетики АПК: сб. тр. III Межд. науч.-практ. конф. Саратов. 2012. С. 204-207.

3. Министерство угольной промышленности СССР. Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления. Сборник инструкций. М., 1982.

УДК 620.92

## ПОТРЕБНОСТЬ В ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

А.М. Гарифуллина  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
garifullina200121@gmail.com  
Науч. рук. асс. Б.А. Гильфанов

Постоянно растущее население означает постоянно растущую потребность в энергии. В настоящее время невозможно отрицать огромную важность энергии. Она необходима во всех сферах жизни. Источники энергии можно разделить на возобновляемые и невозобновляемые. Наиболее важным аспектом при их использовании является их воздействие на окружающую среду. В данной статье кратко представлена важность использования возобновляемых источников энергии на фоне дилеммы ископаемого топлива. Основное внимание уделяется использованию альтернативных энергетических технологий. Также обсуждаются некоторые области применения возобновляемых источников и будущее энергетики.

**Ключевые слова:** энергия, возобновляемая, невозобновляемая, альтернативные энергетические технологии, ископаемое топливо.

Возобновляемая энергия – это энергия, получаемая из неисчерпаемых источников [1]. Очень важно выбрать, какой источник энергии должен быть использован и почему. При этом необходимо учитывать большинство факторов, таких как чистота, стоимость, стабильность, эффективность и влияние на окружающую среду. Многие отрасли промышленности во всем мире все еще зависят от ископаемого топлива для производства электроэнергии.

Без сомнения, эти виды топлива очень эффективны с точки зрения качества производства электроэнергии, но в долгосрочной перспективе они не выгодны. Ископаемое топливо однажды истощится, и промышленности необходимо как можно скорее перейти на возобновляемые источники. Кроме того, ископаемое топливо представляет собой огромную угрозу для экологического баланса и является причиной многих экологических бедствий.

Ископаемое топливо – это соединения углеводородов, состоящие из угля, природного газа и нефти. Главная проблема ископаемых видов топлива заключается не в их использовании, а в побочных эффектах, которые создает их применение. Ископаемое топливо не является устойчивым. Это означает, что со временем они истощатся. При их сжигании выделяется большое количество вредных газов, наиболее значимым из которых является углекислый газ. Этот газ является главным виновником глобального потепления.

Самой важной особенностью возобновляемой энергии является ее изобилие. Она бесконечна. Возобновляемые источники энергии – это источники энергии, которые оказывают гораздо меньшее негативное воздействие на окружающую среду, чем традиционные технологии использования ископаемых источников энергии [2].

К основным источникам возобновляемой энергии относятся солнце, ветер, биомасса, геотермальная энергия, гидроэнергия и энергия приливов и отливов [3]. Невозобновляемые источники энергии, такие как уголь, природный газ и нефть, требуют дорогостоящей разведки и потенциально опасной добычи и бурения, и они будут дорожать по мере сокращения запасов и увеличения спроса на энергию. Возобновляемые источники энергии производят лишь незначительные выбросы углекислого газа и поэтому помогают бороться с изменением климата, вызванным сжиганием ископаемого топлива.

Самым важным применением энергии ветра является ветрогенератор. Ветрогенератор может преобразовывать энергию ветра в механическую энергию, которая, в свою очередь, может подаваться в генератор для выработки большого количества электроэнергии [4]. Это электричество может быть использовано для зарядки батарей или перекачки воды. Основными преимуществами ветроэнергетики являются:

1. Отсутствие загрязнения окружающей среды.
2. Использование неисчерпаемого источника энергии.



3. Стабильные расходы на единицу полученной энергии, а также рост экономической конкурентоспособности по сравнению с традиционными источниками энергии.

4. Минимальные потери при передаче энергии.

Аналогичным образом, солнечная энергия может использоваться для питания фотоэлектрических панелей, которые являются отличным способом производства электроэнергии в небольших масштабах, особенно для сельских и отдаленных районов, куда не доходят линии электропередач [5]. Твердая биомасса может сжигаться в мусоросжигательных печах для получения тепла, которое может быть использовано для производства пара для выработки электроэнергии. Биомасса также может быть преобразована в биотопливо, например, этанол для транспортных нужд. Этанол, в основном, используется в качестве присадки к топливу для сокращения выбросов угарного газа и других выбросов, вызывающих смог.

Гидроэлектростанции могут покрыть пиковые нагрузки сети, за счёт быстрого выхода в сеть, запуск турбины составляет 8 секунд – это большой плюс перед ТЭЦ, где на разогрев турбины уходит минимум 8 часов. Но их недостатком является смена климата, где строится ГЭС. Климат в верхней стороне становится более влажным.

Цель использования возобновляемых источников энергии – уменьшить негативные экологические последствия, связанные с невозобновляемыми источниками энергии, такими как уголь, нефть и природный газ. Выбор в пользу возобновляемых источников энергии не только приведет к экономии средств в долгосрочной перспективе, но и поможет защитить окружающую среду от рисков, связанных с выбросами ископаемого топлива.

### **Источники**

1. Нариманов Б.А., Арзикулов Ф.Ф. Возобновляемые источники энергии, вопросы устойчивости и смягчения последствий изменения климата // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2020.

2. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. М.: ИП РадиоСофт, 2008.

3. Кундас С.П., Позняк С.С., Шенец Л.В. Возобновляемые источники энергии. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. 315 с.

4. Безруких П.П. Ветроэнергетика. (Справочное и методическое пособие). М.: Изд. «Энергия», 2010.

5. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов; под ред. В.И. Виссарионова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

УДК 355.559

## ПРОВЕДЕНИЕ ВОЕННО-ТАКТИЧЕСКИХ ИГР НА МЕСТНОСТИ

Т.А. Еремеев<sup>1</sup>, А.Р. Якшибаев<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>eremeevtimur1@gmail.com, <sup>2</sup>yakshibaev1999@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье описаны преимущества проведения военно-тактических игр на местности для обучения участников основам безопасности жизнедеятельности.

**Ключевые слова:** военно-тактические игры, компьютерные игры, первая помощь, стратегия, основы безопасности жизнедеятельности.

В последние два десятилетия огромную популярность приобрели компьютерные игры, и каждое следующее поколение людей становится всё более вовлеченным в видеоигры. Данный вид времяпрепровождения может приносить пользу, ведь многие игры развивают стратегическое мышление, показывают, как устроена та или иная техника, знакомят с историческими фактами. Но компьютерные игры имеют ряд минусов, которые способны свести на нет всю пользу, ведь длительное нахождение на одном месте перед монитором очень плохо сказывается на зрении, осанке, суставах[1]. Поэтому знания, полученные в шутерах и стратегиях, можно применять в жизни, путём участия в военно-тактических играх на местности.

В основу проведения военно-тактических игр (ВТИ) закладывается привитие людям патриотического воспитания, а также получение знаний и навыков в области безопасности жизнедеятельности (ОБЖ). ОБЖ имеет очень важное значение для всего образования, так как его вектор направлен в будущее. Кроме этого, в курсе ОБЖ целесообразно изучать вопросы информационной и психологической безопасности [2].

Данные игры можно проводить в виде блочных задач (см. таблицу).

## Блочная структура ВТИ

	Название блока	Деятельность
1 блок	Обеспечение безопасности	Первая помощь (ПП) раненому Переноска раненых Оказание ПП самому себе Радиационная, химическая и биологическая защита
2 блок	Разведение лагеря	Маскировка палаток Скрытное разведение огня Поддержание лагеря в безопасности
3 блок	Обучение правилам ведения боя	Тренировка меткости стрельбы Метание гранат Рукопашный бой Разработка тактик
4 блок	Передвижение на местности	Марш-бросок Преодоление препятствий Незаметное перемещение
5 блок	Столкновение	Проверка всех навыков и знаний, полученных в ходе прохождения блоков

Первый блок. Оказание первой доврачебной помощи. Участники учатся спасать жизни своих товарищей, оказывая ПП: непрямой массаж сердца, искусственное дыхание, остановка разных видов кровотечений, наложение шин, перенос пострадавших. Важной деталью является оказание ПП во время ведения боя, потому что боевые условия усложняют стандартную процедуру оказания первой доврачебной помощи. Также проходит обучение по оказанию ПП самому себе.

Второй блок. Участники учатся незаметно разводит лагерь путём маскировки палаток и скрытным разведением костра. Важной частью обучения является поддержание лагеря в чистоте и безопасном состоянии.

Третий блок. Проводится обучение правилам ведения боя. Участники учатся стрельбе из разного вида оружия, метанию гранат, а также основам рукопашного боя. Заключительным этапом блока является разработка тактик. Участники должны придумать план действий для определённых ситуаций.

Четвёртый блок. Ориентирование в незнакомой местности. Отряд должен совершить марш-бросок по маршруту, на котором расположены разные препятствия. Группа должна решать, как преодолевать каждое из препятствий. Например, на вражеской территории следует передвигаться бесшумно и осторожно. Окончанием четвёртого блока является сбор в месте эвакуации.

Пятый блок. Столкновение. Две группы будут вести бой пейнтбола или лазертага. Участники должны использовать все знания и умения, полученные во время прохождения каждого из блоков: разработка стратегии, стрельба, оказание ПП, а также маневрирование на местности.

ВТИ можно проводить при школах, колледжах и университетах. Такие игры способны развивать участников как интеллектуально, так и физически.

### **Источники**

1. Артюнина Г.П., Ливинская О.А. Влияние компьютера на здоровье школьника // Псковский регионологический журнал. 2011. №12. С.144-150.

2. Гафнер В. В. Проблемы общества и педагогическое целелеполагание // ОБЖ. Основы безопасности жизни. 2003. №2. С. 49–51.

УДК 621.311.243

## **ТЕПЛОВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ БАШЕННОГО ТИПА, РАБОТАЮЩИЕ НА РАСПЛАВЛЕННОЙ СОЛИ**

Д.Е. Зиганшина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ziganshina.daianna@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.А. Аверьянова

В статье описывается работа тепловых солнечных электростанций, работающих на расплавленной соли. Представлено их отличие от солнечных станций, подчеркнута их актуальность, выведены преимущества, а также недостатки. Упоминаются актуальные проблемы энергетики и их решение с помощью тепловых солнечных электростанций.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечные электростанции, расплавленная соль, солнце, электричество, гелиостат.

Использование солнечной энергии – одно из важнейших достижений человека в сфере энергетики. С помощью возобновляемого источника человечество может произвести энергию в глобальном масштабе. Но что насчёт тёмного времени суток, когда солнце уходит за горизонт, а работа всей системы приостанавливается до его появления? Основная сложность на данный момент заключается не в собирании энергии, а в её хранении и распределении.

В предвоенные годы была выдвинута идея тепловой солнечной электростанции с центральным солнечным приёмником, который был размещён на высокой башне, – то есть СЭС башенного типа [1]. Отражённые от неисчислимого множества гелиостатов лучи солнца направляются на солнечный парогенератор, помещённый в башне, – что и является центральным приёмником. В зависимости от позиции солнца меняются и положение, и ориентация гелиостатов. И в результате, по прохождении дня, поток солнечных лучей, отражённых от сотен зеркал, обогревает парогенератор. Следствие идеи оказалось столь же простым, сколь и оригинальным. А самое главное – это появление возможности создавать такие крупные солнечные электростанции, единичная мощность которых достигает до сотни тысяч кВт [1].

На сегодняшний день существуют солнечные электростанции, использующие расплавленную соль. Преимущество данной технологии её использования заключается в том, что она позволяет поставлять энергию в необходимое для производителя время, не подстраиваясь под нужный для добычи солнечной энергии промежуток – то есть тогда, когда светит солнце. Соль имеет способность сохранять тепло в течение нескольких месяцев даже в пасмурные дни, которые не повлияют на доступность электроэнергии. Также преимуществом является то, что использование расплавленной соли в промышленных целях минимизирует выбросы в атмосферу и исключает возможность выделения опасных отходов, появившихся в качестве побочного продукта в процессе производства [2].

В отличие от обычных солнечных электростанций на станциях, работающих на расплавленной соли, не используются фотоэлементы для прямого преобразования энергии излучения в электричество. Здесь используется иной принцип для его получения из тепла: огромные зеркала параболической формы концентрируют излучение на проходящих через них трубах, раскаляя текущий через эти самые трубы расплав солей.

Одним из примеров электростанций, работающих по данному типу, является ферма из зеркал *Crescent Dunes* в Неваде для сбора солнечной энергии и превращения ее в электричество. Солнечная электростанция мощностью 110 МВт обеспечивает более 75000 домов электричеством [2]. Зеркала, отражающие солнечные лучи на станции, называются гелиостатами, поскольку каждое из них имеет возможность менять своё положение: наклоняться или поворачиваться – для точного направления своего луча света на центральную башню.

Принцип работы данного проекта заключается в использовании более 10000 гелиостатов, отражающих лучи солнца и сосредотачивающих эту самую тепловую энергию в одной точке на самой высокой башне станции. На её вершине расположена ёмкость с расплавленной солью. В этом резервуаре и фокусируются все солнечные лучи, отражённые гелиостатами.

Расплавленная соль, в свою очередь, проходит цикл от вершины башни до её основания, где происходит испарение воды, а соль заставляет вращаться паровую турбину, генерирующая электричество.

Соль на вершине башни становится расплавленной в течение всего солнечного дня, становясь при этом своеобразным аккумулятором, который и накапливает в себе тепловую энергию. Именно соль и помогает сохранять тепло в течение более шести часов после прекращения отражения света гелиостатами. Она продолжает испарять воду, превращает её в пар, который, в свою очередь, вращает турбину для преобразования энергии в электрическую. Также стоит упомянуть конденсатор с сухим охлаждением, который даёт гарантию на потребление гораздо меньших объёмов воды по сравнению с традиционными тепловыми электростанциями.

Пока установка эффективно может продолжать свою работоспособность лишь в тех местах, где преобладает интенсивность солнечного излучения. Главным недостатком является то, что концентрация солнечных лучей от солнечной электростанции может погубить обитающую в этой местности фауну: ввиду высоких температур, которые возникают впоследствии фиксирования гелиостатов в одном направлении, пролетающие к опасно близкому расстоянию данного места птицы мгновенно сгорают [3].

Довольно трудно найти такой способ производства энергии без каких-либо недостатков, множеств преимуществ и минимального расходования всевозможных ресурсов. Человечество идёт к этому, но на сегодняшний день мы подошли лишь к преобладанию преимуществ над недостатками, а не к полному исчезновению отрицательного влияния, в основном на окружающую среду. Солнечная станция на расплавленной соли – хороший способ сохранить энергию в том виде, в котором она и поступает к нам от самой природы.

## Источники

1. Тепловые солнечные электростанции башенного типа, системы концентрации солнечной энергии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/energy/2432-solnechnye-elektrostantsii-bashennogo-tipa.html> (дата обращения 01.03.2022).

2. Солёная солнечная энергия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/cloud4u/blog/477004/> (дата обращения 03.03.2022).

3. Обыкновенная соль усилила мощность солнечной электростанции в Неваде [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://teknoblog.ru/2016/08/01/66043> (дата обращения 02.03.2022).

УДК 621.311

## РОЛЬ ПРОСЬЮМЕРОВ В СЕТЯХ SMARTGRID

П.А. Зудкин

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва

pashazuda@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.А. Наволочный

В настоящее время в большинстве стран мира осуществляются сценарии так называемого энергетического перехода, трансформирующие электроэнергетику на базе интеллектуальных распределенных архитектур энергосистем. Такая трансформация энергосистемы заключается в переходе от традиционных электрических сетей к новым, использующим значительные объемы распределенной генерации (в том числе ВИЭ и накопители электроэнергии). Рынки становятся децентрализованными, инфраструктура – интеллектуальной, а потребители переходят к просьюмерским моделям поведения. В статье рассматривается роль просьюмеров и способы оптимального управления ими в сетях SmartGrid.

**Ключевые слова:** распределительные сети, распределенная генерация, возобновляемые источники, просьюмер, SmartGrid.

Когда конечный потребитель владеет электростанцией (солнечные панели) и при этом потребляет, хранит или продает в сеть электроэнергию, произведенную с использованием возобновляемых источников, он становится «просьюмером».

Широкое распространение просьюмеров в сетях SmartGrid имеет как положительный, так и отрицательные эффект. Преимуществом является то, что при умеренном количестве фотоэлектрических панелей, подключенных к низковольтной распределительной сети, обеспечивает новые вливания электроэнергии в сеть, гарантирует перераспределение потерь «Энерго-Коммерции» и помогает поддерживать значения напряжения в допустимых пределах [1]. Недостаток заключается в том, что большое количество потребителей, поставляющих электроэнергию, перегрузит сеть низкого напряжения (0,4 кВ) сверх ее пропускной способности, что неявно приведет к возможности возникновения деформационного режима из-за большого количества инверторов, установленных на фотоэлектрических панелях. Кроме того, установка мощных фотоэлектрических панелей без накопительных емкостей не может обеспечить инъекцию, необходимую в сети при пиковой нагрузке или в вечернее время, когда фотоэлектрические панели не вырабатывают энергию. Поэтому для обеспечения безаварийной и устойчивой работы сетей SmartGrid, необходима разработка электросетевого контроллера для управления системами накопления электрической энергии и объектами распределенной генерации (просьюмерами) в сетях 0,4 кВ [2]. Подобными устройствами могут также выступать энергоутеры [3].

Для оптимизации управления распределением электроэнергии и максимизации экономической эффективности просьюмеров необходима разработках интеллектуальных систем управления электроэнергией, подобных системам представленных в [4, 5]. Такие системы, используя исторические метеорологические данные и эвристические данные о привычках жителей в потреблении энергии, осуществляют прогноз генерации и спроса на следующий 24-часовой период. Исходя из информации о емкости накопителей электроэнергии, прогнозов производства фотоэлектрической энергии и потребности в энергии для жилых помещений, модель оптимизации собирается и решается с использованием методов генетического алгоритма, который находит наиболее экономичные способы управления нагрузкой.

Переход к распределенной энергетике с использованием технологии блокчейн в России решит существующие недостатки системы, когда просьюмер не может выбрать, по какой цене, у кого и в какое время покупать электроэнергию, а также по какой цене, кому и в какое время продать излишки произведенной или накопленной электроэнергии.



В статье [6] предложена технология управления рынком просьюмеров и распределенной генерации на основе публичного блокчейн и самоподдерживающихся смарт-контрактов для создания виртуальных электростанций (VPP) для просьюмеров для предоставления энергетических услуг. Разработана модель для учета ограничений на уровне потребителей с точки зрения доступных энергетических ресурсов и требований к энергоуслугам, позволяющая их оптимальное объединение в иерархические структуры. Легкое децентрализованное решение для строительства VPP реализовано с использованием смарт-контрактов, позволяющих эффективно работать на общедоступном блокчейне. Смарт-контракты кодируют ограничения модели и определяют функциональные возможности для просьюмеров, чтобы инициировать или присоединиться к VPP.

В данном решении мелкие просьюмеры регистрируются как одноранговые узлы сети, а отслеживаемые ими значения энергии сохраняются в виде энергетических транзакций в цепи. Потребитель имеет смарт-контракт, который связан с интеллектуальным счетчиком и используется для децентрализованного управления виртуальной агрегацией и членством в VPP. Контракт регистрирует энергетические транзакции потребителя в цепи, подписывая их и затем транслируя по всей сети.

В результате анализа текущего состояния установлено, что выработка электроэнергии в различных точках низковольтной сети с существованием просьюмеров требует проведения тематических исследований и поиска решений для включения энергии, производимой просьюмерами, в систему. Тенденция следующего периода заключается в том, чтобы сделать просьюмеров с фотоэлектрическими панелями, подключенными к сети низкого напряжения, важной частью электрической сети. Просьюмеры в обозримом будущем будут способствовать возникновению новых бизнес-моделей, новых сегментов и других ценностей на рынке традиционных компаний электроэнергетики.

### **Источники**

1. Volosciuc, Sorin & Dragosin, Monica. (2019). Prosumer's impact on low voltage distribution networks. MATEC Web of Conferences. 290. 01021 (2019).

2. Белгородские энергетики разрабатывают универсальный электросетевой контроллер для управления просьюмерами // Коммерсантъ. 03.02.2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/4672992> (дата обращения 26.02.2022).

3. Liu Y., Chen X., Wu Y., Yang K., Zhu J., Li B. Enabling the Smart and Flexible Management of Energy Prosumers via the Energy Router With Parallel Operation Mode // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 35038-35047.

4. Ceccon W.F., Freire R.Z., Szejka A.L., Junior O.C. Intelligent Electric Power Management System for Economic Maximization in a Residential Prosumer Unit // IEEE Access. 2021. Vol. 9. Pp. 48713-48731.

5. Ahmed W. [et al.] Machine Learning Based Energy Management Model for Smart Grid and Renewable Energy Districts // IEEE Access. 2020. Vol. 8. Pp. 185059-185078.

6. Cioara T., Antal M., Mihailescu V. T., Antal C. D., Anghel I. M., Mitrea D. Blockchain-Based Decentralized Virtual Power Plants of Small Prosumers // IEEE Access. 2021. Vol. 9. Pp. 29490-29504.

УДК 53.043

## **ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ МОЛИБДЕНОМ И ТАНТАЛОМ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПУСКАНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ**

А.Ф. Иванов<sup>1</sup>, В.А. Казаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», г. Чебоксары

<sup>1</sup>ivanovaleksandr@yandex.ru, <sup>2</sup>cossac@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. В.Л. Матухин

Проведено исследование влияния легирования молибденом и танталом на коэффициент пропускания тонких пленок оксида индия-олова, полученных методом магнетронного распыления мишеней.

**Ключевые слова:** прозрачные проводящие оксиды, коэффициент пропускания, оксид индия-олова, легирование, ИТО.

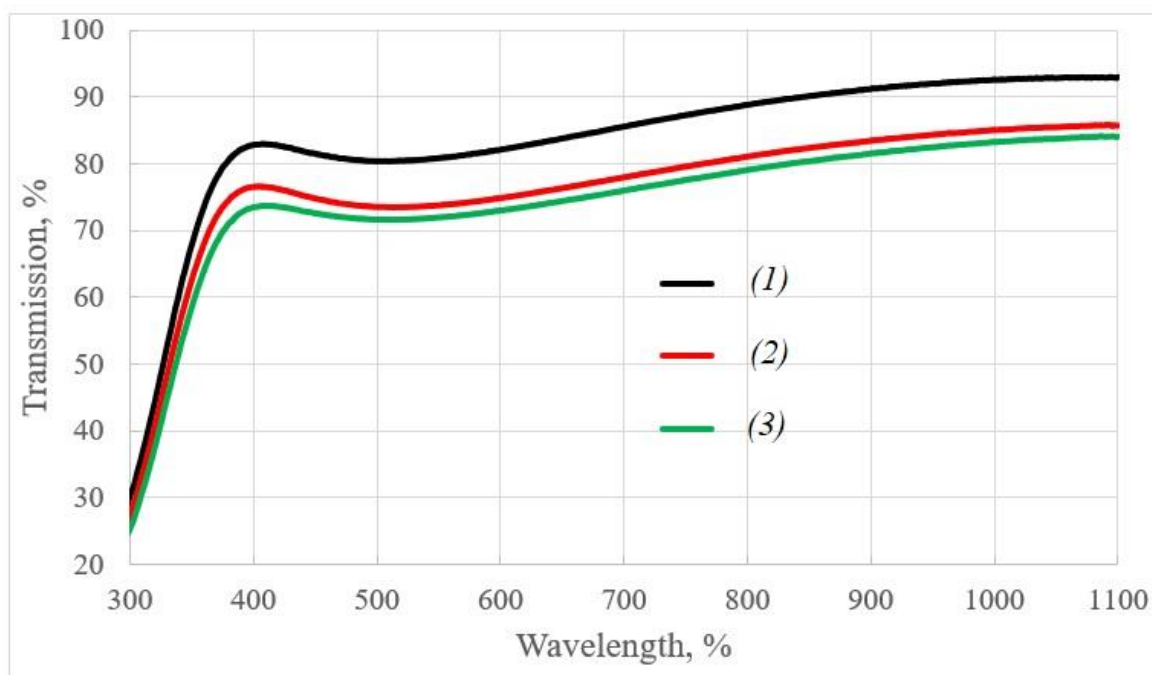
Прозрачные проводящие оксиды (ППО), такие как  $\text{In}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZnO}$ , имеют широкое практическое применение. Недавние разработки в области пленок ППО вызвали интерес к эффекту увеличения электропроводности без ущерба для оптической прозрачности. Оксид индия, легированный оловом (ИТО), является полупроводником *n*-типа и нашел широкое применение в оптоэлектронной промышленности, из-за высокой оптической прозрачности и электрических свойств [1].

Однако оптико-электрические свойства и некоторые критические свойства, такие как химическая и термическая нестабильность и низкая поверхностная энергия пленок ИТО, нуждаются в дальнейшем улучшении. Такие пленки ППО как  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Ti}$  [2],  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Mo}$  [3] и  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Zr}$  [4], могут решить некоторые из этих проблем. Получение лучших оптико-электрических свойств, а также физических и химических свойств с тройными соединениями затруднено. Помимо использования тройных соединений, некоторые исследователи предлагают использовать многокомпонентные оксиды, физические и химические свойства которых можно регулировать, изменяя их химический состав [5–7]. Использование предложенного подхода может позволить улучшить некоторые свойства пленок ИТО путем легирования небольшим количеством металлов.

Как известно, характеристики ИТО сильно зависят от его степени окисления и содержания примесей. Концентрация носителей может быть изменена состоянием активации легирующей примеси; молибден и тантал можно рассматривать как донор, замещающий индий или олово в соединениях  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ . В результате высвобождается некоторое количество зарядовых носителей-электронов, которые способствуют электропроводности. В данной работе сравнивались оптические свойства пленок ИТО и ИТО:Мо, Та, полученных методом магнетронного распыления.

Тонкую пленку ИТО напыляли в течение 60 с, методом магнетронного распыления мишени ( $\text{In}_2\text{O}_3 = 90\%$  и  $\text{SnO}_2 = 10\%$ ) в режиме постоянного тока. Напыление проводилось при температуре  $25\text{ }^\circ\text{C}$  и давлении в вакуумной камере не более  $5 \cdot 10^{-5}$  Па, плотности мощности постоянного тока ( $P$ ) на мишени ИТО составляла  $2,5\text{ Вт/см}^2$ , при потоке аргона  $258\text{ ссст}$  и кислорода  $25\text{ ссст}$ . А тонкие пленки ИТО:Мо, Та напыляли в течение 60 с методом магнетронного распыления двух мишеней ( $\text{In}_2\text{O}_3 = 90\%$  и  $\text{SnO}_2 = 10\%$ ) и МоТа (Мо =  $89,2\%$  и Та =  $10,2\%$ ) в режиме постоянного тока. Напыление проводилось при температуре  $25\text{ }^\circ\text{C}$  и давлении в вакуумной камере не более  $5 \cdot 10^{-5}$  Па, при потоке аргона  $258\text{ ссст}$  и кислорода  $25\text{ ссст}$ ,  $P_{\text{ИТО}} = 2,5\text{ Вт/см}^2$ , а на мишени МоТа  $P_{\text{МоТа}} = 0,8\text{ Вт/см}^2$  для первого образца,  $P_{\text{МоТа}} = 1\text{ Вт/см}^2$  для второго образца.

Коэффициент пропускания измеряли на спектрометре Ocean Optics HR4000CG-UV-NIR в диапазоне  $300\text{--}1100\text{ нм}$  с шагом  $0,5\text{ нм}$ . Полученные данные были обработаны и построены графики зависимости коэффициента пропускания от длины волны для каждого образца.



Графики зависимости коэффициентов пропускания от длины волны для тонких пленок ИТО(1), ИТО:Мо, Та при  $P_{\text{MoTa}} = 0,8 \text{ Вт/см}^2$ (2), ИТО:Мо,Та при  $P_{\text{MoTa}} = 1 \text{ Вт/см}^2$ (3)

Как видно из рисунка, с увеличением примесей Мо, Та коэффициент пропускания уменьшается на всем диапазоне измерения. Пропускание в видимой и ближней ультрафиолетовой области спектра для пленки ИТО равно 86,9 %, для пленки ИТО:Мо, Та при  $P_{\text{MoTa}} = 0,8 \text{ Вт/см}^2$  равно 79,6 %, для пленки ИТО:Мо, Та при  $P_{\text{MoTa}} = 1 \text{ Вт/см}^2$  равно 77,6 %.

### Источники

1. Закирова Р.М. Разработка метода модификации свойств ИТО плёнок ионно-лучевой обработкой при реактивном ВЧ магнетронном напылении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elibrary.udsu.ru/> (дата обращения 28.11.2020).

2. Van Hest M.F.A.M., Dabney M.S., Perkins J.D., Ginley D.S., Taylor M.P. Titanium-doped indium oxide: A high-mobility transparent conductor // Appl. Phys. Lett. 2005. Vol. 87. Pp. 032111-032111-3.

3. Warmsingh C., Yoshida Y., Readey D.W. High-mobility transparent conducting Mo-doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films by pulsed laser deposition // Appl. Phys. 2004. Vol. 95. Pp. 3831-3833.

4. Kim H., Horwitz J.S., Kushto G.P., Qadri S.B., Kafafi Z.H., Chrisey D.B. Transparent conducting Zr-doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films for organic light-emitting diodes // Appl. Phys. Lett. 2001. Vol. 78. Pp. 1050-1052.

5. Gregory O.J., You T., Crisman E.E. Effect of aluminum doping on the high temperature stability and piezoresistive response of indium tin oxide strain sensors // Thin Solid Films. 2005. Vol. 476. Pp. 344-351.

6. Minami T., Yamamoto T., Toda Y., Miyata T. Transparent conducting zinc-co-doped ITO films prepared by magnetron sputtering // Thin Solid Films. 2000. Vol. 373. Pp. 189-194.

7. Hsu C.M., Lee J.W., Meen T.H., Wu W.T. Preparation and characterization of Ni–indium tin oxide cosputtered thin films for organic light-emitting diode application // Thin Solid Films. 2005. Vol. 474. Pp. 19-24.

УДК 54-7

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В. Иванов<sup>1</sup>, Т.И. Абдеев<sup>2</sup>, А.Р. Сахибгареева<sup>3</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>ivv@internativa.biz, <sup>2</sup>tamerlan94dew@gmail.com, <sup>3</sup>alya.saxibgareeva.02@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В работе рассмотрены методы защиты от электромагнитного излучения такие как: электромагнитные экраны, экранирующие ткани, экранирующие краски. Составлена классификация методов защиты от электромагнитного излучения.

**Ключевые слова:** электромагнитное излучение (ЭМИ), экранирование, защита.

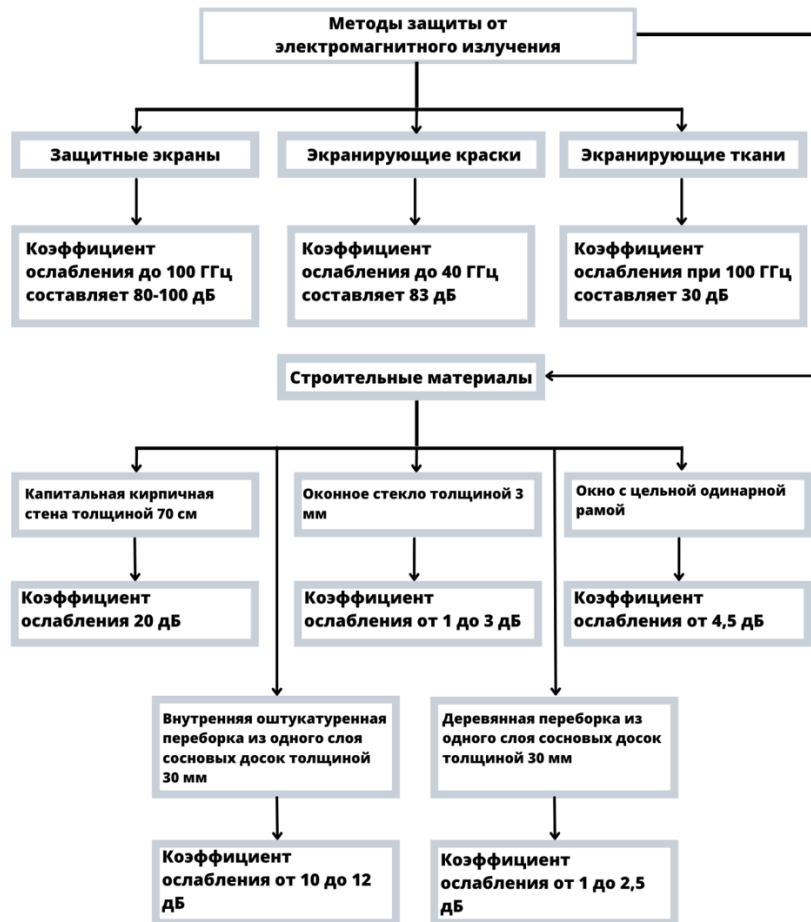
В наш цифровой век, люди постоянно находятся под влиянием электромагнитного излучения, создаваемого различными приборами, оборудованием и т.д. Это могут быть телефоны, компьютеры, ноутбуки, микроволновые печи, промышленные сооружения и т.д. Для искусственных электромагнитных полей, составляющих электромагнитное загрязнение окружающей среды, был придуман термин – электросмог. Влияние внешнего электромагнитного поля на организм в целом начинается на молекулярном и клеточном уровне. Будет затруднительным назвать молекулы в клетке живого организма, у которых нет частичной поляризации. Например, белки, и фосфолипиды имеют заряженные головки и нейтральные хвосты, молекула ДНК в процессе своего функционирования может иметь некомпенсированный заряд на разных участках. Даже самая простая молекула воды является диполем [1].

Один из видов защиты это электромагнитные экраны. Различают два вида таких экранов: а) отражающие, которые изготавливают из материала с низким электросопротивлением – металлы и их сплавы; б) поглощающие, которые выполняют из эластичных или жестких пенопластов, резиновых ковриков, листов поролона, ферромагнитных пластин. Принцип работы отражающих экранов заключается в том, что под действием электромагнитного поля в материале экрана возникают вихревые токи, которые создают в нем вторичное поле. Амплитуда нового поля приблизительно равно амплитуде экранируемого, а их фазы противоположны. Результирующее поле, возникшее в результате взаимодействия полей, быстро затухает в материале экрана [2]. Поглощающие экраны в основном используются на предприятиях. Данный вид защиты затруднителен для применения в домашних условиях, для этого есть более эффективные способы, которые будут рассмотрены ниже.

Защитой, которую можно применять как дома, так и на предприятиях, является экранирующая краска. В их состав входит тонкопроводный углерод, такие как сажа и графит, заменяющий металл, поэтому их стоимость дешевле, чем стоимость экранов. Они применяются в промышленных, медицинских, общественных, образовательных и жилых помещениях для защиты людей и приборов от излучений. Преимуществами красок можно назвать влагостойкость, воздухопроницаемость, универсальность, стойкость к химическим и механическим воздействиям, хороший уровень адгезии к разным поверхностям. Они также хорошо покрываются обычными пластиковыми или эмульсионными красками. Экранирующая краска не будет давать такой же защиты как электромагнитные экраны, но в домашних условиях нет необходимости в высоком уровне экранирования.

В случае необходимости проведения работ в области с высоким электромагнитным излучением может использоваться специальная одежда, сделанная из экранирующей ткани. Данная ткань состоит из синтетических или натуральных волокон с добавлением волокон металла, в частности меди и серебра [3]. Из экранирующих тканей также делают палатки, чехлы для оборудования, предметы декора. В отличие от вышеперечисленных способов защиты, ткани имеют большую область применения, но одновременно имеют самую низкую эффективность экранирования.

Все рассмотренные нами методы можно назвать эффективной защитой от ЭМИ. Экраны имеют самый высокий уровень экранирования, краски хорошо подходят для экранирования помещений, а ткани очень универсальны. На основе анализа современных методов защиты нами была составлена классификация методов. (см. рисунок).



Классификация методов защиты от ЭМИ.

### Источники

1. Эффективные средства защиты от электромагнитных полей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://simvolt.ua/ru/efektivni-zasobi-zakhistu-vid-elektromagnitnikh-poliv.-zberezhit-zdorovya-svoyikh-ditey/> (дата обращения 06.03.2022).

2. Электромагнитное экранирование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://faradey.ru/electromagnetic-shielding/> (дата обращения 07.03.2022).

3. Сильченко Е.Л. Разработка тканей для специальной профессиональной одежды с защитой от электромагнитного излучения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 10.05.18. М., 2018. 19 с.

## **SOLAR CELLS AS BACKUP POWER SUPPLIERS UNDER CONDITIONS OF NORTH**

N.S. Ivanov

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zamolotroka@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. А.Э. Аухадеев

This research examines whether solar power plants are a suitable solution to operate as backup power suppliers under cold climate conditions in certain northern territories and their operation during the winter season, the 1.5 kW solar installation located in Northern Canada has been studied as a solar power plant operating in cold climate. The data showed that, although solar cells are more efficient at low temperatures, the electricity production is minimal due to geographic changes and hence the solution is not sustainable enough for backup systems. Integration of more sustainable power sources, such as wind turbine, has been proposed.

**Keywords:** solar energy, backup power systems, cold climate, solar cells, power efficiency, Arctic region.

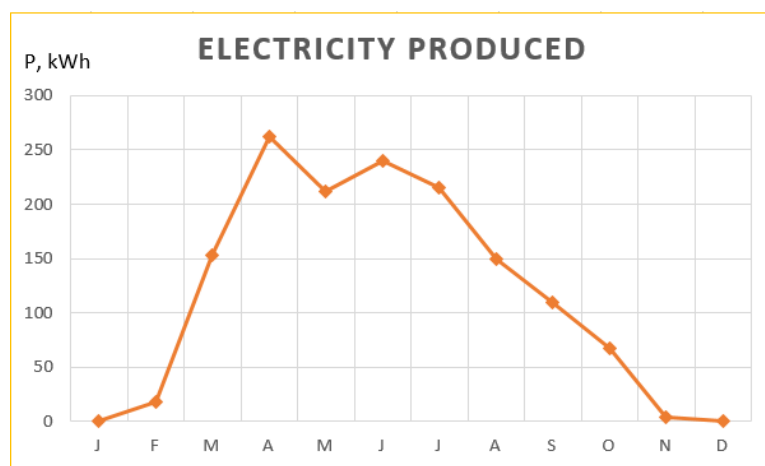
According to the Intergovernmental Panel on Climate Change reports, approximately 2/3 global greenhouse gas emissions can be attributed to CO<sub>2</sub> from industrial processes [1], most of all which are powered by fossil fuels. In 2015 the Paris Agreement was signed that aims at keeping the temperature increase on the planet within 1,5 °C from the pre-industrial level. According to the agreement, the critical part of meeting the goal is the transition towards renewables such as wind and solar energy. And solar energy is considered to be the cleanest energy source on the planet, it's one of the cheapest sources of energy available at the current moment.

A relevant example of northern lands would be the Arctic zone. Considering that the total Most settlements of the Russian Arctic have isolated power plants, mostly diesel power plants which are low efficient and expensive due to transportation. Also it's worth noting that diesel power plants pollute the nature [2]. The Arctic territories possess great potential for renewable energy development. For example, in some coastal territories wind speeds exceed 5-7 m/s, which is considered a favorable condition. However, there are certain difficulties regarding to installation, maintenance of wind turbines. Under the Arctic conditions wind turbines require special low-temperature equipment: metals, lubricants and other materials should be designed accordingly.



Therefore, solar energy is considered to be perspective renewable source of energy in the short term thanks to its relative simplicity and low cost due to its minimal requirement in maintenance. There is, however, heavy dependence of solar power on season changes, which will be shown later in the article.

Firstly, solar cells' operation characteristics at low temperatures should be examined. The generated voltage is mostly determined by the choice semiconductor type and the elements of the semiconductor layers. The higher radiance intensity, the more it will generate energy up to the electrical limits [3]. It is known that solar cells are more efficient at lower temperatures, and, for example, on a clear winter's day the solar cells' electricity production is higher than on a sunny hot summer day [4].



Electricity production of 1,5 kW solar installation in Inuvik

As a suitable example of solar panels operation in cold climate the solar installation at WARC (The Western Arctic Research Centre) could be considered, which is located in Inuvik with the coldest temperature ever recorded  $-56,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The center located at 68 degrees North and 133 degrees West. Geographical data of this area is relatively similar to certain Arctic areas in Russia. According to the monitored data of the installation at WARC The Western Arctic Research Centre [5], it can be seen that, even though, under the Arctic conditions in winter the efficiency of solar cells is much higher than in summer, in the winter season solar radiance is minimal and hence the energy production is low as well (less than 25 kWh is produced over the season). This is due to the factors such as shorter daylight hours and larger amount of snow. It could be stated that the low electricity production during the winter period (almost 4 months) makes solar energy an inefficient energy source for backup power systems.

Therefore, sustainable alternate energy sources should be integrated into the system, that are less affected by change of seasons such as wind turbines. The example of such system is the combined small power plants [6], which consists of 500 W wind turbine and 150 W polycrystalline solar module. The given power installation is designed to power small objects of agriculture and produced 923,4 kWh during the year 2020.

Thus the conclusion can be drawn that stand-alone solar power plants are most effective in the spring and summer seasons and the electricity production is low and is not enough to operate as a backup power supplier during winter. Therefore, if back up power is required throughout the year, more sustainable alternate energy sources, such as wind turbines, are necessary.

### References

1. Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T., Minx J.C. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group // III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014. C. 611.
2. Smerdov R., Mustafaev A., Spivak Y., Moshnikov V. // J. Phys.: Conf. Ser. 2018. 1135. 012038.
3. Elbreki A., Alghoul M., Al-Shamani A., Ammar A., Yegani B., Aboghrara A., Rusaln M., Sopian K. Renewable and Sustainable Energy Reviews 57. 2016. C. 602–647.
4. Ladvishchenko A., Lagunov A. Problems of operation of solar cells at low temperatures in the Arctic // AIP Conference Proceedings. 2020. 2313. 060010.
5. It's a new day for solar power [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://enphase.com/>.
6. Местников Н.П. Разработка и исследование гибридной электростанции КЭ-650 для удаленных потребителей электроэнергии в условиях Севера и Арктики // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: сб. матер. V Всерос. науч.-практ. конф. Кемерово: КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2020. С. 239-1-239-4.

## ВНЕДРЕНИЕ НА НИЖНЕКАМСКОЙ ГЭС СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ МСК-200 НА ПЛАВУЧЕМ МОДУЛЕ

Г.Ф. Идрисова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

guzelidrisova15525@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье предложена возможность перехода к возобновляемым источникам энергии путем гибридизации разных видов источников: как традиционных с альтернативными, так и альтернативных с альтернативными. Приведены расчеты внедрения и окупаемости солнечной электростанции на Нижнекамской ГЭС.

**Ключевые слова:** углеродный след, возобновляемые источники энергии, гибридизация, плавучие СЭС.

Глобальное потепление на сегодняшний день – огромная проблема человечества, требующая немедленного и эффективного решения. Согласно Парижскому соглашению по климату, направленную на существенное сокращение глобальных выбросов парниковых газов, Россия по интенсивному сценарию сократит выбросы на 36 % к 2030 г., а к 2050 г. сократит выбросы на 48 %, до 1,6 млрд тонн CO<sub>2</sub>-эквивалента. Углеродная нейтральность (нулевые нетто-выбросы парниковых газов) будет достигнута к 2100 г. Таким образом, Россия внесет свой важнейший вклад в ограничение роста температуры поверхности Земли до 1,5°C при совокупном сокращении 90 млрд т эквивалента углекислого газа к 2050 г. Это трудоемкая и всеобъемлющая цель, но достижимая. Глобальный подход к снижению углеродного следа энергетического сектора – это полный переход на возобновляемые источники энергии.

Невозможно не упомянуть о рисках, возникающих в результате внедрения «зеленой» энергетики. Эти риски связаны со спецификой некоторых технологий и процессов, используемых для производства электроэнергии из возобновляемых источников. Количество электроэнергии, необходимое республике, не может быть удовлетворено за счет выработки возобновляемой энергии. Растущая доля возобновляемых источников энергии в энергетическом балансе является причиной повышенной степени неопределенности в любой энергетической системе, создает проблемы с надежностью и стабильностью, снижает производительность в зависимости от спроса. Переход к ВИЭ – главную трансформацию энергосистемы можно обеспечить без многочисленных рисков, применяя концепцию промышленной гибридизации ВИЭ и традиционных источников генерации [1].

Промышленная гибридная генерация представляет собой работу объектов традиционной генерации интегрировано с ВИЭ, находящимися непосредственно рядом. Это помогает избежать рисков нестабильности ВИЭ и дает дополнительный импульс ее развитию и внедрению на глобальном уровне. Это гармонизация преимуществ традиционной генерации и сохранения природных ресурсов путем использования неисчерпаемых источников. Также допускается гибридизация одних возобновляемых источников с другими. В условиях Татарстана можно внедрить энергетическую установку на основе гибридизации солнечной и гидроэнергетики. Выбор такой комбинации обусловлен следующими расчетами:

Проведем расчет капитальных вложений внедрения плавучей СЭС в Нижнекамском водохранилище:

Примем стоимость одной установки МСК-200 [2], включая плавучий модуль [3], равной 22 850 руб. Количество модулей возьмем равное 500 шт., так размер капитальных вложений будет составлять 10450000р.

Рассчитаем мощность, выдаваемую установками за 1 год. Разобьем год на 183 летних и 182 зимних дней. В летний период интенсивность солнечного излучения, достаточного для работы установки, примем равным 9 часам, а зимой 6. Так мощность, вырабатываемая за летний период, заданным количеством установок, будет равна 164,7МВт, в то время как за зимний период мощность будет равна 109,2МВт. Таким образом, суммарная мощность за весь год – 273,9 МВт.

Рассчитаем срок окупаемости. На данный момент стоимость одного киловатта энергии варьируется в диапазоне от 2-х до 4-х рублей за 1кВт·ч в зависимости от целевого потребителя. Для расчётов примем стоимость киловатта энергии, равной 3 руб. Так, за 1 год работы данной системы установок МСК-200, в количестве 500 штук, будет произведено электрической энергии на сумму 821 700 руб. Таким образом, срок окупаемости будет составлять около 12 лет, учитывая срок службы солнечной панели равный 25 г., установка будет давать прибыль лишь 13 лет, после чего будет необходима замена установки без замены плавучего модуля. Так, размер затрат после 25 лет работы установки будет составлять 5 425 000 руб. После период получаемой прибыли увеличится до 18 лет.

Использование существующих гидроэнергетических объектов для размещения СЭС, безусловно, помогает снизить удельные инвестиционные и генерирующие затраты на один киловатт установленной мощности, а также сгладить неравномерность выработки солнечной энергии и обеспечить стабильное энергоснабжение потребителей. Гравитационные плотины – это гидротехнические сооружения, используемые для перекрытия водотоков и создания напора для выработки электроэнергии, территорию их низовых откосов можно использовать для установки солнечных модулей. Откосы, как правило, открытые, незатененные и расположены вблизи существующей энергетической и транспортной инфраструктуры. Также для расположения солнечных модулей можно использовать свободную территорию гидроэлектростанции или установить модули на поверхности водохранилища. Установка плавучей СЭС является наиболее выигрышной и уже протестирована в Японии. К преимуществам можно отнести отсутствие земляных, бетонных и других строительно-монтажных работ, простые технологии крепления, возможность самостоятельного охлаждения модулей. Благодаря охлаждающему эффекту воды повышается производительность электроустановки. Дополнительным положительным эффектом при установке СЭС является снижение объемов испарения воды с поверхности водохранилища, что имеет большое значение для водных ресурсов Нижнекамского водохранилища.

Таким образом, внедрение данной установки на Нижнекамском водохранилище имеет свои недостатки, связанные со своими специфическими характеристиками, что выражается в сроке окупаемости. Возможно, именно гибридизация является компромиссным и эффективным способом придания новой ценности традиционным источникам генерации (включая гидроэнергию) и многократно ускорить внедрение альтернативных источников энергии.

### **Источники**

1. Гибридная энергетика [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://kislodod.life/keysy/gibridnaya\\_energetika/](https://kislodod.life/keysy/gibridnaya_energetika/) (дата обращения 13.03.2022).
2. Каталог стандартных солнечных батарей и модулей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.solbat.su/catalog/standsolmod/> (дата обращения 13.03.2022).

3. Плавающие солнечные электростанции [Электронный ресурс].  
Режим доступа: <https://rotomo.ru/services/plavuchie-solnechnye-elektrostantsii/> (дата обращения: 13.03.2022).

УДК 621-548

## ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ РОТОРА САВОНИУСА

С.А. Кострюков<sup>1</sup>, А.Р. Васильев  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Волжский  
<sup>1</sup>kostryukovsa@mail.ru

Науч. рук. канд. физ.-мат. наук, доц. Ю.В. Гусева

В статье предложена лабораторная модель ротора Савониуса для исследования аэродинамических характеристик ветроколес различных профилей типа. Предложена обобщенная модель расчета показателя эффективности использования энергии ветра. По результатам апробации получены опытные данные о наиболее оптимальном аэродинамическом профиле ротора Савониуса, обеспечивающем эффективную выработку электрической энергии.

**Ключевые слова:** модель, аэродинамические параметры, профиль, ротор Савониуса.

Развитие электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России для реализации программ и национальных проектов совершенствования отечественной энергетики необходимо проводить более высокими темпами [1].

В России мощность всех ветроэнергетических установок составляет порядка 1380 МВт. Развитие ВИЭ в электроэнергетики сдерживается недостаточным количеством, а в некоторых случаях, практически отсутствием отечественных производителей оборудования данного типа, нехваткой организаций, осуществляющих ремонтную и обслуживающую деятельность для обеспечения надежности и безопасности ветроэнергетических установок, их высокие капитальные вложения. Необходимо отметить, что низкие значения технико-экономических показателей ветроустановок, в основном касающихся, коэффициента использования энергии ветра и себестоимости получаемой энергии препятствуют распространению и строительству ветроэнергетических электростанций в России [2–4].

В работе на основе расчетно-теоретического обоснования выбора конструктивных параметров профилей ветроколеса Савониуса выполнено определение коэффициента использования энергии ветра, характеризующей поток ветра с поперечным сечением лопасти, а также аэродинамического коэффициента лобового сопротивления. Для проверки адекватности проведенных расчетов создана лабораторная модель установки, имитирующая работу ротора Савониуса в различных аэродинамических условиях. Полученные в работе результаты могут быть использованы при конструктивном обосновании параметров ротора с целью эффективного использования энергии ветра и дальнейшего развития ветроэнергетики в составе отечественной электроэнергетической системы.

### Источники

1. Шерьязов С.К., Исенов С.С., Исаков Р.М., Кайдар А.Б. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. Т. 23. №5. 2021. С. 24–33.
2. Templin R.J. Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine // National Research Council of Canada. Rep. LTR 160. 1974. p. 185.
3. Янсон Р.А. Ветроустановки. М.: 2007. 36 с.
4. Tian W., Song B., Van Zwieten J. H., Pyakurel P. Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes // Energies. 2015. Т. 8. № 8. С. 7915–7929.

УДК 620.92

## ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ

Д.В. Краснов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dmitrijk2131@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

Геотермальные ресурсы считаются важной основой формирования энергетики, редкометалльной также химической индустрии, санитарно-биологического и промышленного комплексов. Российская федерация владеет большими резервами гидротермальных, находящихся в подземных водах, и петротермальных, располагающихся в горных породах, ресурсов.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, ресурсы, энергетика.

На саммите G20 в 2018 году фавориты стран приняли решение, что будут совершенствовать возобновляемые источники энергии, не забывая об энергетической безопасности и небольшой степени выбросов. Из альтернативной разновидности энергетики необходимо упомянуть энергию приливов и отливов, ветроэнергетику, а также геотермальную энергетику. В настоящее время акцент развития в данной области ставится на геотермальную энергетику, которая производится при помощи источников тепла недр Земли.

Исследования в области геотермальной энергетики были проведены еще в советские времена. В 1954 г. на Камчатке ученые СССР решили открыть лабораторию по изучению геотермальных ресурсов полуострова. С помощью отечественных разработок были построены в 70-ых гг. первые электрические станции, трансформирующие энергию Земли в электрическую [1].

Существуют оценки, в соответствии с которыми возможность геотермальной энергии в Российской Федерации существенно превосходит резервы органического топлива (вплоть до 15 раз). Обнаруженные в стране резервы геотермальных вод, температура которых до 200 °С и глубина до 3500 м, составляют примерно 14 млн м<sup>3</sup> горячей воды, что соизмеримо с 30 млн. тонн горючего топлива [2].

В настоящее время экономическая деятельность России напрямую зависит от усовершенствования энергетического потенциала. Проблемы в экономической сфере создают трудности энергоснабжения, особенно в южных и северных районах страны. Исходя из этого, появляется необходимость использования собственных энергетических ресурсов. На территории России наблюдается множество районов для использования геотермального ресурса Земли (см. рисунок).

Южная часть страны, Северный Кавказ, является крупнейшим регионом в области развития геотермальной энергетики. На данный момент больше 7,5 млн. м<sup>3</sup>/год воды температурой 50–110 °С применяется в Дагестане: 17 % – бытовые нужды; 42 % – отопление; 21 % – для сельского хозяйства и 3 % – для создания минеральной воды [3].





Геотермическое районирование России: а – области, пригодные для теплоснабжения зданий; б– области, пригодные для «прямого» использования геотермальных ресурсов; с – области, перспективные для использования геотермальных ресурсов в целях выработки электроэнергии

Наиболее богатые сбережения энергии Земли на Дальнем востоке страны. Почти на всей Камчатке наблюдается геотермальная энергетика (пар и горячая вода). При освоении территории, были найдены ресурсы, достаточные для построения на данной территории ГеоЭС. В данное время на территории России располагается 4 геотермальные электростанции: 3 на Камчатке (Мутновская ГеоЭС-1, Верхне-Мутновская и Паужетская ГеоЭС) и 1 на острове Кунашир (Менделеевская ГеоТЭС) [5].

Паужетская ГеоЭС – первая геотермальная электростанция на территории нашей страны, построенная в 1996 году на Паужетских геотермальных месторождениях, занимает лидирующее место в обеспечении полуострова Камчатка электрической энергией. Ее мощность составляет 12 МВт·ч, объем электричества, вырабатываемой на данной станции, составляет 42 млн кВт·ч[4].

Самой крупной геотермальной электростанцией является Мутновская ГеоЭС, мощность которой 50 МВт, а среднегодовая выработка примерно 350 млн кВт·ч. Данная станция начала свое производство электроэнергии в 2002 г., тем самым вместе с Верхне-Мутновской электростанцией покрывая порядка 30 % потребности Центрального энергоузла Камчатки [6].

Подводя итог, мы наблюдаем, что Россия имеет достаточный потенциал для развития альтернативной энергетики, в основе которой лежит преобразование тепловой энергии земли в электрическую энергию. Данный метод производства электроэнергии решит ряд проблем: развитие зеленой энергетики в стране, уменьшение цены на электричество, снижение зависимости отдельных районов от поставок с других регионов дорогих энергоресурсов.

## Источники

1. Рычагов С.Н. Начало освоения геотермальной энергии на Камчатке и перспективы ее использования // История естествознания и техники. 2017. № 7. С. 45-50
2. Бутузов В.А. Геотермальное теплоснабжение: столетний опыт работы российских научных школ // Энергия: экономика, техника, экология. 2019. №5. С. 16-32.
3. Геотермальная энергетика: Справочно-методическое издание / Г.В. Томаров, А.И. Никольский, В.Н. Семенов, А.А. Шипков. М.: Интехэнерго - Издат. 2015.
4. Паужетские горячие воды на Камчатке; ред. Б.И. Пийпа. М.: Наука. 1965. 208 с.
5. Пийп Б.И. Термальные ключи Камчатки // Труды СОПС АН СССР. 1937. Вып. 2.
6. Кирюхин А.В., Сугробов В.М., Геотермальные ресурсы Камчатки и ближайшие перспективы их освоения // Вулканология и сейсмология. 2019 № 6. С. 50-65.

УДК 620.92

## ОЦЕНКА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ

А.С. Лихобаба

ФГАОУ ВО «ЮФУ», г. Таганрог

anastasya.1122@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, в.н.с. Т.Н. Мясоедова

Проведен анализ преимуществ развития оффшорной ветроэнергетики в Азовском море для Ростовской области. Выполнен расчет суммарного годового производства электроэнергии морским ветропарком.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, оффшорная ветроэнергетика, морские ветроустановки.

Энергетика играет очень важную роль в обеспечении устойчивого и безопасного развития общества. Однако климатические изменения создают серьезную угрозу для экосистем планеты. Для минимизации негативных последствий изменения климата используются различные технологические решения, способствующие снижению выбросов парниковых газов. Сегодня мы можем наблюдать глобальный энергопереход, суть которого заключается в замещении генерации на основе углеводородного сырья. Развиваются и внедряются альтернативные источники энергии.

Тренды устойчивого развития мировой экономики создают условия для появления новых рынков. Благодаря значительным территориям и многообразию природно-климатических условий, Российская Федерация обладает высоким потенциалом для экспорта экологически чистой электроэнергии, что создает новые экономические возможности.

Также, для создания национальной системы рынка зеленых сертификатов необходимо вводить новые «зеленые мощности». Этот механизм необходим для снижения пошлины трансграничного углеродного регулирования.

Оффшорная ветроэнергетика является одним из перспективных видов возобновляемых источников энергии для реализации необходимых объемов электроэнергии. Данный сегмент энергетики способен производить экологически чистую энергию в больших объемах, благодаря чему станет возможным осуществление перехода к надёжному, безопасному и устойчивому энергетическому будущему. Также, морской ветер является подходящим источником энергии для производства экологически чистого водорода, который имеет решающее значение для снижения углеродного следа промышленного сектора.

Российская Федерация обладает самым большим ветропотенциалом в мире. Это объясняется колоссальной площадью, а также выходам к 12 морям. В Ростовской области существует особый интерес к развитию ветроэнергетики.

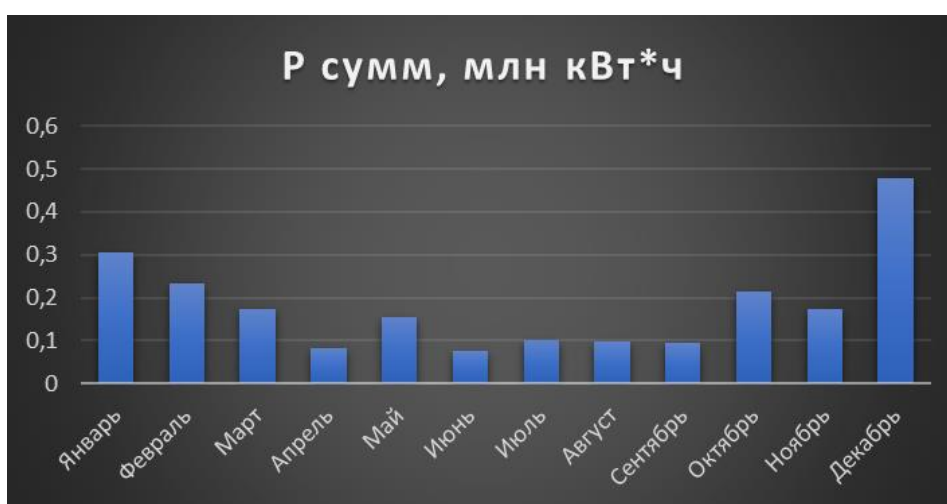
Для того, чтобы использование энергии морских ветроустановок было экономически эффективно, необходимо комплексно оценивать локацию, на которой предполагается их использование. При выборе места размещения ветропарка основным критерием является ветропотенциал. Среднемесячная скорость ветра на акватории Таганрогского залива показана в таблице [1].

Среднемесячная скорость ветра Таганрогского залива

Месяц	Средняя скорость ветра, м/с	Месяц	Средняя скорость ветра, м/с
Январь	8,1	Июль	5,61
Февраль	7,65	Август	5,52
Март	6,73	Сентябрь	5,56
Апрель	5,32	Октябрь	7,19
Май	6,45	Ноябрь	6,78
Июнь	5,12	Декабрь	9,41

Площадь Азовского моря составляет 39 тыс. км<sup>2</sup>, море имеет несложный рельеф дна – глубины медленно и плавно увеличиваются по мере удаления от берегов, дно плоское и ровное. Мелководность Таганрогского залива значительно снижает инвестиционные затраты и упрощает монтаж ветроустановок.

В результате расчета суммарного годового производства электроэнергии морским ветропарком, состоящим из 26 ветроустановок с диаметром ветроколеса 120 м, было показано, что годовое производство электроэнергии составляет 2,18 млн кВт·ч (см. рисунок). Это покрывает потребности около 16,5 тыс. домовладений.



Результаты расчета суммарного годового производства электроэнергии

Потенциал морской ветроэнергетики Азовского моря может стать катализатором развития крупномасштабного производства комплектующих для ветроустановок, что будет способствовать расширению индустрии и создаст множество новых рабочих мест. Помимо преимуществ декарбонизации, морская ветроэнергетика может значительно повысить безопасность электроснабжения Юга России в случаях аварий и диверсий, вероятность которых увеличивается, т.к. Ростовская область граничит с регионом с нестабильной обстановкой. Сильные ветра и частые обледенения в зимнее время также повышают вероятность обрыва линий электропередач.

### Источники

1. Ventusky - прогноз погоды на карте [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ventusky.com/?p=47.47;38.86;8&l=wind-100m> (дата обращения 28.02.2022).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СЦЕНАРИЯ РАЗРЯДА ВОДОРОДНОГО НАКОПИТЕЛЯ

Я.Ю. Малькова<sup>1</sup>, М.В. Андреев<sup>2</sup>

ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», г. Томск

<sup>1</sup>yamalkova96@gmail.com, <sup>2</sup>andreevmv@tpu.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.А. Уфа

На сегодняшний день объекты возобновляемой генерации имеют достаточно широкое распространение в мировой электроэнергетике. Наряду с явными преимуществами данному типу генерации присущи такие особенности как непостоянство выработки электроэнергии и несоответствие пиков ее генерации и потребления, что, в свою очередь, определяет необходимость совместной установки возобновляемой генерации с системами накопления энергии. В статье рассмотрено решение задачи определения оптимальных параметров водородных накопителей, в том числе емкости и сценария заряда/разряда.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, водородный накопитель, оптимальная емкость, оптимальный сценарий заряда/разряда.

Содержание актуальной климатической повестки определяет растущий интерес к объектам генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Специфика функционирования данных объектов обуславливает необходимость их совместной установки с системами накопления энергии (СНЭ), в частности с водородными накопителями.

Для определения оптимальных параметров водородного накопителя, устанавливаемого совместно с объектом возобновляемой генерации, в том числе емкости накопителя и сценария заряда/разряда, проведено следующее исследование на примере 15-узловой IEEEсхемы, параметры которой представлены в [2].

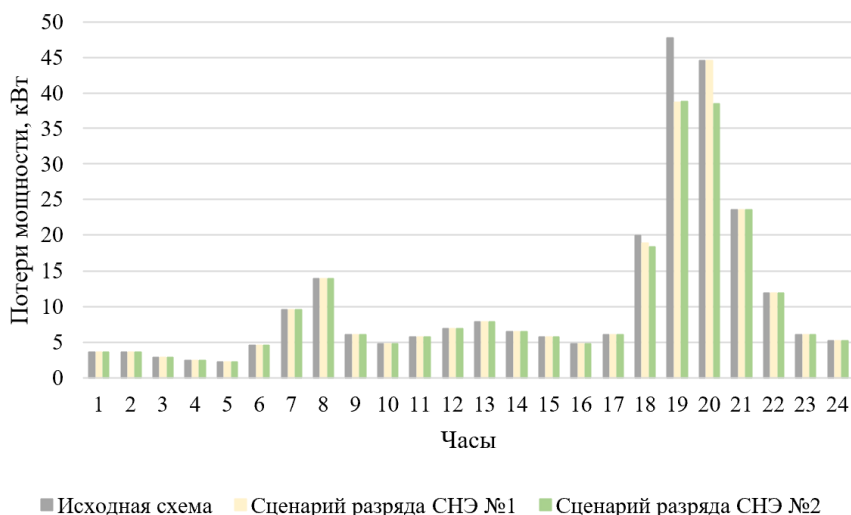
На первом этапе работы для исследуемой схемы определены оптимальное место размещения и мощность объекта ВИЭ посредством запуска программной реализации разработанного авторами алгоритма [3]. Таким образом, при ограничении диапазона допустимой мощности объекта ВИЭ суммарной мощностью нагрузки схемы рекомендована следующая конфигурация вводимого объекта: узел установки – 3, мощность 718 кВт.

На втором этапе работы выполнена установка данного объекта в модель исследуемой схемы, предварительно собранную в программном комплексе MATLAB/Simulink. Для определения оптимальных параметров СНЭ необходимо рассмотреть суточный график суммарной нагрузки и генерации объекта ВИЭ, для чего выполнено моделирование схемно-режимной ситуации для каждого расчетного часа исследуемых суток в предположении, что нагрузка является обобщенной. Таким образом, установлено, что избыточная генерация установленного объекта ВИЭ составляет 1764 кВт ч. Данная величина является входным параметром для последующего расчета емкости водородного накопителя.

Расчет емкости СНЭ заключается в оценке коэффициента полезного действия (КПД) процессов преобразования избыточной электроэнергии в водород посредством электролиза и обратного преобразования водорода в электроэнергию в топливной ячейке для последующего использования конечным потребителем в часы дефицита местной генерации, в частности в часы вечернего максимума нагрузки. В результате анализа литературы [1, 4] установлено, что для рассматриваемого сценария и исследуемой схемы располагаемая емкость водородного накопителя составляет 917 кВт ч.

Далее были рассмотрены различные сценарии разряда СНЭ рассчитанной емкости. Приведем результаты для двух из них, в частности: 1 – разряд накопителя на полное покрытие текущего дефицита мощности местной генерации; 2 – разряд накопителя на покрытие половины текущего дефицита мощности (покрытие оставшейся половины осуществляется потреблением мощности из сети).

Для сопоставления величин суммарных потерь мощности в течение суток для сценариев с установленной СНЭ и без нее приведем сводный график (см. рисунок).



Суточный график суммарных потерь мощности для исходной схемы (с объектом ВИЭ) и для двух исследуемых сценариев разряда водородного накопителя

Таким образом, суммарные потери мощности составили:

– 257 кВт для исходной схемы с установленным объектом ВИЭ рекомендуемой конфигурации;

– 247 кВт для схемы с установленным объектом ВИЭ совместно с водородным накопителем и разрядом последнего на полное покрытие дефицита мощности в вечерние часы;

– 240 кВт для схемы с установленным объектом ВИЭ совместно с водородным накопителем и разрядом последнего на половинное покрытие дефицита мощности в вечерние часы.

В соответствии с полученными результатами исследования можем заключить, что совместная установка объекта возобновляемой генерации и СНЭ, в частности водородного накопителя, обуславливает повышение эффективности функционирования энергосистемы в целом, способствует сокращению суммарных потерь мощности и выравниванию суточного графика нагрузки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-00275.

### Источники

1. Филимонова А.А., Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Разакова Р.И. Электрохимические технологии для автомобилей на водородном топливе // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 104-115.

2. Sudhakar T.D., Rajan M.R., Srinivas K.N., Prabu R.R., Narmadha T.V., Krishnan M.M. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab // Indian Journal of Science and Technology. 2016. V. 9. Is. 12. P. 1-7.

3. Определение оптимального места и мощности объектов распределенной генерации: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022611224 Российская Федерация / Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, И.А. Разживин. № 2022610316; заявл. 13.01.22; опубл. 21.01.22, Бюл. № 2.

4. Петин С.Н. Энергетическая эффективность производства и потребления водорода // Вестник МЭИ. 2019. № 2. С. 29-36.

УДК 621.311.25

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Н.П. Местников<sup>1</sup>, А.М-Н. Альзаккар<sup>2</sup>, П.Ф. Васильев<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», г. Якутск

<sup>1,3</sup>ФГБУН ФИЦ «ИФТПС СО РАН им. В.П. Ларионова», г. Якутск

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>sakhacase@bk.ru, <sup>2</sup>ahmadalzakkar86@gmail.com, <sup>3</sup>kb-8@mail.ru

Статья посвящена вопросам изучения функционирования фотоэлектрической установки в условиях крайне низких температур. Натурные исследования произведены в зимний период 2021 года на территории центральной части Республики Саха (Якутия). Применен метод определения влияния внешних климатических факторов на функционирование фотоэлектрической установки. Определено, что в диапазоне показателей солнечной радиации от 121 Вт/м<sup>2</sup> и выше ( $\geq 5400$  лк) разница между температурами поверхности солнечной панели и воздушной среды составила 5 °С и более с учетом резкого увеличения генерирующей мощности установки. Полученные результаты могут быть применены в актуализации методики исследования работы объектов гелиоэнергетики в условиях крайне низких температур.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая установка, освещенность, температура среды, крайне низкие температуры.

Солнечная энергетика является одним из основных направлений в развитии автономных систем электроснабжения в особенности на территории Северо-Востока России. Данный источник энергии применяется в генерации электро- и тепловой энергии посредством применения солнечных панелей и коллекторов. На территории Северо-Востока России объекты гелиоэнергетики применяются в основном для генерации электроэнергии.



В автономных системах электроснабжения солнечные панели применяются в параллельном исполнении с дизель-генераторными и газотурбинными установками [1]. В настоящий момент на территории Республики Саха (Якутия) функционируют более 20 солнечных электростанций с единичной установленной мощностью от 10 кВт до 1 МВт [2].

Данная территория имеет резко-континентальный климат с максимальной летней температурой +40 °С и минимальной зимней – 65 °С, местами до – 72 °С с годовым количеством осадков 200–300 мм [3]. Известно, что функционирование солнечных панелей в условиях крайне низких температур Якутии имеет определенные особенности. В этой связи является актуальным проведение натуральных исследований по изучению особенностей работы фотоэлектрической установки с солнечной панелью в условиях крайне низких температур Якутии.

Натурные исследования проведены в декабре 2021 г. на территории центральной части Якутии при температуре воздушной среды от – 56 °С до – 49 °С с применением фотоэлектрической установки [4] и определенного перечня измерительного и регистрирующего оборудования.

На рис. 1 представлен внешний вид фотоэлектрической установки и моменты замера экспериментальных данных.



Рис. 1. Внешний вид фотоэлектрической установки и моменты замера данных

На рис. 2 представлены графики зависимости разницы температур поверхности солнечной панели и воздушной среды от напряжения (рис. 2, а) и мощности (рис. 2, б) фотоэлектрической установки.

Разница между температурами поверхности солнечной панели и воздушной среды вычисляется по выражению 1.

$$\Delta T = T_{\text{поверхности}} - T_{\text{среды}} \quad (1)$$

где  $\Delta T$  – разница температур поверхности солнечной панели и воздушной среды, °С;  $T_{\text{поверхности}}$  – температура поверхности солнечной панели, °С;  $T_{\text{среды}}$  – температура воздушной среды, °С.

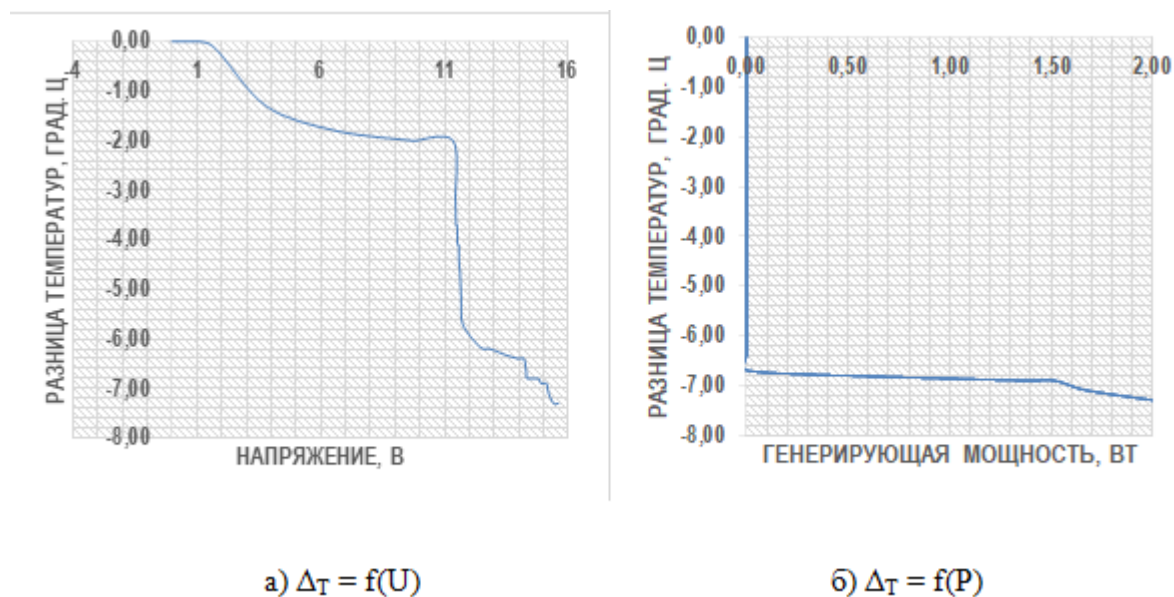


Рис. 2. Графики зависимости разницы температур поверхности солнечной панели и воздушной среды от напряжения и мощности фотоэлектрической установки

На графиках видно, что с повышением температуры поверхности солнечной панели увеличивается напряжение и мощность установки в особенности на промежутке разницы температур от 2,0 до 6,4 °С.

### Источники

1. Альзаккар А.М-Н., Местников Н.П., Алхадж Хассан Ф., Валеев И.М. Анализ динамического воздействия электрического соединения на устойчивость угла ротора для синхронных генераторов в электроэнергетической системе Сирии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 4. С. 120-133.
2. Исследование возможности применения фотоэлектрических солнечных установок внутри купольного строения в условиях Севера / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев, Г. И. Давыдов [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 4(159). С. 435-449.
3. Местников Н.П., Бурянина Н.С., Васильев П.Ф. Разработка системы математического моделирования работы объектов солнечной энергетики в условиях Севера // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2021. Т. 6. № 2(24). С. 81-85.

4. Местников Н.П. Разработка способа защиты фотоэлектрических солнечных установок от поверхностного загрязнения в условиях // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 4. С. 16-24.

УДК 620.92

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЩЕЖИТИЯ №3 КГЭУ**

Э.Д. Муниров, С.И. Гимадиев<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>samgim02@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В данной работе исследована возможность использования солнечной энергии для энергообеспечения общежития №3 КГЭУ. На основании данных энергопотребления зданием общежития произведен расчет среднесуточного потребления электроэнергии, выбраны солнечные панели, рассчитано их необходимое количество, а также произведен расчет емкости аккумуляторов и их количества.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, солнечные панели, электроснабжение.

В современном мире с течением времени человечество все больше и больше развивается в сфере науки и технологий, появляются новые устройства и машины, требующие потребление большего количества электроэнергии [1]. В настоящее время энергетика России взяла курс на снижение углеродного следа и использование возобновляемых источников энергии [2].

В данной работе был рассмотрен вопрос перехода энергообеспечения 3-го здания КГЭУ на солнечную энергетику.

Это здание находится в благоприятных условиях для использования солнечной. Здание 19-ти этажное, никакое рядом стоящее сооружение не загораживает его, следовательно, наиболее рациональным источником питания является солнечная энергия. Солнечные панели, преобразующие солнечную энергию в электрическую, имеют небольшой срок окупаемости и, самое главное, экологичное использование, а также минимальные затраты на эксплуатационные затраты.

Для расчета мощности и необходимого количества солнечных батарей нужно знать суточное потребление электроэнергии в общежитии. Среднемесячное электропотребление в общежитии за 2021 г. (см. таблицу).

Среднемесячное электропотребление в общежитии за 2021 г.

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Итого
кВт·ч	33 709,00	39 131,00	39 440,00	33 198,00	29 615,00	29 323,00	21 102,00	12 336,00	29 017,00	34 449,00	36 217,00	39 264,00	376 771,00

Рассчитываем мощность солнечных батарей и их количество.

Солнечные панели вырабатывают энергию только в светлое время суток, но выработка в пасмурные дни и зимой может снизиться на 10–30 % от мощности панелей.

Максимальное месячное значение затраченной энергии за 2021 г. составило 39 440,00 кВт·ч (март).

Рассчитаем суточный расход электроэнергии:

$$\frac{39\,440,00}{30} = 1315 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Найдем среднее количество потребляемой электроэнергии за час:

$$\frac{1315}{24} = 55 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

По расчету суточного расхода электроэнергии была выбрана солнечная батарея SilaSolar 330Вт PERC 5BB с увеличенным КПД (до 21,92 %) стоимостью 21 560 руб.

Исходя из расчетов, определим необходимое количество солнечных батарей:

$$\frac{55000 \text{ Вт}}{330 \text{ Вт}} = 167 \text{ штук}.$$

Учитывая потери 30 % (пасмурную погоду, угол наклона и т.д.):

$$167 \cdot 1,3 = 218 \text{ штук.}$$

Количество и емкость аккумуляторов должна быть такой, чтобы энергии хватило на темное время суток, потому что ночью потребление электроэнергии минимально, по сравнению с дневной активностью.

Аккумулятор Leoch DJM 12250 за 51 000 руб. на 250 А·ч. запасает примерно:

$$250 \text{ А} \cdot 12 \text{ В} = 3000 \text{ Вт.}$$

Так, если за темное время суток в общежитии потребляется 120кВт·ч электричества, то необходимо установить примерно 40 АКБ по 250 А·ч (12 В), но стоит учесть, что аккумуляторы желательно заряжать на 70–50 %. Исходя из этого получаем, что 40 АКБ по 250 А·ч будут запасать  $120000 \cdot 0,7 = 84000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ .

КПД инвертора составляет порядка 90–95 %, т.е. все полученные величины выработки энергии и запаса можно относить к этим процентам. То есть, запас емкости для аккумуляторов надо брать на 5 % больше. При потреблении 120000 Вт·ч за ночь, устанавливая 42 АКБ емкостью 250 А·ч.

$$250 \text{ А} \cdot 12 \text{ В} \cdot 42 = 126000 \text{ Вт} \cdot \text{ч.}$$

В итоге берем сетевой солнечный инвертор SOFAR 100000TL 3-фазы стоимостью 804 100 руб. и Сетевой солнечный инвертор SOFAR 30000TL-G2 3-фазы стоимостью 340 560 руб.

1. Солнечные батареи 218 шт. по 330 Вт (4,7 млн. руб.).
2. АКБ по 250 А·ч 42 шт. запас до 24000 Вт (408 тыс. руб.).
3. Инвертор 100 кВт номинальная мощность и инвертор 30 кВт номинальная мощность (1,14 млн. руб.).

Итого 6 252 660 руб. за комплект оборудования.

Таким образом, в статье приведено примерное количество панелей, необходимых для нормального электроснабжения общежития, а также примерные затраты на все приведенные выше технологии.

## Источники

1. Удалов С.Н. Возобновляемые источники энергии. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2007. С. 60.
2. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения 12.03.2022).

УДК 620.9

## ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

А.Р. Мухаметова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mukhametova.15@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В статье рассматривается принцип работы геотермальных установок. Выполнен обзор источников геотермальной энергии. Рассмотрены преимущества и недостатки геотермальной энергетики.

**Ключевые слова:** геотермальная энергетика, энергия, тепло, электростанция, ресурсы.

Геотермальная энергия – это тепло недр Земли, используемое для выработки электрической энергии на геотермальных электростанциях. Полученная энергия необходима для водоснабжения и отопления зданий. Этот вид энергии относится к естественным, возобновляемым ресурсам.

Можно выделить гидрогеотермальные и петрогеотермальные ресурсы. Гидрогеотермальными ресурсами являются природные динамические носители тепловой энергии – геотермальные воды. Петрогеотермальные ресурсы представляют энергию, которая заключена в скелете водовмещающих пород и в практически водонепроницаемых сухих горных породах [1, 2].

Разработаны два основных метода применения геотермальной энергии: прямое использование тепла и выработка электроэнергии. Непосредственное использование тепла основывается на установке глубоких колодцев. Этот метод является самым простым и более распространенным. Полученная горячая вода используется в быту. Второй метод применения геотермальной энергии подобен первому методу, но отличается необходимостью более высоких температур.

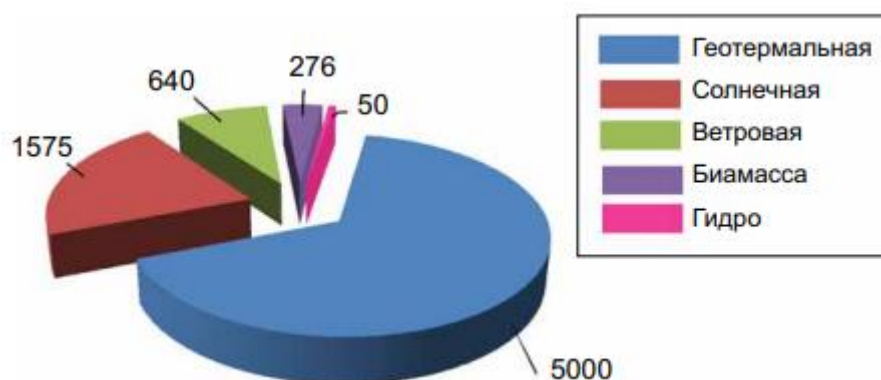
Три наиболее распространенных варианта для выработки электроэнергии:

1. Геотермальная паровая электростанция. Сухой пар подается из добывающей скважины на турбину, вращая ее, крутящий момент передается на генератор, вырабатывающий электроэнергию. Конденсат с турбины закачивается обратно в геотермальный пласт через соседнюю скважину.

2. Гидротермальная электростанция. Подогретый раствор из добывающей скважины подается в камеру испарителя, которая находится под давлением, а пары подаются на турбину. Крутящий момент передается генератору, который преобразует его в электричество. Конденсат с турбины идет обратно под землю.

3. Геотермальная электростанция с бинарным циклом. Из добывающей скважины раствор поступает в теплообменник, где тепло передается жидкости с более низкой температурой кипения. Пар подается на турбину, а крутящий момент передается на генератор, где преобразуется электричество. Конденсат возвращается через скважину [2, 3].

По некоторым оценкам, геотермальная энергетика среди всех форм возобновляемых источников энергии имеет наибольшую потенциальную ценность. Из 7541 ЭДж/год производительности на геотермальные источники приходится 5000 ЭДж/год [4, 5].



Потенциал возобновляемых источников энергии

Большим количеством ресурсов геотермальной энергии обладают центральный регион России, Сахалин, Северный Кавказ, Красноярский край, Дагестан, Курильские острова, полуостров Камчатка, Байкал, Чукотка и Сибирь. Геотермальные ресурсы очень важны для снабжения северных территорий России.

Преимущества применения геотермальной энергии: неисчерпаемость; независимость от условий окружающей среды; теплоснабжение и выработка электроэнергии; отсутствие котельного оборудования и затрат на топливо; возможность применения энергоносителя низкого давления; несложность управления; сокращение вредных выбросов в регионах с тяжелой экологической обстановкой. Геотермальная энергетика позволяет обеспечить устойчивым тепло – или электроснабжения в тех регионах, в которых централизованное энергоснабжение отсутствует.

Все же геотермальная энергия не является совершенным способом производства энергии и имеет ряд недостатков: часть тепловой энергии выделяется наружу в атмосферу; истощение геотермального источника, что приводит к изменениям в геологии; случайная утечка ядовитых веществ на поверхность [6, 7].

Таким образом, тепло Земли можно использовать как для теплоснабжения, так и электроснабжения. Геотермальная энергетика имеет незначительное отрицательное влияние на природу и хорошие перспективы на дальнейшее развитие.

#### **Источники**

1. Rybach L. Status and Prospects of Geothermal Energy // Proc. World Geothermal Congress. 2010, Bali, Indonesia. 25–29 April 2010.

2. Алхасов А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит, 2008. 376 с.

3. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. article number 05061.

4. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. Articlenumber 8934431.

5. ГеоТЭС, типы, опыт использования [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studopedia.net/12\\_88621\\_geotes-tipi-opitispolzovaniya.html](https://studopedia.net/12_88621_geotes-tipi-opitispolzovaniya.html) (дата обращения 12.03.2022).

6. Каково негативное влияние геотермальной энергии на окружающую среду [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.quora.com/What-are-the-negative-effects-of-geothermal-energy-on-the-environment> (дата обращения 12.03.2022).

7. Берман Э. Геотермальная энергия. М.: МИР, 1978.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ДОБЫЧИ КРИПТОВАЛЮТЫ

А.Ю. Помысова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

pomissova@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье проанализирована проблема увеличения влияния добычи криптовалюты на окружающую среду, а так же предложена возможность решения данной проблемы благодаря использованию возобновляемых источников энергии. Новый подход предполагает использование экологически чистой электроэнергии, в том числе за счет использования электроэнергии в часы максимальной ее выработки возобновляемыми источниками.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, майнинг, криптовалюта, биткоин, энергия.

В последние годы все большую популярность набирают различные криптовалюты, из этого следует и растущее распространение способа их добычи – майнинга. Данное понятие определяют, как способ получения новых блоков (монет) криптовалюты, например биткоинов, посредством решения компьютером определенных криптографических, математических и других видов вычислений [1]. Чем выше цена биткоина, тем больше майнеров конкурируют, и тем сложнее становятся задачи, а, следовательно, растут и затраты энергии. Протокол биткоина направлен на то, чтобы блоки транзакций добывались каждые десять минут, поэтому если в сети больше майнеров с большей вычислительной мощностью, вероятность решения задачи и получения вознаграждения менее чем за десять минут увеличивается. Эта процедура использует значительное количество энергии для обработки вычислений. Но высокая энергоемкость криптомайнинга – это не ошибка, а особенность. Как и добыча золота, добыча биткоинов или другой криптовалюты обусловлена использованием большого количества энергии. Требования как к дорогому оборудованию, так и к большому количеству электроэнергии для питания этого оборудования создают барьеры для входа, что, в свою очередь, делает чрезвычайно трудным для небольшой группы майнеров взять под контроль всю криптосеть.

Сторонники криптовалюты считают, что эта децентрализованная структура имеет много преимуществ перед централизованными валютными системами, потому что криптовалютные сети могут работать, не полагаясь на какого-либо посредника, такого как центральный банк. Вместо любой централизованной власти майнеры используют большие объемы вычислительной мощности для работы и поддержания безопасности криптовалютной сети.

В связи с большим объемом потребляемой энергии добыча криптовалюты оказывает большое влияние на окружающую среду. По данным Digiconomist, добыча биткоинов ежегодно генерирует около 114 млн т выбросов углекислого газа – это равно объемам, генерируемым некоторыми небольшими странами [2]. Майнинг для Ethereum производит более 61 миллионов тонн выбросов углекислого газа в год [3].

Исследователи из Кембриджского университета сообщают, что большая часть добычи биткоинов – около 35 % в 2021 г. – происходит в США. США в свою очередь получают большую часть своей электроэнергии, сжигая ископаемое топливо. Казахстан и Россия, еще две страны, которые получают большую часть своей энергии из ископаемого топлива, следуют за США в рейтинге добычи криптовалют [4]. В результате эти страны, сильно зависящие от ископаемого топлива, несут ответственность за большую часть мировой добычи биткоинов.

Решением этой проблемы может стать использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для добычи криптовалюты [5]. Уже в 2021 г. объем ВИЭ, используемый для добычи биткоина, составил более 56 %, что, с одной стороны, увеличивает стоимость их производства, но, с другой стороны, огромные энергозатраты обуславливают необходимость перехода на ВИЭ в соответствии с законом «Об ограничении выбросов парниковых газов».

Процесс производства электроэнергии с помощью ВИЭ имеет неравномерный характер, что, в свою очередь, приводит к их работе в неэкономичном режиме, увеличивает расход топлива и, как следствие, стоимость электроэнергии для потребителей. Еще одним взаимовыгодным решением проблемы производства криптовалюты является использование электроэнергии, производимой ВИЭ в часы максимальной ее выработки (сверх необходимого потребителям) вместо поисков путей ее аккумуляирования.

Можно сказать, что использование ВИЭ для майнинга имеет огромный потенциал для устранения финансовых и технических пробелов данной области. Это может помочь превратить отходы в ценность и снизить финансовые риски. Доходность криптовалюты, добытой таким образом, может стимулировать более широкий спектр дополнительных инвестиций в возобновляемую энергетику.

Таким образом, не смотря на то, что внедрение возобновляемых источников энергии продолжает расти впечатляющими темпами, но сокращение, передача, потребление и управление эффективностью остаются постоянными проблемами этой области. Криптовалютный майнинг можно рассматривать как попытку превратить потерю электроэнергии в финансовую выгоду. Это проливает свет на ценность, которую могут принести новые технологии, такие как блокчейн. Решение слабых сторон одной технологии, возможно, можно найти в сильных сторонах другой. Одним из главных (подталкивающих) факторов перехода на ВИЭ является постепенное снижение стоимости производства экологически чистой электроэнергии. Так, например, стоимость солнечной электроэнергии упала на 89 % за 10 лет, если в 2009 г. она равнялась 359 \$ за МВт·ч, то на момент 2019 г. составляла 40 \$. То же можно сказать и об энергии, вырабатываемой ветряными генераторами, стоимость которой равна 41 \$ за МВт·ч[6]. Поэтому идея использования ВИЭ для добычи криптовалюты становится все более актуальной.

### **Источники**

1. Гаврилов А.Г. Майнинг криптовалюты // Аллея науки. 2017. Т. 2. № 16. С. 355-361.
2. Bitcoin Energy Consumption Index [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> (дата обращения 26.02.2022).
3. Ethereum Energy Consumption Index [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>(дата обращения 26.02.2022).
4. Россия стала третьей страной в мире по майнингу биткоина / Хабр [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/news/t/583342/> (дата обращения 25.02.2022).
5. Крипто-майнинг и возобновляемые источники энергии: текущий сценарий и новые тенденции [Электронный ресурс]. Режим доступа:<https://www.block-chain24.com/news/novosti-mayninga/kripto-mayning-i-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-tekushchiy-scenariy-i> (дата обращения 25.02.2022).
6. Why did renewables become so cheap so fast? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth> (дата обращения 01.03.2022).

## ПЕРСПЕКТИВЫ БИОЭНЕРГЕТИКИ

А.А. Рахманов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань  
azmay0025@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. И.Н. Маслов

В последнее время биоэнергетика стремительно развивается, направление использует возобновляемое сырье для получения различных видов энергии. Вниманию подлежит получение биотоплива из биологических отходов: опилок, коры, органических удобрений и т.п. Помимо этого, активно добываются жидкие виды биотоплива, которые направлены заменить, привычные нам, бензин и солярку в двигателях внутреннего сгорания.

**Ключевые слова:** биоэнергетика, биомасса, электричество.

В современном мире все острее встает вопрос связанный с нехваткой энергоресурсов. Эти проблемы энергетики можно решить только при оптимальном распределении топлива и энергии. Борьба за эти ресурсы является одним из основных двигателей развития мировых отношений и глобальной политики. Сейчас быстрыми темпами развиваются такие направления в энергетике как: ветроэнергетика, солнечная и биоэнергетика [1, 2].

Биоэнергетика уже становится вполне самостоятельной отраслью и в последнее время становится все более значимой частью при выработке тепла и электричества в сравнении с традиционными энергетическими установками [3, 4].

Биоэнергетика – направление в возобновляемой энергетике, основывающееся на получении энергии из органического сырья. Технологиями, которыми получают энергию, являются: прямое сжигание и пиролиз; газификация; получение спирта и масел для транспортных средств. Методы получения биомассы не стоят на одном месте, они совершенствуются для предоставления потребителю в удобной форме и повышенной эффективностью [1, 2].

Биомасса довольно продуктивный ресурс для получения энергии. Ее источники можно найти почти что в любом уголке мира, и практически все могут быть предоставлены для преобразования в энергию различных видов. На нынешнем уровне развития технологии биомасса может покрыть 6–10 % от всего объема энергетических затрат развитых регионов мира. Каждый год на Земле вырабатывается примерно 130 млрд т. биомассы, что энергетически сравнимо с почти 50 млрд т. нефти.

Применение микроводорослей при получении энергии вызывает особый интерес и в данный момент активно исследуется. Большое количество информации о биологии перспективных для возобновляемой энергетики видов водорослей и исследование возможностей их использования в качестве альтернативного энергетического ресурса стали причиной активного развития технологии выращивания микроводорослей [1, 2].

Кроме того, для получения электрического тока, тепла или топлива можно применять отходы деревообрабатывающей продукции. Быстрорастущие древесные посадки привлекают их высоким природоохранным возможностями.

Микробиотопливные элементы также содействуют получению электричества. Они утилизируют отходы, вырабатывая при этом электрический ток при помощи микроорганизмов, находящихся в биологических отходах сельскохозяйственных животных.

В качестве преимуществ биоэнергетики можно выделить следующие пункты: является чистым и возобновляемым источником энергии; имеет невысокую стоимость выработки и большой объем для повторного использования остатков; в отличие от других видов добычи энергии представляет меньший вред для окружающей среды и не способствует возникновению парникового эффекта.

Несмотря на все свои плюсы биоэнергетика так же имеет ряд недостатков: для производства биомассы требуются обширные территории, что в свою очередь приводит к экологической неуравновешенности и изменению климата; биотопливо имеет более низкую теплопроводность и может вызвать прирост кислотных дождей; снижается КПД; так же проблематично перевозка и хранение твердых видов биомасс. С этой точки зрения, повышение эффективности газотурбинных установок является весьма оправданным [5, 6].

Примером активного использования биоэнергетики может послужить Бразилия. Где основным источником биомасс являются сахарный тростник и древесина. В стране 44 % энергии вырабатывают возобновляемые источники, из которых 17 % добывается из тростника. По данным опубликованным в Resenha Energética Brasileira в 2016 г. 33 % энергии в Бразилии вырабатывает биоэнергетика. При выборе мощности установок необходимо учитывать фактические электрические нагрузки [7, 8].

Взгляд на биоэнергетику в мире на сегодняшний день неоднозначно. Несмотря на то, что с одной стороны увеличиваются рабочие места, в обороте будут неиспользуемые участки, увеличивается безопасность продуктов, но с другой стороны технология потребует потребление большого количества воды для добычи энергии и использование продуктов питания, либо занятие культурами больших участков посевных полей, что тоже наносит ущерб сельскохозяйственному производству. Таким образом, для успешного повсеместного внедрения биоэнергетики нужно найти способ не влияющий на окружающую среду и не воздействовать на производство продуктов питания.

### **Источники**

1. Матрунчик А.С. Потенциал использования биоэнергетики в на животноводческих фермах России // Вопросы современной науки практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2015. С 22-27.

2. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.В. Альтернативные энергоносители. М.: Наука, 2004.

3. Mendeleev D.I., Maryin G.E., Akhmetshin A.R. Improving the efficiency of combined-cycle plant by cooling incoming air using absorption refrigerating machine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 643. Article number 012099

4. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Ахметшин А. Р. Показатели режимных характеристик парогазового энергоблока ПГУ-110 МВт на частичных нагрузках // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 3(43). С. 47-56.

5. Mendeleev D. I., Galitskii Y.Y., Marin G.E., Akhmetshin A.R. Study of the work and efficiency improvement of combined-cycle gas turbine plants // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. Article number 05061.

6. Mendeleev D.I., Marin G.E., Akhmetshin A.R. The Implementation and Use of Gas Turbines with Absorption Refrigerating Machine in the Technological Schemes of Thermal Power Plants // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. articlenumber 8934431. DOI 10.1109/FarEastCon.2019.8934431.

7. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021.

8. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

Е.В. Репьев<sup>1</sup>, Е.Г. Степанова<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zhenya.repev@mail.ru, <sup>2</sup>lenochka2997@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

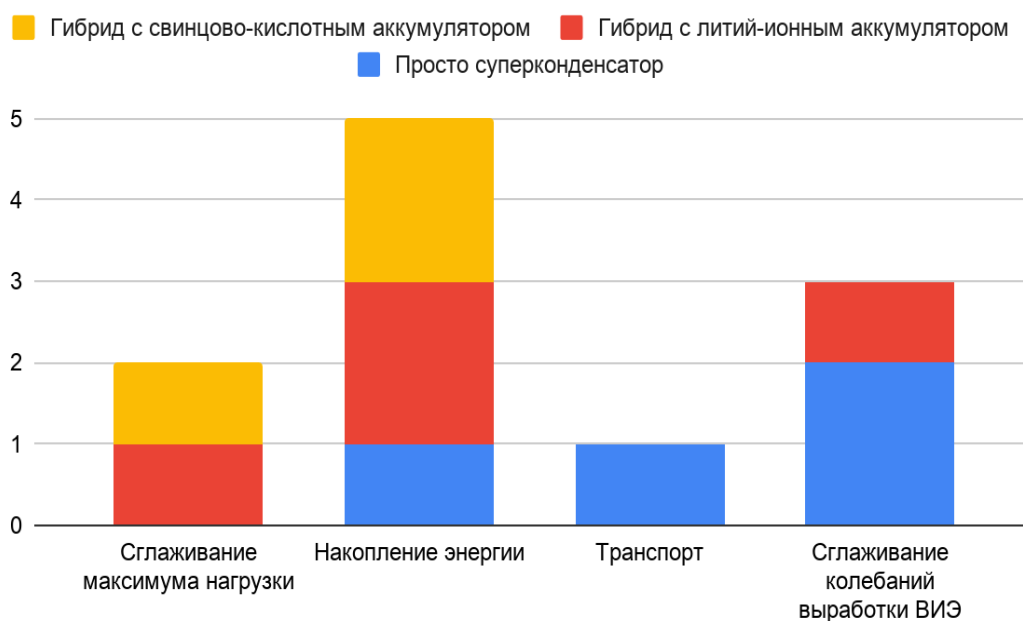
Авторами был проведен анализ базы данных проектов по хранению энергии за последние 10 лет национальной лаборатории Сандия Министерства энергетики США, выделены основные кейсы использования суперконденсаторов и рассмотрены перспективы применения технологии суперконденсаторов.

**Ключевые слова:** суперконденсатор, перспективы использования.

По версии американской консалтинговой компании Bloomberg New Energy Finance (BNEF) в течение следующего десятилетия прогнозируется стремительный рост числа и мощности накопителей энергии [1]. Аналитики BNEF считают, что в период с 2021 по 2030 гг. во всем мире будет добавлено 345 ГВт/999 ГВт·ч новых мощностей для хранения энергии. Происходящие мировые изменения эксперты называют «накопительной революцией».

Суперконденсаторы можно применять для решения большого числа задач из-за их специфических свойств. По своим параметрам и выполняемым функциям они занимают промежуточное положение между химическими аккумуляторами и обычными конденсаторами. В суперконденсаторе диэлектрика как такового нет. Вместо этого обе пластины пропитаны электролитом и разделены очень тонким изолятором. Когда пластины заряжены, противоположный заряд формируется с обеих сторон изолятора, создавая так называемый двойной электрический слой толщиной всего в одну молекулу.

Нами был проведен анализ базы проектов по хранению энергии за последние 10 лет национальной лаборатории Сандия Министерства энергетики США (DOE Global Energy Storage Database) [2]. В результате анализа удалось выявить 11 уникальных крупномасштабных проектов, в которых использовались суперконденсаторы. Все кейсы были проанализированы с точки зрения решаемых задач и с точки зрения применяемых технологий (см. рисунок).



Задачи, решаемые суперконденсаторами

Стоит отметить, что в большинстве проектов, технологию суперконденсаторов применяли в паре с классическими накопителями энергии. В частности, накопление энергии и сглаживание максимума нагрузок трудноосуществимы за счет только суперконденсаторов, поскольку они не обладают достаточной емкостью для решения таких задач.

С другой стороны, суперконденсаторы гораздо лучше, чем традиционные накопители энергии подходят в области транспорта (рекуперативное торможение поездов) и для задач сглаживания колебаний выработки ВИЭ.

Использование суперконденсаторов для задач сглаживания колебаний выработки ВИЭ целесообразно и обосновано, поскольку они накапливают энергию в электрическом поле. Этот механизм накопления электростатической энергии позволяет суперконденсаторам заряжаться и разряжаться всего за доли секунды, стабильно работать в широком диапазоне температур (от  $-40$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ ) и надежно работать до одного миллиона или более циклов заряда/разряда [3]. Отличным примером использования данной технологии является - суперконденсаторная система хранения энергии Maxwell, работающая в паре с концентрированной фотоэлектрической системой Soitec, расположенной в кампусе Калифорнийского университета в Сан-Диего. Система хранения энергии продемонстрировала существенную экономическую выгоду от сглаживания мощности фотоэлектрической системы.



## Источники

1. New Energy Outlook 2021. Executive Summary //Bloomberg NEF [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/> (дата обращения 08.03.2022).

2. DOE OE Global Energy Storage Database // Sandia National Laboratories [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database/> (дата обращения 08.03.2022).

3. Libich J., Máca J., Vondrák J., Čech O., Sedlaříková M. Supercapacitors: Properties and applications // Journal of Energy Storage. 2018. Т. 17. С. 224–227.

УДК 621.311

## ГИДРОЭНЕРГЕТИКА РОССИИ И ЕЕ ПОТЕНЦИАЛ

Р.Р. Саидгараева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ralina.yung@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

Данная статья посвящена гидроэнергетике России, в которой приведены преимущества и недостатки ГЭС. Также был проведен анализ, где определен гидроэнергетический потенциал РФ по округам.

**Ключевые слова:** гидроэнергетика, гидроэлектростанция, ГЭС, ГАЭС, ВИЭ.

На сегодняшний день тенденция развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ) носит особый характер. Гидроэнергетика не просто входит в состав так называемой зеленой энергии, но является наиболее перспективным ее источником, кроме того, она позволяет сохранять минеральные ресурсы.

Преимущества и недостатки ГЭС [1].

Преимущества: ВИЭ; дешевизна электроэнергии; отсутствие вредных выбросов; длительность эксплуатации; высокий КПД – 92–94 % (сравнивая ГЭС с АЭС и ТЭС, у которых около 33 %)

Недостатки: высокие затраты средств и времени (около 15–20 лет) на сооружение ГЭС; ущерб рыбному хозяйству; нарушение флоры и фауны затопленной территории, миграция животных.

Еще одной разновидностью гидроэнергетики является гидроаккумулирующие гидроэлектростанции (ГАЭС). Такое накопление энергии стало проверенной технологией, развивающейся исходя из потребностей меняющихся энергосистем. Оно также позволит смягчить непостоянство ВИЭ, что является необходимым для удовлетворения спроса на электроэнергию.

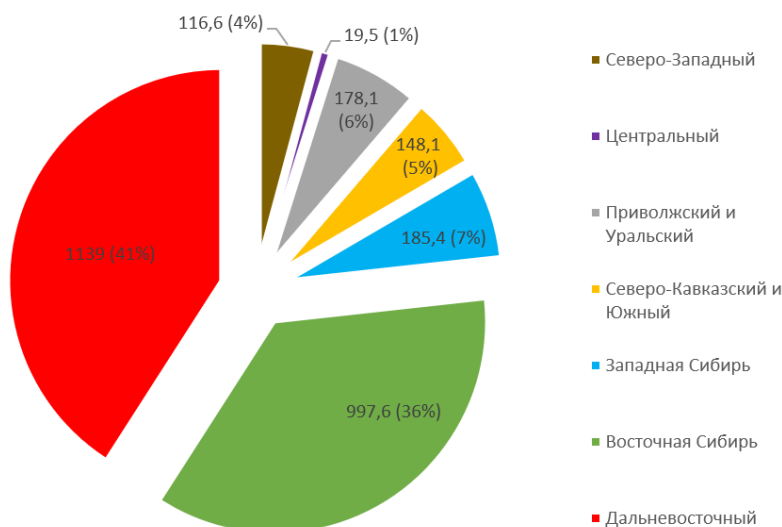
Россия не является лидером в области ВИЭ, однако по оценке Минэнерго РФ, в январе 2022 г. было задействовано 4,5 ГВт генерирующих объектов возобновляемых источников энергии, что включало в себя лишь солнечную и ветровую энергетику. 20,8 % установленных мощностей российской энергетики составляла «большая» гидрогенерация, где РФ считается одним из мировых лидеров [2].

Россия находится на втором месте по объёму водных ресурсов, располагая на своей территории около 9–12 % мировых запасов гидроэнергии. Ее гидроэнергетический потенциал составляет примерно 2,5 трлн кВт·ч, но из-за технических ограничений используются около 1,7 трлн кВт·ч электроэнергии.

Гидроэнергетика использует возобновляемые источники энергии, поэтому является наиболее перспективной, и, вероятно, она скоро станет основной. Гидроэнергетический потенциал РФ превышает 852 млрд кВт·ч/г [3]. В России действует около 200 ГЭС, в том числе малые и крупные ГЭС, а также ГАЭС и приливные электростанции (ПЭС). Такой регион России, как Сибирь имеет огромный потенциал для развития гидроэнергетики: воды рек Енисея, Лены и Ангары, и этим нельзя не воспользоваться. На этой территории расположены крупные ГЭС: Саяно-Шушенская, Красноярская, Братская, Усть-Илимская, Богучанская.

Теоретический валовый гидроэнергетический потенциал РФ составляет 2784,3 ТВт·ч выработанной электроэнергии в год. Потенциал рек России определен в 2394,4 ТВт·ч или 83 % из предыдущей величины. На этом основном фонде гидроресурсов основывается строительство ГЭС.

Гидроэнергетический потенциал по федеральным округам РФ (см. рисунок) и крупнейшие гидроэлектростанции России (см. таблицу) представлены ниже.



Теоретический гидропотенциал по федеральным округам России

Крупнейшие гидроэлектростанции России [4]

№	Название ГЭС	Установленная мощность, МВт	Регион, река
1	Саяно-Шушенская	6 400	Хакасия, р. Енисей
2	Красноярская	6 000	Красноярский край, р. Енисей
3	Братская	4 500	Иркутская область, р. Ангара
4	Усть-Илимская	3 840	Иркутская область, р. Ангара
5	Богучанская	2 997	Красноярский край, р. Ангара
6	Волжская	2671	Волгоградская область, р. Волга
7	Жигулёвская	2 488	Самарская область, р. Волга
8	Бурейская	2 010	Амурская область, р. Бурей
9	Саратовская	1 427	Саратовская область, р. Волга
10	Чебоксарская	1 370	Чувашия, р. Волга
11	Зейская	1 330	Амурская область, р. Зея
12	Нижнекамская	1 205	Татарстан, р. Кама
13	Загорская	1 200	Московская область, р. Кунья
14	Воткинская	1 065	Пермский край, р. Кама
15	Чиркейская	1 000	Дагестан, р. Сулак

В заключение в таблице указаны 15 крупнейших российских ГЭС с установленной мощности в МВт и местоположения.

## Источники

1. Баялиева Ж.А., Нурудинов У.К., Жамангапова А.К. Потенциал гидроэнергетики, ее сильные и слабые стороны // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2021. № 1(55). С. 122-127.

2. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/22356> (дата обращения 09.03.2022).

3. Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности // Сб. статей по итогам Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 140-142.

4. Единая межведомственная информационно-статистическая система [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions> (дата обращения 09.03.2022).

УДК 620.92

## БИОТОПЛИВО КАК ПРОДУКТ ГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

К.С. Сорокин<sup>1</sup>, В.В. Гаврилин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru, <sup>2</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.И. Минибаев

В статье рассмотрена актуальность применения биотоплива в малой энергетике для генерации тепловой и электрической энергии. Приведены преимущества, способы производства и разновидности биотоплив. Представлена сравнительная характеристика различных сортов твёрдого биотоплива в сопоставлении с углём.

**Ключевые слова:** биотопливо, пеллеты, энергетика, глобальная проблема, виды топлив, малая энергетика, природные ископаемые.

В современном мире наблюдается тенденция сокращения доли использования ископаемого топлива в производстве энергии и промышленности. Существуют различные направления решения данной проблемы, от использования возобновляемых источников энергии (солнечная, ветровая и гидроэнергетика) до альтернативной энергетики (водородная и атомная).

Из всего перечня решений можно отдельно выделить использования в энергетике переработки вторичного сырья, поскольку это позволяет решить целый ряд глобальных экологических проблем. Помимо борьбы с поставленной задачей сокращения использования природных энергоресурсов, также решаются вопрос загрязненности органическими отходами и повышается актуальность переработки и сортировки мусора.

На данном этапе органическое топливо постепенно внедряется в энергетику малых мощностей по всему миру. С ростом численности населения городов и в целом населения Земли, а также уровнем потребления пропорционально возрастает количество отходов жизнедеятельности человека. В связи с этим актуальность переработки, а в частности производство и использование биотоплива получает распространение [1].

Биотопливо можно получать различными способами. Основные виды, следующие: твёрдое, жидкое и газообразное. Твердое топливо представляет собой гранулы и брикеты стандартных размеров, получаемых путем сушки, измельчения и прессования. Два наиболее популярных вида жидкого биотоплива – это биоэтанол и биодизель. Первый получают путем ферментации различных сахаров и крахмалов, содержащихся в растительных отходах, а второй получают из масличных растений (масличная пальма или соя). Биогаз добывают методом брожения и разложения органических соединений, в основном получают метан с примесью углекислого газа [2].

Наибольшую актуальность из приведенного перечня получило твердое топливо, так как процесс его использования наиболее близок к классическому сжиганию угля, сланцев и других видов топлива. Работа котельных малой мощности, основанных на сжигании твердого биотоплива (ТБ), реализована в Германии для отопления частных секторов и отдельных домов, отрезанных от тепловой магистрали. По данным на 2015 г. генерация тепловой энергии на пеллетах составила 8,5 тысяч ГВт часов. Плюсы использования твердого биотоплива в сравнение с природными ископаемыми [3]:

- низкая зольность – 0,3–2 %;
- низкая влажность: пеллеты – 6–8 %, брикеты – 4–8 %;
- стандартизированный размер гранул, что позволяет эффективно автоматизировать подачу топлива и регулировку температуры;
- простой процесс подготовки;
- высокая теплотворность;
- простота технологического процесса производства.

Сравнительная характеристика теплотворной способности различных сортов ТБ представлена в таблице.

Теплотворность различного твердого биотоплива

Название	Низшая теплотворность, кВт/кг
Пеллеты из лузги подсолнечника	4,3–4,5
Пеллеты из соломы	4,2–4,6
Пеллеты древесные	4,7
Пеллеты из початков кукурузы	3,6
Пеллеты из свиного навоза	4,1
Каменный уголь	7,2–8,8

#### Источники

1. Костенко А. Рынок биотоплива в России и экологические требования к производству биотоплива // Устойчивое лесопользование. 2012. Т. 2. № 31. С. 38-41.

2. Рышков В.И., Иванов С.А., Писаревский А.Ю. Получение тепловой и электрической энергии из биотоплива // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: сб. тр. Межд. науч. конф. Красноярск. 2022. С. 112-115.

3. Михайличенко Т.А., Алшынбаев С.Д. Оценка возможности замены ископаемого топлива на пеллеты из древесных отходов (биотопливо) в условиях кемеровской области // Вестник сибирского государственного индустриального университета. 2019. Т. 3. № 29. С. 25-28.

## АВТОНОМНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

К.С. Сорокин<sup>1</sup>, В.В. Гаврилин<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kostya.sorokin.kostya.sorokin@mail.ru, <sup>2</sup>volodya.gavrilin.97@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. А.И. Минибаев

В данной статье приведен расчет потребления горячего водоснабжения и отопления жилыми помещениями. Произведен пересчет затрачиваемой тепловой энергии и ресурс биомассы для производства твердого биотоплива. Рассчитано количество поголовья крупнорогатого скота для получения необходимого объема навоза.

**Ключевые слова:** биотопливо, топливные брикет, потребляемая мощность, линия брикетирования, тепловая энергия, навоз.

В отдаленных или изолированных деревнях и поселениях, куда затруднено проведение городских коммуникаций, таких как горячее водоснабжение и газ. Для решения этой проблемы уже есть различные решения, например установка бойлеров и каминов в домах или установка котельных, как общих на несколько домов, так и частных.

Предложенное нами решение позволяет отказаться от традиционных источников топлива в пользу более экологически безопасных. Организация установки по переработке биомассы, получаемой на животноводческой ферме в брикетированное биотопливо, решает сразу несколько проблем:

- появление новых рабочих мест;
- снижение себестоимости тепловой энергии за счет снижения затрат на закупку угля или древесины;
- утилизация биологических отходов производств;
- снижение выбросов вредных веществ [1].

Для отопления стандартного трехкомнатного дома площадью 70 кв. м. и высотой 2,7 м с теплым чердаком, хорошим утеплением, пластиковыми окнами и температурой наружного воздуха около 30 градусов потребуется тепловая мощность порядка 15 кВт. Если брать в поселении около 40 домов, то общая мощность установки по обеспечению отопления должна иметь мощность 600 кВт.

Также тепловая мощность затрачивается на обеспечение горячего водоснабжения. Если взять средний размер семьи в 5 человек, то численность населенного пункта будет составлять 200 человек, с расходом воды 120 кг на человека в сутки, температурой горячей воды 60 °С, а обратной сетевой воды – 5 °С, то в холодный период общая мощность будет составлять примерно 77 кВт. В теплый период при температуре обратной сетевой воды мощность составит 62,85 кВт [2].

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение составит 623472 кВт·ч, а на отопление 2 448 384 кВт·ч. Общий расход тепловой энергии составит 3 071 856 кВт·ч. Прибавляем 25 % на потери при производстве, связанные с недожогом топлива и уходящими газами, затратами на собственные нужды и продувку. Также 15 % на потери при транспортировке. С учетом потерь необходимая производимая тепловая энергия равна 4 300 600 кВт·ч. Тогда количество биотоплива, необходимого для получения такого количества энергии равно 1 056 528,68 кг/год. С учетом влажности исходной биомассы около 60 %, а конечного топлива около 15 % получим переводной коэффициент, равный 0,47. Тогда количество затрачиваемого навоза в год равно 2 247 933,36 кг/год [3].

Теперь рассчитаем размер стада крупного рогатого скота, которое должно находиться на производстве для обеспечения потребностей в биомассе. Одна корова в среднем за сутки производит около 8–10 % навоза от массы тела, это около 45–50 кг. В год эта цифра составит 16425 кг. Отсюда находим численность стада 136,8, то есть 137 взрослых особей.

### **Источники**

1. Костенко А. Рынок биотоплива в России и экологические требования к производству биотоплива // Устойчивое лесопользование. 2012. Т. 2. № 31. С. 38-41.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015611330. Расчет потребления тепловой энергии: № 2014662533: заявл. 05.12.2014: опублик. 27.01.2015; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Теплосбыт автоматизация».

3. Попов И.Н. Использование твердого биотоплива из местных ресурсов в системах автономного энергообеспечения // Актуальные проблемы энергетики АПК: сб. тр. III Межд. науч.-практ. конф. Саратов. 2012. С 204-207.



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЧИСТОПОЛЬСКИХ СЕТЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Е.Г. Степанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lenochka2997@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

Введение новых единиц генерации может отрицательно повлиять на работу оборудования, не предназначенного для большей установленной мощности. Это может привести к перегрузке оборудования: линий электропередачи, трансформаторов и автотрансформаторов, а также к вынужденному простоем блоков, ввиду неспособности линий передавать установленную мощность станций, поэтому до начала строительства принято составлять модели схем выдачи мощности, просчитывая все возможные нормативные отключения, ремонты, двойные ремонты и нормативные отключения в двойных ремонтах. Позволяя просчитывать целесообразность установки генерации именно в рассматриваемом районе и способность сети передавать установленную мощность вновь вводимой генерации.

Автором были спроектированы два способа введения ветряной электростанции в существующую схему Чистопольских электрических сетей. Проведен сравнительный анализ их влияния на параметры электроэнергетического режима Республики Татарстан при различных вариантах ремонтов оборудования и выбрана наиболее успешная схема выдачи мощности ветряной электростанции.

**Ключевые слова:** ветряная электростанция (ВЭС); программный комплекс (ПК) «RastrWin3»; режим.

В программном комплексе «RasrtWin3» автором проведены расчёты для двух вариантов схем выдачи мощности ВЭС в Чистопольском районе Республики Татарстан [2]. Перечень рассмотренных вариантов предоставлен ниже:

1. Ввод ВЭС с подключением к ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220.
2. Ввод ВЭС с двухцепным заходом на СШ 110 кВ ПС Чистополь-220.

Результаты наиболее тяжелых режимов аварийных отключений в ремонтных схемах представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Режим летних максимальных нагрузок при температуре +19 °С [1]

Контролируемый элемент	Контролируемые параметры							Схемно-режимная ситуация
	ДДТ Н, А	АДТ Н, А	I, А	V нач, кВ	V кон, кВ	I/I <sub>дд</sub> тн, %	I/I <sub>ад</sub> тн, %	
ВЛ 110 кВ Каргали- Чистополь 220 4	533	600	704	120, 82	117, 26	132, 0	117, 33	АО ВЛ 110 кВ Каргали- Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отп.1Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали- Чистополь 220 (5)
АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь -220	316, 4	442, 2	472	228, 2	118, 9	149, 3	106, 7	АО АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отп.1Камская ВЭС 3.5

При аварийном отключении (АО) ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (3) и двойном ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отп.1Камская ВЭС 3.5 и ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (5) возникает перегрузка ВЛ 110 кВ Каргали-Чистополь 220 (4) в размере 704 А, что составляет 117,33% от величины АДТН (600 А).

При аварийном отключении АТ-1(2) ПС 220 кВ Чистополь-220 при ремонте ВЛ 220 кВ Нижнекамская- отп.1Камская ВЭС 3.5 возникает перегрузка АТ-2(1) ПС 220 кВ Чистополь-220 в размере 472 А, что составляет 106,7 % от величины АДТН (442,2 А).

Обе перегрузки решаются превентивным уменьшением мощности, выдаваемой ВЭС, на 24 и 14 МВт, соответственно.

Таблица 2

Режим зимних максимальных нагрузок при температуре +5°С [2]

Контролируемый элемент	Контролируемые параметры							Схемно-режимная ситуация
	ДДТ Н, А	АДТ Н, А	I, А	V нач, кВ	V кон, кВ	I/I <sub>дд</sub> тн, %	I/I <sub>ад</sub> тн, %	
ВЛ 110 кВ Зайнск-Акташ 2	600	600	726	116, 26	116, 25	121	121	АО ВЛ 220 кВ Зайнск-Узловая 1 при ремонте ВЛ 110 кВ Зайнск-Акташ 1
ВЛ 110 кВ Северозападная- Акташ 2	600	600	637	116, 25	117, 51	106, 2	106, 2	

Предложено несколько решений.

Решение 1. Для устранения перегрузки на ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 2 и ВЛ 110 кВ Северозападная-Акташ 2 использовалась 2 ступень автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО), а именно: отключение с запретом автоматического повторного включения (АПВ) выключателя ВЛ 110 кВ Узловая-Северозападная 1,2 (ОВ-110 кВ) со стороны ПС 220 кВ Узловая.

Результат 2. Устранена перегрузка на ВЛ 110 кВ Северозападная-Акташ 2, однако на ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 2 сохраняется перегрузка в размере 679 А, что составляет 113,13% от величины АДТН=600 А. Следовательно, вторая ступень АОПО недостаточна, необходимо использовать третью ступень АОПО.

Решение 2. Для устранения перегрузки на ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 2 используется 3 ступень АОПО, а именно: отключение с запретом АПВ выключателя 110 кВ ВЛ Заинск-Акташ 1,2 (ОВ-110 кВ) со стороны Заинской ГРЭС.

Однако режим, возникающий при второй схеме выдачи мощности (СВМ), наблюдается и без подключения ВЭС. Получается ВЭС не влияет отрицательно на режим работы Чистопольских сетей при вводе с двухцепным заходом на СШ 110 кВ ПС Чистополь-220.

Стоит отметить, что при первой схеме выдачи мощности «Ввод ВЭС с подключением к ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220» возможно изменение режима работы трансформаторов ВЭС и увеличение токов короткого замыкания на трансформаторах в связи с заземлением нейтрали трансформаторов, подключенных к ВЭС.

Отсюда получаем вывод о нежелательности подключения ВЭС к ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220.

### **Источники**

1. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология».

2. Программный комплекс «RasrtWin3» Руководство пользователя [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rastrwin.na4u.ru/download/Files/RastrWin3\\_2020\\_10\\_05.pdf](https://rastrwin.na4u.ru/download/Files/RastrWin3_2020_10_05.pdf).

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

Р.Е. Стукало<sup>1</sup>, Р.А. Шарифуллина<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>segrrgrehgre@mail.ru, <sup>2</sup>ruzik-shar@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В работе проведен анализ влияния температуры на работоспособность и организм человека в целом, выявлены оптимальные условия для повышения работоспособности.

**Ключевые слова:** работоспособность человека, мыслительная активность, комфортные условия, температура.

Всю свою жизнь человек проводит, постоянно потребляя энергию. Только некоторую ее часть человек использует при рабочем процессе, а оставшуюся часть тратит на теплообмен с окружающей средой.

Микроклимат значительно влияет на самочувствие, здоровье и работоспособность. Самые лучшие и подходящие условия, когда теплота, выделяемое человеком, равна теплоте, отводимому от человека, иными словами при наличии теплового равновесия. Подобные условия являются комфортными, а параметры микроклимата называются оптимальными.

Стоит отметить, что восприятие температуры индивидуально. Если для одних людей комфортные условия – это теплые помещения, то для других холодное рабочее место может быть более предпочтительным. Это зависит от особенностей человека.

Если температура отклоняется от комфортных значений, то, как следствие, тепловой баланс может нарушиться. К примеру, когда температура воздуха понижается, разница температур между телом и окружающей средой начинает увеличиваться, что повышает теплоотдачу организма. Нарушение теплового баланса приводит к переохлаждению человека, что влияет на функциональную деятельность органов не лучшим образом: снижается скорость биохимических процессов, концентрация внимания, замедляется мыслительный процесс и, в итоге, уменьшается эффективность труда[1].

При долгом нахождении в условиях высокой температуры, может случиться перегревание выше нормы – гипертермия – состояние, при котором температура тела достигает 38 °С или даже больше [2]. За таким состоянием может последовать тепловой удар, при этом присутствуют головная боль, общая слабость, головокружение и прочие неприятные симптомы. Помимо фактической температуры на человека оказывает значительное влияние еще и ее межсуточная изменчивость. Если среднесуточная температура изменяется на 1–2 °С, она считается слабой, если на 3–4 °С, то умеренной, если изменение превышает 4 °С – резкой [3].

Влажность окружающей среды играет не меньшую роль, в восприятии человеком температуры. По этой причине используется индекс жары, который учитывает фактическую температуру воздуха и влажность. В итоге получается приблизительное значение температуры, ощущаемое телом. Например, при температуре 24 °С, в зависимости от влажности, мы можем ощущать разницу температур от 18 °С при нулевой влажности до 27 °С при 100 % влажности [4].

Проводилось немало исследований касательно того, каким образом температура может действовать на работоспособность или концентрацию внимания. Вот одно из них.

Ученые пригласили для эксперимента 542 студента, 49 % от всего числа составляли юноши, а 41 %, соответственно – девушки. Их разделили на несколько групп, каждая из которых выполняла ряд задач в разных помещениях с температурой, варьировавшейся от 16 до 32 °С.

В тестах оба пола оказались наравне при температуре 22 °С. С увеличением температуры девушки стали справляться лучше, а парни – наоборот. По итогам эксперимента оказалось, что при решении математических задач наиболее оптимальной температурой для юношей оказалось 16 °С, а для девушек – 32 °С.

Известен еще и гарвардский эксперимент, в котором также принимали участие студенты. Результат был очевидным: с повышением температуры и влажности, студенты справлялись с заданиями гораздо хуже [5].

Существует зафиксированная санитарными нормами температура в помещениях. В России – это от 22 до 25 °С, в зависимости от времени года. Это условие для людей с низкой физической активностью, для людей со средней и высокой активностью будут иные комфортные условия.

Чтобы закрепить полученные данные о влиянии температуры на работоспособность, мы решили устроить свой эксперимент, в котором люди при различной температуре должны пройти задания на внимательность. Количество заданий неограниченное, на выходе выводится число правильно решенных задач за определенное время. Результаты исследования (см. таблицу).

## Результаты исследования

Пол	№ участника	Результат при температуре:		
		16 °С	23 °С	30 °С
мужской	1.	32	32	28
	2.	36	30	34
	3.	47	34	41
Среднее		38,33	32	34,33
женский	4.	33	33	35
	5.	41	32	46
	6.	33	34	38
Среднее		35,67	33	39,67

Исследование показало, что мужчины достигают наилучшего результата при более низких температурах, а женщины – при высоких. Это только подтверждает ранее приведенные теоретические сведения и результаты экспериментов о разном влиянии климатических параметров на работоспособность в зависимости от пола человека. Подведем итог, что разные температурные условия оказывают разное воздействие на производительность труда, в зависимости от половой принадлежности.

### Источники

1. Интернет–издание «vc.ru» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vc.ru/u/775411-asadbek-mi/228431-vliyanie-mikroklimata-na-zdorove-cheloveka> (дата обращения 12.03.2022).

2. Интернет–издание «multiurok» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://multiurok.ru/files/referat-mikroklimat-vliianie-na-zdorove-i-rabotosp.html> (дата обращения 12.03.2022).

3. Научный журнал «Успехи современного естествознания» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=32693> (дата обращения 12.03.2022).

4. Васильев А.В., Одноров Е.П. Влияние микроклимата на производительность труда рабочих в РМЦ // Молодой ученый. 2016. № 1 (105). С. 138-141.

5. Газета «Газета.Ru» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.gazeta.ru/science/2018/07/16\\_a\\_11846977.shtml](https://www.gazeta.ru/science/2018/07/16_a_11846977.shtml) (дата обращения 12.03.2022).

## УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД В ЭНЕРГЕТИКЕ

А.Р. Фасыхов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

fara.388@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

Одним из главных факторов, негативно влияющих на окружающую среду, является повышение концентрации в атмосфере парниковых газов, причиной которому является глобальная индустриализация. Главная составляющая антропогенного углеродного следа – электрические станции, сжигающие органическое топливо.

**Ключевые слова:** источники энергии, парниковые газы, парниковый эффект, углеродный след.

На сегодняшний день человечество столкнулось с проблемой повышения среднегодовой температуры поверхности Земли, причиной которому является рост концентрации в тропосфере парниковых газов: углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ), оксида азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и др. Количество углекислого газа присутствующего в атмосфере может достичь критической ситуации, что в свою очередь пагубно повлияет на окружающую среду. Известно, что увеличение количества  $\text{CO}_2$  в 2 раза в атмосфере увеличит среднюю температуру Земли на 1,5-2 °С [1,2].

Парниковая активность газов выражается через коэффициент «потенциал глобального потепления» (ПГП), определяющий степень воздействия различных парниковых газов на глобальное потепление исходя из способности его молекул задерживать солнечную радиацию. Эффект от выброса оценивается за определенный промежуток времени. В качестве эталонного газа принят диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), с наименьшей парниковой активностью, чей ПГП равен 1. ПГП метана ( $\text{CH}_4$ ) составляет - 25, закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) – 298.

По прогнозам Мирового энергетического агентства (МЭА) структура генерации в мировой энергетике к 2050 году должна качественно измениться. Выработка электроэнергии на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) должна составить 76 %, на ГЭС – 12 %, на АЭС – 8 %, на ТЭС – 2 %. При перспективном прогнозе потребление угля должно сократиться на 98 %, газа – на 88 % и нефти – на 75 % [3].

На данный момент, по данным Министерства природы Российской Федерации более 20 % выбросов парниковых газов в год осуществляются электростанциями – это лидирующая доля показателя углеродного следа.

Основная составляющая всех антропогенных выбросов парниковых газов – выбросы диоксида углерода электрическими станциями при сжигании органического топлива. Для примера сравнение потребления энергоресурсов по видам топлива в АО «Татэнерго» в 2019 и в 2020 гг. приведены в таблице 1.

Таблица 1

Потребление энергоресурсов по видам топлива в АО «Татэнерго» [4]

Вид топлива	2019 г.	Выбросы CO <sub>2</sub> , т в 2019 г.	2020 г.	Выбросы CO <sub>2</sub> , т в 2020 г.
Природный газ, тыс. туг	5 463,589	11762324, 555	4 047,249	8713147,000
Мазут, тыс. туг	11,861	26548,087	79,338	177579,639
Уголь, тыс. туг	0,264	191,652	0,216	156,806

Расчет выбросов CO<sub>2</sub> для каждого вида топлива для отдельных источников (установок для сжигания) производится по формуле:

$$E = M \cdot K_1 \cdot \text{ТНЗ} \cdot K_2 \cdot 44 / 12 ,$$

где  $E$  – годовой выброс CO<sub>2</sub> в весовых единицах (тонн/год),  $M$  – фактическое потребление топлива за год (тонн/год),  $K_1$  – коэффициент окисления углерода в топливе (показывает долю сгоревшего углерода), ТНЗ – теплотворное нетто-значение (Дж/тонн),  $K_2$  – коэффициент выбросов углерода (тонн/Дж), 44/12 – коэффициент пересчета углерода в углекислый газ (молекулярные веса соответственно: углерод – 12 г/моль, O<sub>2</sub> = 2 · 16 = 32 г/моль, CO<sub>2</sub> = 44 г/моль).

Оценка выбросов CH<sub>4</sub> (общее количество выбросов из промышленных сточных вод):

$$\text{CH}_4 = \sum_i (\text{TOW}_i - S_i) \cdot (\text{EF}_i - R_i) ,$$

где выбросы CH<sub>4</sub> – выбросы CH<sub>4</sub> от очистки промышленных сточных вод, кг CH<sub>4</sub>/год,  $\text{TOW}_i$  – общее количество органически разложимого материала в промышленных сточных водах  $i$ , кг ХПК/год,  $i$  – тип сточных вод в зависимости от сектора промышленности и соответствующая ему система очистки,  $S_i$  – количество органического компонента удаленного как отстой кг ХПК/год,  $R_i$  – количество рекуперированного CH<sub>4</sub>, кг CH<sub>4</sub>/год.



Динамика образования и утилизации отходов в АО «Татэнерго»  
в период 2018–2020 гг. [4]

Год исследования	Образовано тыс. тонн	Утилизировано и обезврежено	Передано на захоронение
2018	35,85	33,78	1,72
2019	42,20	40,40	0,95
2020	33,45	32,45	1,18

По результатам расчета углеродного следа, возникает вопрос об использовании взаимозаменяемых источников энергии. Одним из перспективных вариантов является использование возобновляемых источников энергии.

Расчет показал при выработке электроэнергии на ветровых электростанциях (ВЭС) углеродный след снизится более чем на 98 % по сравнению с угольными электростанциями, а также на 90 % чем генерация природного газа.

Полноценного и качественного получения определенного количества углеродного следа, показатели которого близки к нулю, от установок «чистых» источников энергии конечно невозможно. В связи с тем, что на производство установок тоже необходимо потратить ресурсы. В свою очередь, это влечет использование материалов на производственных предприятиях со своим углеродным следом. Например, при производстве ветрогенераторной установки углеродный след составит:

- 30 % – от углеродного следа на производство самой башни;
- 17 % – подготовка бетонного основания;
- 12 % – производство лопастей из углеродного волокна и стекловолокна.

Но имеется и преимущество, углеродный след амортизируется при дальнейшей работе [5].

Посчитано, что ветроустановки при производстве электроэнергии в среднем «выбрасывают» в атмосферу около 11 гр·СО<sub>2</sub>/кВт·ч. В то же время как углеродный след от солнечной энергетики составляет 44 гр·СО<sub>2</sub>/кВт·ч, при сжигании природного газа 450 гр·СО<sub>2</sub>/кВт·ч, при сжигании угля 1000 гр·СО<sub>2</sub>/кВт·ч.

В настоящее время углеродный след от энергетической отрасли занимает ключевую позицию, что ставит за собой задачи перевода энергетики на ВИЭ, а также повышения эффективности таких станций.

### Источники

1. Орлов М.П., Пиксендеев К.В., Ровнов Ю.Е. [и др.]. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России: экспертный доклад; под ред. А.Ю. Иванова, Н.Д. Дурманова. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 120 с.
2. Плетнев М.А., Копысов А.Н. Социально-экономические проблемы развития водородной энергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 36-45.
3. Кривошапка И. Российская энергетика имеет низкий углеродный след // Энергетика и промышленность России: газета. 13.10.2021.
4. Татэнерго. Результаты природоохранной деятельности 2018-2020.
5. Насколько экологичны ветро- и солнечная энергетика на самом деле [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://greenstartpoint.ru/naskolko-ekologichny-vetro-i-solnechnaya-energetika-na-samom-dele/>.

УДК 621.3

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

Ю.В. Филипушкова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[filipushkova.yulya@mail.ru](mailto:filipushkova.yulya@mail.ru)

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. Е.Г. Шешуков

В связи с нынешними тенденциями быстрого роста потребления энергии, возобновляемые источники энергии стали потенциальным решением для производства энергии. Данная статья посвящена анализу целесообразности содействия использованию солнечной и ветровой энергии для производства энергии.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, энергия ветра, возобновляемые источники энергии, солнечная панель, ветряная турбина.

Самым значимым событием в области возобновляемых источников энергии за последнее десятилетие стало последовательное увеличение процентной доли в энергобалансе за счет солнечной и ветровой энергии. Несмотря на турбулентный период, после начала пандемии, оба возобновляемых источника энергии сохранили устойчивость в условиях наступления COVID-19 и экономических неурядиц.

Более того, неотложные проблемы, связанные с изменением климата и здоровьем планеты, способствовали быстрому внедрению инноваций и снижению стоимости возобновляемых источников энергии, обратив многих домовладельцев, арендаторов и предпринимателей к более экологичным альтернативным источникам энергии. Солнечная и ветровая генерация имеют решающее значение для декарбонизации нашей энергосистемы.

Солнечная энергия – самая распространенная система возобновляемой энергии в жилых домах, но является ли она более эффективной, чем энергия ветра? Самая эффективная солнечная панель на рынке способна преобразовать 20 % энергии, получаемой от солнца. С другой стороны, ветряные турбины могут преобразовывать от 60 до 90 % энергии, получаемой от ветра [1]. Таким образом, с технической точки зрения, энергия ветра является передовой по эффективности, когда речь идет о природной, чистой энергии. Но лучше ли ветер, чем солнечная энергия в целом? У энергии ветра есть свои преимущества, поскольку она не зависит от дневного света или солнца для выработки энергии, поэтому она может производить электричество круглосуточно. Фактически, одна ветряная турбина может произвести такое же количество электроэнергии в киловатт-часах по сравнению с тысячами солнечных панелей.

Конечно, ни один источник энергии не обходится без недостатков. В отличие от солнечной энергии, ветряные турбины не подходят для густонаселенных районов, поэтому они чаще всего встречаются в сельской местности по всему миру.

Преимущество солнечных панелей в том, что их можно установить практически на любой крыше или на земле, что делает их более реальным решением для городов, желающих использовать более экологичные альтернативные источники энергии.

Сравнение стоимости солнечной и ветровой энергии не так просто, как может показаться, поскольку в него входит множество компонентов, стоимость установки, выход энергии, налоговые льготы, техническое обслуживание и т.д. Рассматривая этот фактор с точки зрения выхода энергии:

10 кВт фотоэлектрическая солнечная система будет производить в среднем 14 165 кВт·ч в год. Средняя стоимость системы такого размера составляет около \$24 900, до налоговых льгот [3].

Ветряная турбина мощностью 10 кВт может генерировать в среднем 14 016 кВт·ч в год. Стоимость небольших ветряных турбин для жилых домов может достигать 75 000 долларов до вычета налогов [2].

В отличие от ветряных турбин, солнечные панели не имеют движущихся частей, которые могут вызвать повышенный износ, что приведет к увеличению эксплуатационных расходов после первоначальных инвестиций.

Если сравнивать солнечные и ветряные электростанции, то, исходя из приведенных выше цифр, солнечная энергия является более дешевым способом производства электроэнергии для жилых домов. Кроме того, ее гораздо проще установить. Но это вовсе не означает, что мы полностью исключаем ветроэнергетику: ветроэнергетика по-прежнему остается эффективной технологией.

В заключение следует отметить, что, несмотря на более высокую эффективность ветра в производстве электроэнергии, солнечная энергия является более выгодным выбором. Важно отметить, что для экономически оправданного выбора установок необходимо базироваться на фактических электрических нагрузках [4, 5].

#### **Источники**

1. Ahmad T., Zhang D. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Rep.* 2020. No 6. P. 1973–1991.

2. Chel A., Kaushik G. Renewable energy for sustainable agriculture // *Agron. Sustain. Dev.* 2011. No 31. P. 91–118.

3. International Renewable Energy Agency (Irena). *Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics*; International Renewable Energy Agency (Irena): Masdar City, Abu Dhabi, 2016.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. [и др.] Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // *Электричество.* 2021. № 6. С. 62-71. DOI 10.24160/0013-5380-2021-6-62-71.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. [и др.] Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // *Вопросы электротехнологии.* 2021. № 2(31). С. 57-67.

## ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ В РОССИИ

М.А. Шакиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

shakirov.ma@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

В данной работе посвящена водородной энергетике, изучены различные виды водорода и методы его получения, рассмотрены основные инициативы по развитию водородной энергетике в России.

**Ключевые слова:** водород, водородная энергетика, энергоноситель.

В настоящее время остро встал вопрос об антропогенном влиянии человека на окружающую среду. Этом факт стал одним из наиболее значимых факторов изменения в экономике и энергетике. Перед правительствами всех стран мира встала задача замедления процесса глобального изменения климата, для борьбы с которым необходимо развитие технологий с низким уровнем выделения парниковых газов. Для достижения этих целей, в качестве одного из перспективных направлений, рассматривается, в том числе, и водородная энергетика [1].

Водород – это вторичный энергоноситель, то есть сам по себе он не является источником энергии, так как для его производства необходимо затратить энергию. Он является одним из самых распространённых веществ в природе и источников его добычи так же существует множество. На сегодняшний день чаще всего для получения водорода используется пиролиз метана, в меньших масштабах – электролиз, на его долю приходится всего около 2 % мирового производства [2].

Водородное топливо, исходя из количества выделяемого углекислого газа, делят на несколько видов: «зелёный», получаемый с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), «серый», добыча которого происходит методом конверсии ископаемых углеводородов, и «голубой», добывается также, как и «серый» водород, но в этом случае выделившийся углекислый газ собирают и захороняют [4].

Сегодня наиболее экономически эффективными способами получения низко-углеродного водорода является его производство методом паровой конверсии метана с обеспечением улавливания углекислого газа и методом электролиза воды с использованием электроэнергии, выработанной на атомной электростанции или гидроэлектростанции. А наиболее экологичный способ получения водорода методом электролиза с использованием ВИЭ гораздо дороже водорода, произведённого способами на базе органического сырья [3]. В качестве основных факторов обеспечения конкурентоспособности «зелёного» водорода в будущем рассматривается снижение капитальных затрат на электролизеры, а также стоимости электроэнергии, вырабатываемой за счёт ВИЭ.

К основным преимуществам водородной энергетики относятся распространённость водорода, отсутствие выбросов парниковых газов, загрязняющих и отравляющих веществ при его использовании, более высокий термический КПД, избыток электроэнергии из ВИЭ можно аккумулировать в виде водорода [3].

Рассмотрим недостатки водородной энергетики. Одной из них, как уже было указано выше, является высокая стоимость «зелёного» водорода по сравнению с традиционными энергоносителями [2]. Проблемы также сохраняется с хранением и транспортировкой. Так как водород самый лёгкий из известных химических элементов, в заданном объёме его помещается меньшее количество, чем других видов топлива. Транспортировка водорода возможна в трубопроводах, что значительно дешевле чем транспортировка электроэнергии. Также перевозка возможна в сжиженном или сжатом виде и в виде сорбентов и гидридов, широко изучаемых в последнее время [5].

Водород можно использовать не только как энергоноситель для хранения и транспортировки энергии, но как топливо для сухопутного, морского и воздушного транспорта и как топливо для энергоёмкого производства в промышленности.

Водород стал важнейшей составляющей углеродно-нейтральной политики многих стран, в том числе и России [1]. Были приняты дорожно-транспортные карты и различные меры для декарбонизации экономики. Наличие высокого энергетического потенциала, природных ресурсов для производства наиболее дешёвого «зелёного» водорода и значительного опыта в производстве водорода, научно-технической базы позволяет России занимать лидирующие позиции в изучении водородной энергетике и в перспективе стать крупным производителем и экспортёром водорода.

Для развития в Российской Федерации (РФ) данного направления предусматривается создание как минимум 3 производственных кластеров, ориентированных развитие транспортной инфраструктуры в сфере энергетики, снижение углеродного следа в продукции производственных предприятий. Также рассмотрена внедрение в различные сектора экономики РФ промышленной продукции водородной энергетики [2].

### **Источники**

1. Мастепанов А.М. Водородная энергетика России: состояние и перспективы // ЭП. 2020. №12 (154).
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 05.08.2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsex1.pdf> (дата обращения 12.03.2022).
3. Борзенко В.И. Водородная энергетика - состояние и перспективы // Окружающая среда и энерговедение. 2020. № 3(7). С. 13-22.
4. Арутюнов В.С., Стрекова Л.Н. Потенциал водородной энергетики и возможные следствия ее реализации // НефтеГазоХимия. 2021. №1-2.
5. Доленко Г.Н. Перспективы водородной энергетики // Проблемы современной науки и образования. 2020. № 4-1(149). С. 21-23.

УДК 620.92

## **РАЗВИТИЕ МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

М.А. Шакиров  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
shakirov.ma@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

В данной работе рассмотрено текущее состояние возобновляемых источников энергии и инновационные технологии в этой сфере, определены случаи их использования.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники электроэнергии, ВИЭ, альтернативные источники энергии.

В жизни современного человека окружает большое количество бытовых приборов, облегчающих его жизнь, офисной техники, позволяющих работать не выходя из дома. Поэтому всё большую роль играет электричество в жизни человека, без которого, кажется, что жизнь замедляет свой ход. Для комфортной жизни человека необходимо стабильные и надёжные поставки электричества. За последние 20 лет его потребление сильно возросло, как и потребление ископаемых источников электроэнергии, что отражается на экологии, состоянии окружающей среды из-за выбросов парниковых газов [1]. Изменение климата может повлечь глобальные природные катастрофы. Этот вопрос заставил человечество обратить своё внимание на возобновляемые источники электроэнергии (ВИЭ). Другим немаловажным фактором в развитии энергетических станций на базе ВИЭ являлась необходимость обеспечения энергетической безопасности стран.

Ещё недавно ВИЭ не могли сравниться со станциями, работающими на органическом топливе, но из-за необходимости снижения углеродного следа, создаваемого человеком от сжигания угля, нефти, газа для получения электроэнергии, появилась необходимость развития альтернативных источников энергии.

Еще десять лет назад энергия, получаемая на солнечных(СЭС)и ветряных (ВЭС) электростанциях была слишком дорогая и эффективность у таких станций на много ниже, чем у тепловых станций. Но сегодня нормированная стоимость электроэнергии, генерируемой на СЭС и ВЭС, благодаря развитию и распространению новых технологий, снизилась на 67 и 86 %, соответственно, и составляет 30–60 долларов США за 1 МВт·ч. А стоимость энергии на станциях на базе ископаемого топлива практически не изменилась и составляет 42–78 долларов США за 1 МВт·ч. Снижение стоимости производства компонентов фотоэлектрических панелей и ветрогенераторов также повлияло на стоимость электроэнергии [2].

Основная проблема, мешающая широкому внедрению альтернативных источников электроэнергии – это нестабильность выработки, которая преодолевается установкой накопителей. Увеличивающаяся доступность аккумуляторных батарей способствует росту надёжности и эффективности ВИЭ, снижая нестабильность выработки электроэнергии и снижая нагрузку на энергосети. Использование накопителей является более выгодным, так как они позволяют облегчить задачу управления энергией, распределяя потребление электроэнергии на период минимальной нагрузки на сеть, когда стоимость энергии ниже [1].



Крупные СЭС и ВЭС с системами накопления электроэнергии стремительно приближаются к паритету цен и производительности с традиционными технологиями. Так, например, в Чили, Мексике, ОАЭ, Перусолнечная энергия и ветер уже представляют собой один из самых дешевых доступных источников электроэнергии. В мировом масштабе наиболее низкие цены наблюдаются в Австралии, а наиболее высокие в Африке из-за высоких инвестиционных затрат. Благодаря низким затратам на обслуживание и эксплуатацию оборудования по истечении срока окупаемости капитальных затрат себестоимость электроэнергии оказывается невысокой [2].

Объекты генерации на ВИЭ могут быть успешно интегрированы в энергосистемы, что по статистике снижает долю незапланированных отключений электроэнергии из всех отключений, в то время как на предприятиях генерации на традиционных источниках большая часть отключений приходится на незапланированные. При этом для ВИЭ длительность отключения и срок восстановления ниже, чем для других видов установок [2].

Существует проблема доставки электроэнергии на удалённых территориях, где нет доступа к централизованному электроснабжению и надёжным и недорогим источникам электроэнергии и находящихся в суровых погодных условиях. В таком случае выгоднее использовать альтернативные источники для компенсации перебоев в работе и снижения затрат на закупку и доставку ресурсов, применяемых в автономных генераторах [3]. СЭС и ВЭУ помогают балансировать нагрузку на энергосеть при перепадах мощности на генерирующих объектах, использующие ископаемые источники [4].

Сегодня в мире происходит активное развитие адаптивных интеллектуальных систем и сетей распределённого энергосбережения промышленных и бытовых объектов. Цифровизация систем контроля энергетической инфраструктуры, опирающаяся на облачные вычисления и работу с большими данными, нацелена на снижение стоимости электроэнергии путём внедрения инновационных систем автоматизации, искусственного интеллекта, которые помогают оптимизировать производство электроэнергии и эксплуатацию объектов генерации на ВИЭ. Также возможно использование технологий, способствующих более эффективному использованию ВИЭ и усовершенствованных материалов производство ветровых турбин и солнечных панелей, повышающих выработку электроэнергии [5].

## Источники

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/global-renewable-energy-trends.pdf> (дата обращения 25.02.2022).

2. Перспективы глобального перехода к возобновляемой энергетике [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916\\_GSR\\_2019\\_Perspectives\\_Russian.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916_GSR_2019_Perspectives_Russian.pdf) (дата обращения 25.02.2022).

3. Солоницын А.Г., Беккер А.Т. Развитие направления «Локальная энергетика с максимальным использованием ВИЭ для удалённых территорий» // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2019. № 12(216). С. 90-93.

4. Телегин В. В. Баланс мощности в системе электроснабжения потребителей с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. № 1. С. 141-144.

5. Проскурякова Л.Н., Ермоленко Г.В. Возобновляемая энергетика 2030: глобальные вызовы и долгосрочные тенденции инновационного развития. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 96 с.

УДК 534.833.532:534.7

## ВЛИЯНИЕ ШУМА НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Э.Р. Шарифуллин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

morgan.a1z@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В работе проведено исследование влияния шума на скорость реакции человека. Исследование было проведено на трех студентах, был использован метод таблиц Шульте. Результаты исследования показали, что при увеличении уровня шума с 10 до 130 дБ время реакции увеличивается в среднем на 13,3 %.

**Ключевые слова:** шум, неблагоприятный звук, источник шума, защита от шума, скорость реакции, таблицы Шульте.

Шум по определению – любой негативно влияющий на человека звук. Принято, что шум по своей природе представляет собой сочетание звуков различной частоты и интенсивности. С физического аспекта звук представляет собой механические колебания упругой среды.

Шум на производстве крайне отрицательно воздействует на человеческий организм: увеличивает растраты энергии при одной и той же трудовой деятельности, заметно снижает внимание рабочих, повышает количество сбоев в ходе производства, нарушает реакцию, вследствие этих факторов производительность труда понижается. В таких условиях работники сталкиваются с такими трудностями как несвоевременная реакция на предупредительные сигналы внутрицехового транспорта (автопогрузчики, мостовые краны и т. п.), что провоцирует возникновение несчастных случаев на производстве [1, 2].

Шум вызывает изменения в циркуляции крови и усиливает пульс, нарушает обмен веществ, вызывает болезни сердца, то есть, оказывает огромное влияние на физическое состояние и самочувствие работника.

Именно с таким противником приходится каждый день бороться рабочему человеку. Например, работа газокompрессорной станции по уровню громкости варьируется от 100 до 110 дБ, работа в цеху металлургического завода или кузнечном цеху – около 80–100 дБ. Эти значения превышают главные санитарные нормы уровня шума на рабочих местах [3], что, безусловно, при длительной работе будет неблагоприятно воздействовать на человека.

Для того чтобы исследовать влияние шума на организм человека, был проведён эксперимент, определяющий уровень концентрации внимания при различных уровнях шума на таблицах Шульте. Эти таблицы представляют собой набор натуральных чисел от 1 до 25, расположенных в клетках в случайном порядке (рис. 1). Тестируемый должен найти, назвать и показать их в порядке возрастания как можно быстрее, не оставляя никаких пометок на листе. Результат – время, за которое были названы все 25 чисел. Ниже продемонстрированы пять таких таблиц для проведения исследования.

Результаты теста, проведённого по таблицам Шульте, приведены в таблице и на рис. 2.

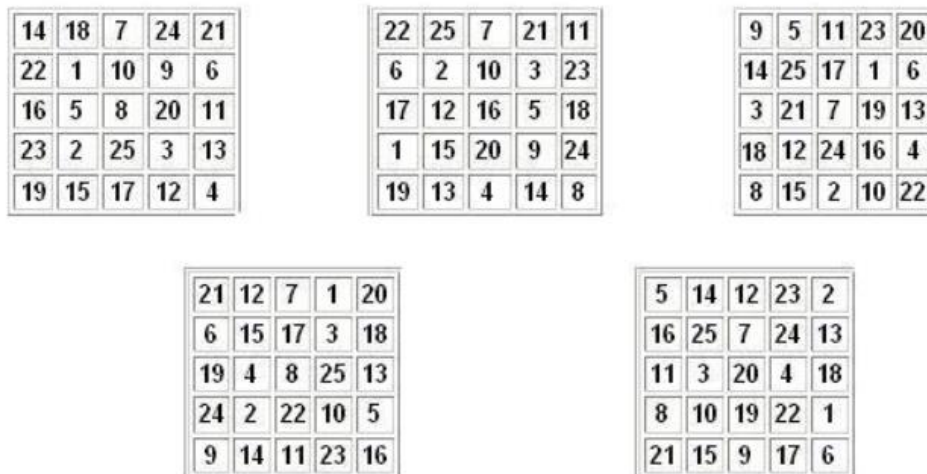


Рис. 1. Таблицы Шульте

Влияние уровня шума на скорость реакции человека

Уровень шума, дБ	1 студент	2 студент	3 студент
10–20	33,88	35,51	33,68
40	35,36	36,17	34,02
60	37,49	36,02	34,75
80–90	38,25	37,23	35,93
110	38,74	39,13	36,15
130	40,02	38,97	37,78

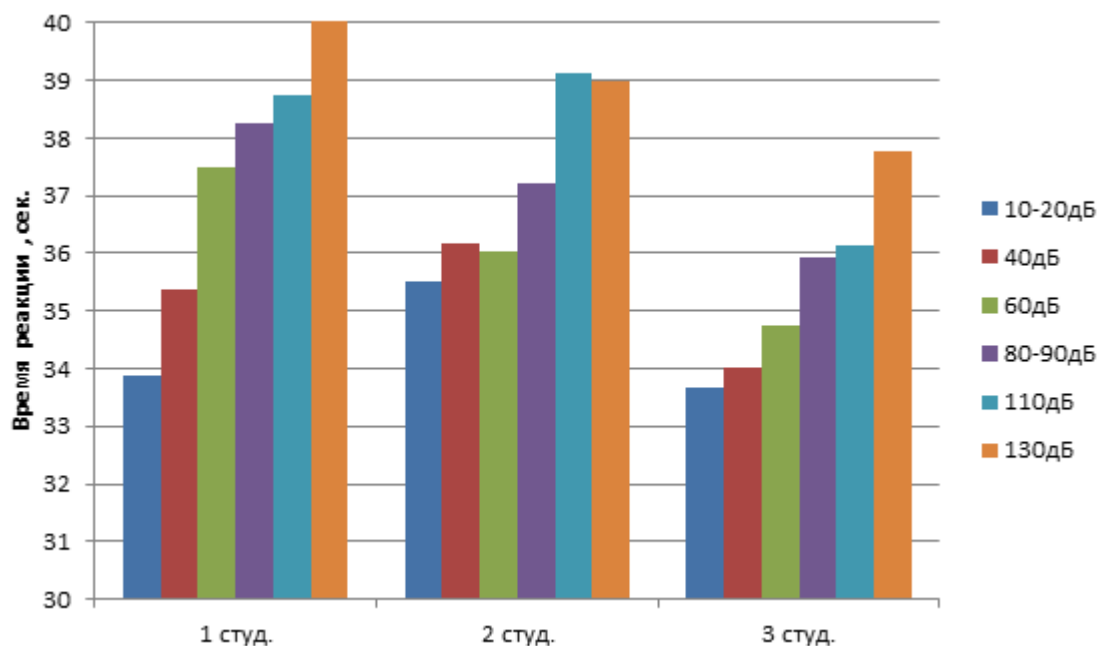


Рис. 2. Исследование влияния уровня шума на скорость реакции человека по таблицам Шульте

Как можно видеть из таблицы и рис. 2, с увеличением уровня шума скорость реакции человека падает. Сравнивая значения времени при 10-20 дБ и 130 дБ у первого студента, время реакции увеличилось примерно на 18,1 %, у второго – на 9,7 %, у третьего – на 12,2 %.

### **Источники**

1. Тупов Б.В. Разработка методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газовоздушными трактами тягодутьевых машин ТЭС: дисс. ... канд. техн. наук: 05.14.14. М., 2015. 110 с.

2. Капанский А.А. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергетической эффективности // Вестник КГЭУ. 2019. №2(42). С. 103-115.

3. СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

УДК 620.95

## **ПРИМЕНЕНИЕ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ФЕРМЕРСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ «АЗНАКАЙ»**

А.Ю. Эйтерник

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

adeleyternik@yandex.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье рассмотрено использование на фермерских предприятиях биогазовых установок для генерации электроэнергии, а также для сокращения выбрасываемых биологических отходов.

**Ключевые слова:** фермерские предприятия, переработка, биогазовая установка, биотопливо, биореактор.

В настоящее время пагубное воздействие на экосистему оказывает сельскохозяйственное производство. Предприятия практически не оснащены очистными сооружениями для переработки или утилизации сырья. В большинстве случаев используются биотермические ямы, в которые сбрасываются отходы. Позже содержимое этих ям используется на полях без какой-либо обработки.

В мире разработано около 20 различных технологий по переработке или утилизации сырья, одной из которых является биогазовая установка [1]. Биомасса может быть переработана в минеральное органическое удобрение или в качестве топлива для выработки электрической или тепловой энергии.

Биогазовая установка состоит из: емкости накопителя; миксеров, разделяющих крупные фракции сырья на мелкие; газгольдера, используемого в качестве накопителя вырабатываемого биогаза; метантенка, в котором протекает анаэробный процесс разложения биомассы под воздействием метаногенных бактерий при определенной температуре сбраживания [2].

Существует четыре вида конструкций биогазовой установки:

1. Простейшие, работающие в «естественном» режиме. Без подвода теплоты и перемешивания.
2. Без подвода теплоты, но с перемешиванием сырья.
3. С подводом теплоты, но без перемешивания сбраживаемого сырья.
4. С предварительной подготовкой сырья для сбраживания, подводом теплоты, перемешиванием, контролем и управлением анаэробным процессом [3].

В своих расчетах я использовала последний тип биогазовой установки с электрическим приводом перемешивания и с поддержанием температуры внутри биореактора.

Рассмотрим поголовье крупнорогатого скота фирмы ООО «Агрофирма Азнакай», которое ориентировочно составляет около 2000 голов.

Суточный выход биомассы  $m_{\text{БМ}}$  для сбраживания в метантенке определяем по формуле:

$$m_{\text{БМ}} = \sum N_{\text{Ж}j} \cdot m_{\text{УД}j}, \text{ кг/сут},$$

где  $N_{\text{Ж}j}$  – количество животных  $j$ -го вида, гол;  $m_{\text{УД}j}$  – суточный выход биомасс от  $j$ -го животного, кг/гол [4].

$$m_{\text{БМ}} = 2200 \cdot 35 = 77000 \text{ кг/сут}.$$

Определяем долю сухого органического вещества  $m_{\text{СОВ}}$ :

$$m_{\text{СОВ}} = m_{\text{СВ}} \cdot \rho_{\text{СОВ}}, \text{ кг/сут},$$

где  $\rho_{\text{СОВ}}$  – доля органического вещества в сухом веществе,  $m_{\text{СВ}} = 7700$  кг/сут.

$$m_{\text{СОВ}} = 77000 \cdot 0,8 = 61600 \text{ кг/сут}$$

Выход биогаза  $V_{\text{ПОЛ}}$  при полном разложении сухого органического вещества составит:

$$V_{\text{ПОЛ}} = m_{\text{СОВ}} \cdot n_{\text{ЭК}} \text{ м}^3,$$

где  $n_{\text{ЭК}}$  – выход биогаза из одного кг сов, для коровника  $n_{\text{ЭК}} = 0,415 \text{ кг/м}^3$

$$V_{\text{ПОЛ}} = 61600 \cdot 0,415 = 25564 \text{ м}^3.$$

Выбрав продолжительность метанового брожения, вычисляем объем полученного биогаза  $V_{\text{Б}}$ :

$$V_B = V_{\text{ПОЛ}} \cdot \frac{n_t}{100}, \text{ м}^3,$$

где  $n_t$  – доля выхода биогаза при данной продолжительности брожения,  $n_t = 50 \%$ .

$$V_B = 25564 \cdot \frac{50}{100} = 12782 \text{ м}^3.$$

Выработка биогаза в месяц равняется:

$$V_{\text{БГМ}} = 30 \cdot V_B = 30 \cdot 12782 = 38346 \text{ м}^3.$$

Объем метантенка:

$$V_{\text{МТ}} = (0,7 \dots 0,9) \cdot m_{\text{БМ}} \cdot \frac{t_{\text{БМ}}}{\rho_{\text{БМ}}}, \text{ м}^3,$$

где  $\rho_{\text{БМ}}$  – плотность сбраживаемой биомассы,  $\text{кг/м}^3$ ,  $t_{\text{БМ}}$  – режим сбраживания,  $t_{\text{БМ}} = 18 \%$  [5].

$$V_{\text{МТ}} = 0,8 \cdot 77000 \cdot \frac{18}{1020} = 1087 \text{ м}^3.$$

Для получения 1 кВт/ч электроэнергии требуется 0,7–0,8  $\text{м}^2$  биогаза. Два помещения, рассчитанных на 2200 голов КРС, потребляют 2855,2 кВт/ч. БГУ-300 из 1278,2  $\text{м}^3$  биогаза вырабатывает с учетом потребления установки 4391 кВт/ч.

Таким образом, по расчетам, для данного количества КРС, необходим метантенк объемом 1087  $\text{м}^3$ . Так как подобные установки можно транспортировать и усовершенствовать, то следует установить несколько метантенков в двух зданиях, тем самым уменьшив расстояние для транспортировки сырья и сохранив при этом его изначальную температуру.

### Источники

1. Эфендиев А.М., Кожевников А.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии // Саратов. 2015. С. 230.
2. Рашитова И.Р., Вохмин В.С. Биоэнергодомплекс для утилизации органических отходов с получением электрической и тепловой энергии // Российский электронный научный журнал. 2020. № 2(36). С. 121-129.
3. Баландин Д.А., Пыткин А.Н., Тарасов Н.М., Комплексное применение биотехнологий в достижении устойчивого развития сельских территорий региона. Екатеринбург: Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, 2014. С. 166.

4. Саввина Н.А., Шабанов И.Е., Чернецкая А.А. Расчет биогазовой установки по суточному объему сырья // Матер. студ. науч. конф. за 2015 год. Воронеж. 2015. С. 548.

5. Тиллоев Л.И., Давронов Ф.Ф. Методика расчета биогазовой установки для переработки биомассы // Вопросы науки и образования. 2017. № 2. С. 60-61.

УДК 662.641

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФА В МИРОВОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ БАЛАНСЕ**

А.А. Эминов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kfu.kazan@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.С. Дремичева

В связи с целью решения экономических проблем и перехода на «зеленую» энергетику все более актуальным становится поиск доступных возобновляемых экологических топливных источников. Это обуславливает возвращение интереса к торфу как к топливу. Цель работы заключается в определении перспектив торфа в биоэнергетике.

**Ключевые слова:** торфяные ресурсы, анализ, биоэнергетика.

Установленные в 2015 г. Генеральной ассамблеей ООН цели устойчивого развития нацелены на улучшение благосостояния и защиту нашей планеты. Всего принято 17 целей устойчивого развития, и цель №7 касается энергетики, а именно обеспечения всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех.

Энергия играет ключевую роль в достижении продовольственной безопасности и улучшении питания. Современные продовольственные системы в значительной мере зависят от ископаемых видов топлива, потребляя около 30 % доступной для использования энергии.

Чтобы увеличить производство продовольствия, потребляя меньше энергии, продовольственные и сельскохозяйственные системы должны постепенно избавляться от зависимости от ископаемого топлива и переходить на источники возобновляемой энергии, которые позволяют снизить воздействие на изменение климата, тем самым помогая обеспечивать продовольственную безопасность [1].

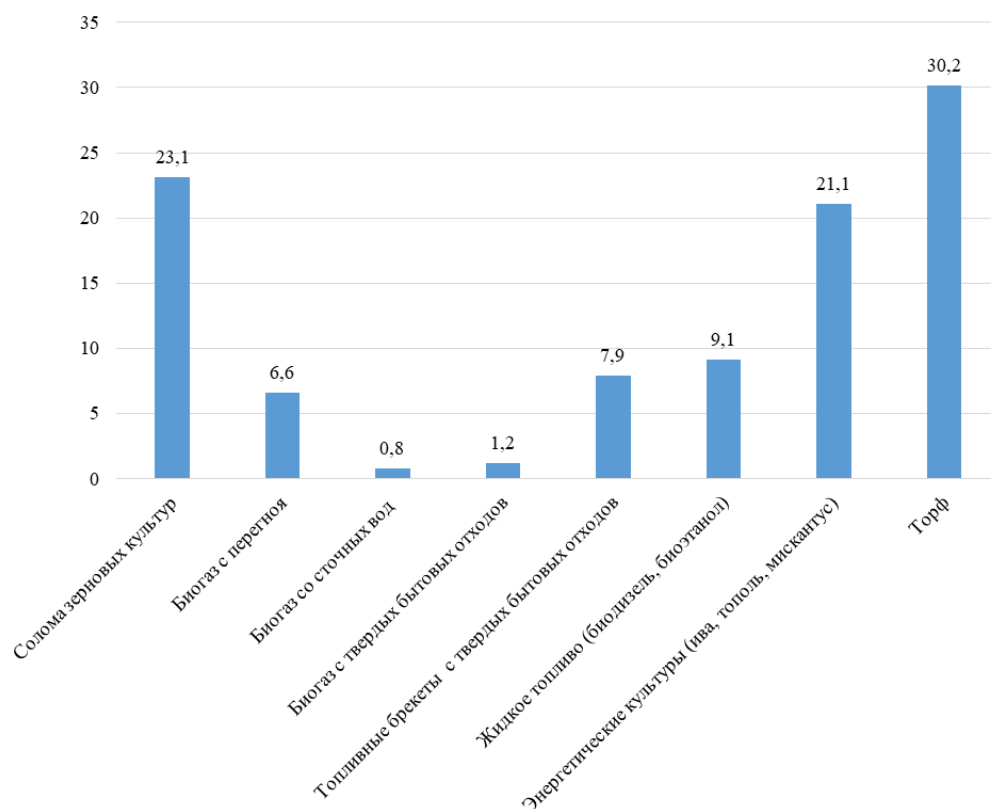


Биоэнергетика – это отрасль альтернативной энергетики, основанная на использовании биотоплива, производимого из биомассы. В свою очередь, биомасса восстанавливается в виде вещества органического происхождения, включающее отходы сельского, лесного хозяйства и т.д.

Биоэнергетика (получение энергии из биомассы) является одним из приоритетных направлений производства энергии из возобновляемых источников в мире. Например, в Европейском Союзе энергия биомассы составляет почти 70 % от всей энергии из возобновляемых источников. Из биомассы и отходов в ЕС производится около 15 % потребленной тепловой энергии, почти 4 % потребленной электроэнергии и более 4 % моторных топлив уже сегодня. Официальные планы ЕС – удвоить эти показатели к 2025 г. [2].

Мною проведена оценка потенциала биомассы для наращивания энергетических мощностей (см. рисунок) [3]. Из данного анализа следует, что в общем потенциале биомассы для наращивания энергетического потенциала наибольший удельный вес занимают солома зерновых культур (23,1 %), и энергетические культуры (ива, тополь, мискантус) – 21,1 %; а наименьший удельный вес – биогаз из сточных вод (0,8 %).

Рассмотрим более подробно торф как перспективное топливо. Торф – это возобновляемый энергетический ресурс. Его запасы постоянно пополняются в связи с тем, что торфяные месторождения представляют собой естественные биологические системы [4].



Оценка потенциала биомассы для наращивания биоэнергетических мощностей в Российской Федерации

Россия относится к странам с высоким уровнем накопления торфа (более 35 % запасов торфа находится в недрах РФ). Основными источниками торфа выступают недра Западно-Сибирского экономического района (около 103,9 млрд т), Северо-Западного экономического района (около 19,8 млрд т), Уральского округа (около 9,1 млрд тонн), также значительные запасы расположены в Дальневосточном и Центральном (приблизительно 5,2 млрд тонн) экономических районах [5].

Далее была проведена оценка количество полученной от сжигания торфа энергии:

$$Q = m \cdot q,$$

где  $Q$  – энергия топлива (кВт);  $m$  – масса топлива (кг);  $q$  – удельная теплота сгорания (кВт/кг).

Эквивалентное количество природного газа, необходимого для получения такого же количества теплоты сгорания:

$$\rho \cdot q = \frac{Q}{V},$$

где  $\rho$  – плотность топлива,  $V$  – объем топлива.

Для расчета экономии от сжигания торфа вместо сжигания природного газа использовалась формула:

$$C = P_{\text{пр.газ}} \cdot V,$$

где  $C$  – стоимость природного газа, необходимого для получения энергии;  $P_{\text{пр.газ}}$  – цена за 1 м<sup>3</sup> природного газа.

Условно возьмем торф влажностью от 20 до 65 % массой 1 т. Результаты расчета представлены в таблице.

Расчет экономия от сжигания торфа вместо природного газа

	Удельная теплота сгорания, $q$ , кВт/кг	Масса топлива, $m$ , кг	Количество полученной энергии, $Q$ , кВт	Эквивалентное количество природного газа, $V$ , м <sup>3</sup>	Экономия от сжигания торфа вместо природного газа, руб.
Торф с влажностью 20 %	4,198	1000	4198	531,06	3113,53
Торф с влажностью 40 %	2,98	1000	2980	376,97	2178,21
Торф с влажностью 65 %	1,44	1000	1440	182,16	995,71

Средняя цена торфа за 1 т равна 110 рублей.

Тарифы на природный (магистральный) газ в Казани и республике Татарстан с 1 января 2022 года 6,07 руб./м<sup>3</sup>.

Таким образом, пользуясь данной методикой можно оценить экономию предприятия от использования торфа производства в качестве топлива.

### **Источники**

1. Цель 7: Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех [Электронный ресурс]. Режим

доступа: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/>.

2. Распоряжение Правительства РФ от 01.06.2021 N 1447-р (ред. от 14.09.2021) «Об утверждении Плана мероприятий по реализации Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»

3. Технологическая Платформа «БИОЭНЕРГЕТИКА» Стратегическая Программа Исследований–2021. 2021. 227 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi\\_bioenergy\\_2021.pdf](http://tp-bioenergy.ru/upload/file/spi_bioenergy_2021.pdf).

4. Дремичева Е.С., Эминов А. Перспективы использования загрязненного нефтепродуктами торфа в энергетике // Вестник КГЭУ. 2021. Т. 13. № 2 (50). С. 133-141.

5. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года».

УДК 662.767.2

## **ПРИМЕНЕНИЕ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ НА ФЕРМЕРСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

К.Ю. Яникаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[ksuy.yanikaeva@mail.ru](mailto:ksuy.yanikaeva@mail.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье проведено энергетическое обследование, в результате которого получен расход теплоты крестьянско-фермерского хозяйства до модернизации, после выбрана биогазовая установка марки БГУ-3 для данного предприятия, определена экономическая выгода и период окупаемости.

**Ключевые слова:** крестьянско-фермерское хозяйство, биогазовая установка, альтернативный источник энергии.

Альтернативные источники энергии все увереннее входят в повседневную жизнь современного человека. Люди научились использовать в своих целях энергию солнца, ветра, воды, недр земли, а также другие, альтернативные традиционным источникам энергии, виды топлива. К таким, необычным источникам энергии, относится биогаз, который получают в специальных установках и используют для получения различных видов энергии, используемые человеком в повседневной жизни.

В работе рассмотрено крестьянско-фермерское хозяйство с исходными данными (табл. 1), находящееся в Республике Татарстан.

Таблица 1

План предприятия

№	Наименование	Площадь здания, $F$ , м <sup>2</sup>	Объём здания, $V$ , м <sup>3</sup>
1	Административное здание	120	360
2	Гараж	300	1500
3	Материальный склад	65	163
4	Производственные корпуса	1350	12150

Для него произведён расчёт тепловых нагрузок на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение [1, 3]. Результат полученных данных представлен в табл. 2.

Таблица 2

Полученные данные по теплоснабжению

№	Название	$V_n$ , м <sup>3</sup>	$q_0$ , Вт/м <sup>3</sup> °С	$q_v$ , Вт/м <sup>3</sup> °С	$Q_0$ , кВт	$Q_v$ , кВт	$Q_{г}$ , кВт	$\Sigma Q$ , кВт
1	Административный корпус	460,8	0,68	0,21	15,6	3,5	0,22	19,32
2	Гараж	1872	0,78	–	73	–	–	73
3	Материальный склад	210,6	0,95	–	10	–	–	10
4	Производственные корпуса	14904	0,335	0,78	249,6	418,5	16,9	685
$\Sigma$		17447,4	2,775	0,99	348,2	422	17,12	787,32

Расчётные тепловые нагрузки были конвертированы из Вт в Гкал/час, рассчитан годовой расход тепла, результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Данные по теплоснабжению

№	Наименование	Максимально часовая нагрузка, Гкал/час	Годовой расход тепла, Гкал/год
1	Отопление	0,299452	978,6
2	Вентиляция	0,36292	790
3	Горячее водоснабжение	0,0073616	60,2
Σ			1828,8

По постановлению от 14.12.2021 Государственного комитета по тарифам Республики Татарстан тариф на тепловую энергию в 2022 г. составляет 823,81 руб/Гкал [2].

За текущий год затраты предприятия на тепловую энергию составят 1506584 руб.

Внедрение биогазовой установки на животноводческой ферме позволит утилизировать и перерабатывать органические отходы, снизив затраты на теплоснабжение.

В качестве альтернативного источника энергии выбрана биогазовая установка марки БГУ-3. Эта установка состоит из бункера исходного сырья – 30 м<sup>3</sup>, ёмкости для хранения удобрений – 60 м<sup>3</sup>, реактора объёмом 25 м<sup>3</sup>, технологических едкостей, насосов т.д. Её стоимость составляет 914 000 рублей. Однако, как и для эксплуатации любой техники для биогазовой установки, также необходима замена основных агрегатов, и в том числе, чтобы полноценно использовать биогаз, необходимо будет приобрести дополнительное оборудование, которое представлено в табл. 4.

Таблица 4

## Перечень технологического оборудования

№	Виды расходов	Количество, шт.	Сумма, руб.
1	Метантенк	1	82450
2	Компрессор	1	5000
3	Расходный материал и монтажные работы	1	30000
4	Газгольдер	1	20000
Σ			137450

По расчётам экономическая выгода от внедрения данной биогазовой установки составит доход предприятию в виде 360 004,97 рублей, и с учётом показателей эта установка окупится в течение 3 лет.

### **Источники**

1. Строительные нормы и правила: СНиП II-34-76. Горячее водоснабжение.

2. О корректировке на 2022 год долгосрочных тарифов на тепловую энергию, поставляемую Акционерным обществом «ТГК-16» теплосетевым организациям, приобретающим тепловую энергию с целью компенсации потерь тепловой энергии, на 2019-2023 годы, установленных постановлением Постановление Государственного комитета Республики Татарстан по тарифам от 19.12.2018 №5-92/тэ: Постановление Государственного комитета Республики Татарстан по тарифам от 14.12.2021.

3. Строительные нормы и правила: СНиП 2.01.-82. Строительная климатология и геофизика.

УДК 614.841

## **ГОТОВНОСТЬ К ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ СИТУАЦИЯМ КАК АСПЕКТ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

К.Ю. Яникаева

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ksuy.yanikaeva@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Л.Р. Гайнуллина

В статье рассмотрено поведение человека в экстремальных ситуациях, рассмотрены формы проявления воздействия ситуации на человека, проведено психологическое тестирование для определения типа поведенческой активности.

**Ключевые слова:** безопасность жизнедеятельности, готовность к экстремальным ситуациям, опросник Дженкинса.

Экстремальная ситуация и, как следствие, психические травмы, стихийные бедствия, катастрофы, аварии уже давно вошли в нашу жизнь и стали её неотъемлемой частью.

На протяжении всей истории человек пытается противостоять сложным испытаниям путём совершенствования личности с опорой на нравственные ценности, общественные отношения и т.п.

Многие опасные ситуации, способные привести к непоправимым последствиям, завершались благополучно. И этот благополучный исход в таких ситуациях достигается за счёт готовности человека к преодолению трудностей, в том числе и таких, которые требуют от человека мобилизации, т.е. использование всех имеющихся у человека возможностей. Такие ситуации принято называть экстремальными.

Известно, что поведение человека в экстремальной ситуации достаточно вариативно. Оно зависит от целого ряда факторов, таких как умственные и физические способности, ценности и взгляды, социальные установки, восприятие.

Необходимо сформировать в человеке готовность к экстремальным ситуациям.

Выделяют три формы проявления воздействия напряжённой ситуации на человека: резкое понижение организованности поведения, торможение действий и движений, повышение эффективности деятельности [1].

Для понимания сущности готовности важно учитывать значение установок личности. Установка — предопределённая готовность личности вести себя определённым образом.

Чрезвычайно ответственные и опасные условия могут вызывать психические состояния, способные понизить или даже дезорганизовать готовность. Поэтому важно учитывать природу таких состояний как стресс, психическая напряжённость.

Устойчивость к ним, сохранение эффективности деятельности в напряжённой ситуации определяется высоким уровнем профессионального мастерства, готовности к активным действиям и др. Именно поэтому очень важно уделять должное внимание морально-психологической подготовке к выполнению задач и умелому руководству, чтобы предупредить появление крайних форм стресса, помочь в преодолении трудностей.

Возможность противостоять трудностям состоит из: физиологической готовности; психологической устойчивости; психологической готовности.

Также важным условием готовности человека к опасным ситуациям является способность к моментальному реагированию. Неспособность к экстремальным действиям имеет следствием неадекватные реакции, которые нередко приводят к авариям и катастрофам.

Не менее важным является наличие систематизированной информации о видах техники, технических приспособлениях для предупреждения и преодоления экстремальных ситуаций, о законах их функционирования, выбора, использования, обслуживания с учётом условий жизнедеятельности. Важно не только усвоение знаний о технике безопасности при различных видах работ, но и овладение системой знаний о рациональном использовании техники для цели безопасности жизнедеятельности, что также является готовностью к экстремальным ситуациям.

Очевидно, что необходимо формирование чёткой системы готовности на базе интеграции всех её факторов и условий, которая бы изучалась, как самостоятельная дисциплина или как её раздел.

Известно, что существуют две основные формы социального поведения в экстремальных ситуациях: выраженная социальная активность (тип А) и выраженная социальная пассивность (тип Б). В рамках психологии человека опрос активности Дженкинса является одним из наиболее широко используемых методов оценки поведения типа А. Опрос активности Дженкинса — это психометрический опрос поведения и отношения, предназначенный для выявления лиц, проявляющих признаки поведения типа А. Тест проводится с множественным выбором [2].

Было проведено психологическое тестирование для определения типа поведенческой активности с помощью опросника Д. Дженкинса. В нём приняли участие 10 человек в возрасте 18–23 лет. Поведение типа А оказалось характерно для 1 человека (10 % общей выборки), к типу АБ были отнесены 9 человек (90 % общей выборки), поведение типа Б никому из респондентов не был присущ. Таким образом, результаты анкетирования показали, что в исследуемой выборке преобладает поведение типа АБ.

### **Источники**

1. Дьяченко М.И., Кандыбович Л.Д. Готовность к деятельности в напряжённой ситуации: Психологический аспект. Минск: Университетская, 1985.
2. Реан А.А. Психология личности. СПб.: Питер, 2016. 13 с.



## Секция 10. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, ПОДСТАНЦИЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

УДК 621.315

### ВЫБОР СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

В.Р. Акмалтдинова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[vakmaldinova99@mail.ru](mailto:vakmaldinova99@mail.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Балобанов

В работе рассмотрены аспекты применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, его достоинства и недостатки, а также методы мониторинга силовых кабельных линий.

**Ключевые слова:** кабельные линии, диагностические задачи, оптические линии, емкостные токи утечки.

Одной из основных составных частей современных электроэнергетических систем являются линии электропередачи. Для построения надежной системы электроснабжения все чаще используют кабельные линии (КЛ) взамен воздушным.

Маслонаполненные кабели (МНК) раньше использовались для прокладки силовых кабелей, но в последнее время широкое распространение получили однофазные силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) [1].

МНК представляют собой силовые кабели, у которых бумажная изоляция пропитана минеральным маслом под давлением. МНК в России и странах СНГ используются для электроснабжения городов, для производства электроэнергии от ТЭС и ГЭС, а также для передачи электроэнергии по труднопроходимой местности (горные районы, акватории и т.д.) [1]. При использовании кабелей с изоляцией из СПЭ основным преимуществом является более высокая надежность кабельной линии. Но также кабели из СПЭ в диаметре меньше, по сравнению с МНК, поэтому они прокладываются большими длинами. Таким образом, уменьшается количество подключений, и повышается надежность.

С целью результативной и безаварийной работы КЛ преимущественно используются пять методов диагностики:

1. Распределенный температурный мониторинг кабельных линий.
2. Контроль наличия дефектов изоляции наконечника и соединительных гильз частичными разрядами.
3. Метод диагностики по наличию дефектов в изоляции кабеля.
4. Определение вида и степени развития неисправности кабельной линии.
5. Наиболее точное определение места дефекта в кабельной линии [2].

Реализация данных диагностических методов возможна только при совместном использовании трех дополняющих друг друга методов, способов контроля состояния КЛ под рабочим напряжением [3].

1. Диагностика технического состояния КЛ на базе постоянного измерения продольного профиля температуры КЛ при помощи встроенных оптических линий;

2. Оперативный контроль и наблюдение за техническим состоянием КЛ, который основан на измерении ЧР в изоляции муфт и кабеля;

3. Метод емкостных токов утечки в экранах КЛ.

Данные методы контроля состояния КЛ под рабочим напряжением имеют свои сильные стороны, но также и недостатки. Направлены для решения различных диагностических задач.

### **Источники**

1. Макиенко Г.П., Попов Л.В. Маслонаполненные кабели 110 кВ. М.: Энергия, 1979.

2. Беляков В.В., Малышев А.В. Мониторинг силовых кабельных линий с адаптацией к условиям окружающей среды в режиме реального времени // Электро. 2008. № 5. С. 38–40.

3. Лебедев Г.М. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий 6-10 кВ в системах электроснабжения на основе неразрушающей диагностики: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.09.03. М., 2007.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВСЕРЕЖИМНОГО МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В КАЧЕСТВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Б. Аскарлов<sup>1</sup>, С.А. Литвинов<sup>2</sup>, С.В. Воронин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО НИ «ТПУ», г. Томск,

<sup>2,3</sup>ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Новый Уренгой

<sup>1</sup>aba7@tpu.ru, <sup>2</sup>litvinovsa95@mail.ru, <sup>3</sup>student\_voronin@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. М.В. Андреев

В работе предлагается использовать в качестве инструментальной базы для разработки цифрового двойника современных электроэнергетических систем, включающих в себя возобновляемые источники энергии и промышленные системы накопления электрической энергии, Всережимный моделирующий комплекс реального времени, основанный на гибридном подходе к моделированию объектов электроэнергетики. Описана концепция построения цифрового двойника совместно с централизованной иерархической системой автоматического управления современными энергосистемами.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, возобновляемые источники энергии, накопители энергии, гибридное моделирование, цифровой двойник.

В настоящее время во всем мире, в том числе в Российской Федерации, принят вектор развития энергетического сектора, предполагающий широкомасштабную интеграцию в современные электроэнергетические системы (ЭЭС) безуглеродных источников генерации, преимущественно за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые зачастую устанавливаются совместно с накопителями энергии (НЭ) [1]. Параллельно с этим для повышения управляемости электрических сетей активно внедряются устройства компенсации и различные системы на постоянном токе, основанные на силовой электронике. Общим для обозначенных новых устройств является отсутствие прямого подключения к электрической сети в сравнении с традиционным оборудованием и использование для этого силовых полупроводниковых преобразователей. Внедрение подобных устройств существенно изменяет динамические свойства энергообъединений ввиду значительно отличающейся динамики их функционирования [2], особенно их систем управления.

Для решения возникающих проблем обеспечения надежности современных ЭЭС, особенно их устойчивости, необходима достаточно полная и адекватная информация о различных условно статичных установившихся режимах, а также динамических переходных процессах, которые возникают при возможных возмущениях в электрической сети [3]. Причем существующие традиционные подходы и средства моделирования не позволяют комплексно решить данные проблемы [4], что требует разработки и применения новых альтернативных подходов к моделированию реальных ЭЭС, подразумевающих формирование их цифрового двойника, который осуществляет бездекомпозиционное воспроизведение единого и непрерывного спектра процессов в ЭЭС с учетом ее сложной топологии и большого масштаба.

В рамках решения обозначенной проблемы в Томском политехническом университете (ТПУ) предложена концепция разработки цифрового двойника современных ЭЭС, в которые активно внедряются ВИЭ совместно с НЭ, включая водородные, на базе уникального программно-аппаратного средства моделирования ЭЭС – Всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС) [4]. Данный комплекс основан на гибридном подходе к математическому моделированию ЭЭС, который заключается в совместном использовании преимуществ аналогового, цифрового и физического моделирования, и разработан научным коллективом лаборатории «Моделирование электроэнергетических систем» Инженерной школы энергетики ТПУ. При этом применение цифрового двойника на основе ВМК РВ ЭЭС предлагается в совокупности с новой централизованной и иерархической системой управления различными ВИЭ и НЭ в составе реальной ЭЭС (см. рисунок).



Обобщенная структура подхода к управлению ЭЭС с ВИЭ и накопителями

Комплекс ВМК РВ ЭЭС позволяет воспроизводить модель ЭЭС любой структуры и теоретически неограниченной размерности, которая способна адекватно учитывать все значимые аспекты поставленной задачи, в частности, сложную топологию системообразующих и распределительных сетей, различные типы и объем новых устройств, внедряемых в ЭЭС, и др. Также уникальные свойства и возможности ВМК РВ ЭЭС делают возможным непрерывное решение совокупной математической модели ЭЭС реальной размерности в режиме реального времени с гарантированной точностью за счет использования методически точного аналогового решения дифференциальных уравнений. Таким образом моделирующий комплекс «освобожден» от упрощений и ограничений, неизбежно присущих цифровым программно-вычислительным комплексам расчета режимов и процессов в ЭЭС.

Кроме этого, в ВМК РВ ЭЭС для успешной разработки стратегии управления современными и перспективными энергосистемами используются всережимные (единые для воспроизведения всего непрерывного спектра процессов и режимов в ЭЭС) математические модели всех элементов ЭЭС и соответствующие им программно-аппаратные средства всережимного математического моделирования.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание «Наука» № FSWW-2020-0017.

### **Источники**

1. Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Коротков И.Ю., Нестеренко Г.Б., Пранкевич Г.А. Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт // Энергетическая политика. 2020. № 6 (148). С. 76-87.

2. Фролов М.Ю., Фишов А.Г., Энхсайхан Э. Совместимость динамических характеристик традиционной и электронной генерации в электроэнергетических системах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 6 (149). С. 1175–1186.

3. Кощеев Л.А. О требованиях к надёжности по условиям устойчивости энергосистемы // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2018. № 2 (79). С. 45–53.

4. Аскарлов А.Б., Суворов А.А., Андреев М.В. Применение всережимного моделирующего комплекса для энергосистем с распределенной генерацией // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2019. Т. 23. № 1 (144). С. 75–89.

## РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНОГО РАЗРЯДА В КАБЕЛЕ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

А.А. Ахмадеев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aazat.97@mail.ru

Науч. рук. д-р физ.-мат. наук, проф. А.Е. Усачев

В статье рассмотрен расчет характеристик частичного разряда в кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена. Расчет проведен на основе моделирования кабельной линии с дефектом в виде каверны, наполненной воздухом.

**Ключевые слова:** частичный разряд, кабельная линия, дефект.

Основной характеристикой частичного разряда является величина кажущегося заряда – абсолютное значение такого заряда, мгновенное введение которого между электродами испытываемого объекта, установленного в испытательной схеме, могло бы дать такое же показание на измерительном приборе, как и сам импульс ЧР [1].

Кажущийся заряд зависит от броска напряжения, возникающего при пробое дефекта, и емкости изоляции кабеля. Для расчета емкости кабельной линии принимается формула расчета цилиндрического конденсатора, при длине участка кабельной линии равной 100 м.

$$C_{\text{изол}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2,3 \cdot 100}{\ln\left(\frac{24,74}{8,74}\right)} = 12300 \text{ пФ.}$$

Расчет приводится для кабельной линии с изоляцией из сшитого полиэтилена, с дефектом в виде каверны, наполненной воздухом. Размер дефекта составляет 1 мм, расстояние до токоведущей жилы 5 мм.

Бросок напряжения при пробое полости с воздухом можно определить, зная величину напряжения пробоя для данного размера дефекта и его положения в изоляции и величину, на которую изменилась емкость изоляции кабеля.

Общая емкость изоляции будет складываться из трех емкостей: емкости воздушного включения  $C_{\text{дефекта}}$ , емкости столбика изоляции  $C_{\text{д}}$ , включенного последовательно с емкостью  $C_{\text{дефекта}}$  и емкостью  $C_{\text{стбд}}$ , образуемой оставшейся частью диэлектрика, в которой предполагается отсутствие включений [2].

Для расчета емкости дефекта необходимо воспользоваться формулой сферического конденсатора:

$$C_{\text{дефекта}} = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 - R_1} = 4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot \frac{0,001 \cdot 0,005}{0,005 - 0,001} = 0,14 \text{ пФ.}$$

При расчете за  $R_1$  принимается радиус каверны, а за  $R_2$  – расстояние от каверны до токоведущей жилы.

Емкости  $C_{\text{д1}}$  и  $C_{\text{д2}}$  находятся по формуле для плоского конденсатора. Диэлектрическую проницаемость изоляции принимаем равной 2,3.

$$C_{\text{д1}} = \frac{2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-6}}{0,005} = 0,0041 \text{ пФ,}$$

$$C_{\text{д2}} = \frac{2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-6}}{14,995 \cdot 10^{-3}} = 0,0014 \text{ пФ.}$$

Общая емкость участка изоляции с дефектом определяется по:

$$C_{\text{ст}} = \frac{1}{\frac{1}{C_{\text{дефекта}}} + \frac{1}{C_{\text{ст1}}} + \frac{1}{C_{\text{ст2}}}} = 0,001 \text{ пФ.}$$

По такому же принципу была рассчитана емкость изоляции при закорачивания участка изоляции с дефектом. Расстояние между так называемыми обкладками конденсатора составит 14 мм.

$$C_{\text{стбд}} = \frac{2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-6}}{14 \cdot 10^{-3}} = 0,0015 \text{ пФ.}$$

Далее была определена разница емкостей изоляции при возникновении частичного разряда в воздушном дефекте.

$$\Delta C = C_{\text{стбд}} - C_{\text{ст}} = 0,0015 - 0,001 = 0,0005 \text{ пФ.}$$

Было определено изменение емкости кабеля при пробое путем нахождения соотношения разницы емкостей к емкости изоляции кабеля.

$$C_{\text{изм}} = \frac{\Delta C}{C_{\text{изол}}} = \frac{0,0005 \cdot 10^{-12}}{12300 \cdot 10^{-12}} = 0,04 \text{ мкФ.}$$

Для определения броска напряжения, напряжение пробоя принимаем равным 50 кВ.

$$\Delta U = C_{\text{изм}} \cdot U_{\text{пр}} = 0,04 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^3 = 2 \text{ мВ.}$$

Величина кажущегося заряда при размере дефекта 1 мм и расстоянии от токоведущей жилы 5 мм составит:

$$q = \Delta U \cdot C_{\text{изол}} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 12300 \cdot 10^{-12} = 24,6 \text{ пКл.}$$

С помощью методики расчета, приведенной выше, представляется возможным исследование зависимости характеристик частичного разряда от размера дефекта, а также его расположение относительно токоведущей жилы. Исследование данной зависимости позволит повысить информативность диагностики кабельных линий методом частичных разрядов, поскольку показателем совершенства современных систем регистрации частичных разрядов при контроле дефектов в изоляции электрооборудования на ранней стадии является достоверность полученных результатов [3].

### Источники

1. Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200103903> (дата обращения 05.03.2022).
2. Кучинский Г.С., Назаров Н.И.. Силовые электрические конденсаторы; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1992. 320 с.
3. Ба Бораик А.М., Усачев А.Е., Кубарев А.Ю. Влияние параметров схемы регистрации на форму и амплитуду частичных разрядов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. С. 127-136.



## МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ЛОПАСТЕЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

А.Р. Гаффанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

angelinagaffanova@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Хизбуллин

В современном мире возобновляемые источники энергии уверенно могут заменить классическую топливную энергетику. В статье поднимается тема энергии ветра. Преимуществ достаточно – экологично, доступно и безопасно. Ветряная энергия является одним из перспективных направлений в области возобновляемых источников энергии. Чаще всего его территориально располагают на прибрежных частях морей, океанов, полях. Ветрогенераторы не пахнут, не выделяют в атмосферу тонны CO<sub>2</sub>, который вызывает глобальное потепление. Но есть один минус, который в скором времени может перекрыть все плюсы ветрогенераторов – утилизация.

**Ключевые слова:** ветрогенератор, лопасть, энергия, утилизация, композитные материалы.

Наша страна очень обширна и имеет практически все виды альтернативной энергетики: солнечные электростанции на Алтае и Башкирии, ветровые электростанции на Камчатке и Алтае, геотермальные электростанции на Камчатке и многое другое. Но есть вопрос утилизации, который перекрывает все преимущества ветровой энергии.

Нормативный срок эксплуатации лопастей составляет 20 лет. На сегодняшний день лопасти и ротор изготавливают из композитного волокна на основе стали. Сами лопасти собираются из отдельных сегментов, либо же изготавливаются как монолит (в зависимости от размаха). Для крепления лопастей к ротору применяются болты и хаб. Сами лопасти крепятся к хабу, а хаб – к ротору [1].

Дело в том, что отделить стекловолокно от эпоксидной смолы оказалось намного сложнее [2]. Тогда инженеры пришли к другому выводу: захоронить лопасти. На это выделялись огромные площади и возникали вопросы насчет безопасности для всего живого. Например, в городе Каспер, штат Вайоминг, США, есть целая муниципальная свалка для захоронения композитных материалов лопастей. Современные методы утилизации включают в себя следующие варианты решения этой проблемы:

– использование стекловолокна в качестве шумоподавительных барьеров. Исследовательский проект Re-Wind нашли применение устаревших лопастей. Они использовали их в качестве шумоподавительных барьеров на автомагистралях Дании. Стекловолокно имеет ряд положительных качеств, но в данном случае преобладает лучшими шумозащитными характеристиками, чем минеральная вата [3];

– прессование лопастей. Global Fiberglass Solutions в Суитуотере (Техас) успешно используют метод разрушения лопастей, чтобы в дальнейшем распрессовать их в плиты с древесноволокнистой структурой, пеллеты для строительной отрасли, ограждения и железнодорожные шпалы;

– организация детских игровых площадок. В 2007 г. в Роттердаме появилась необычная детская площадка на пустыре между зданиями площадью 1200 кв.м. Группа местных дизайнеров построила детскую площадку, используя 5 отслуживших свой срок лопастей от ветрогенераторов.

Развитие энергетики на ВИЭ требует дополнительного использования не возобновляемых ресурсов: сырья для удобрений в случае с биоэнергетикой, металла для оборудования и строительных конструкций, ископаемого природного газа для производства водородного топлива, энергии из ископаемых источников для работы производств, но ученые и инженеры активно работают над этим.

### **Источники**

1. Как устроены мощные промышленные ветрогенераторы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/dX8HW> (дата обращения 01.03.2022).

2. Вынга А.Н., Семенова А.Ю. Аспекты применения альтернативных источников энергии в Республике Крым // Сб. тезисов докладов участников пула научно-практических конференций. Керчь: ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2021. С. 407-408.

3. Компания Re-Wind предложила из лопастей ветрогенераторов делать мосты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://clck.ru/dYqbn> (дата обращения 01.03.2022).

## МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Д.Е. Дмитриев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dmitriy\_dmitriev\_2000@bk.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.К. Зарипов

В статье рассмотрены решения по анализу существующих методов и способов ограничителей перенапряжения. Данные методы позволяют оперативно отслеживать места повреждений, определять местоположения неисправностей и уведомлять о нем ремонтный персонал обслуживающей организации.

**Ключевые слова:** анализ, диагностика, ограничители перенапряжений, регистрация числа срабатываний, сопротивление, ток проводимости.

Нелинейные ОПН в настоящее время широко применяются в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше. Высокий уровень подавления перенапряжений решает проблему координации изоляции. Для ограничения перенапряжения ОПН сам становится при монтаже элементом электросистемы, на который постоянно воздействует рабочее напряжение сети и возникающие при этом перенапряжения. Отказ ограничителя перенапряжения может привести к выходу из строя или повреждению всего защищаемого электрооборудования с последующими последствиями и ущербом.

Воздействия, которые повреждают ОПН, обычно приводят к превышению номинальных нагрузок, поэтому важно выбрать соответствующий ОПН, т.е. соответствие выбранных технических параметров ОПН токам тока в месте установки, а во-вторых решение задачи диагностики ОПН в процессе эксплуатации. Для решения обеих проблем необходима информация о работе каждого ОПН и фактическом влиянии тока на протяжении всего срока его службы в конкретной точке сети [1].

В настоящее время большое внимание уделяется изучению методов и способов диагностики технического состояния ОПН, так как оценка фактического ресурса ОПН имеет большое практическое значение. Ограничители перенапряжений широко применяются в российской энергетике на классы напряжения 110–750 кВ, работающих в режиме с глухим (эффективным) заземлением нейтрали, однако применение ОПН в сетях 0,4 кВ также актуально в настоящее время. Однако, ОПН очень часто выходят из строя во время эксплуатации и нуждаются в диагностике.

В данной статье были рассмотрены вопросы электрических и неэлектрических воздействий, которые оказывают влияние на срок службы ОПН, а также следующие виды диагностического контроля состояния ОПН:

1. Измерение сопротивления ОПН.
2. Измерение тока проводимости.
3. Тепловизионный контроль;
4. Регистрация срабатываний.

Из вышеперечисленных методов менее эффективным способом диагностики ОПН является регистрация срабатываний, так как регистраторы количества срабатываний реагируют на то, что ток больше определенного значения и не учитывают форму срабатывания. импульсный ток и поэтому не дают картины импульсного тока на энергию, выделяющуюся в разрядниках. Недостаток контроля с помощью тепловизионной камеры заключается в том, что температура изолирующих ребер выше температуры тела, так что помехи, создаваемые ребрами, настолько велики, что некоторые части ОПН не видны. Недостатком измерения сопротивления ОПН является необходимость корректировки РД, так как РД говорит, что испытательное напряжение, подаваемое на ОПН, может повредить его варисторы, но простота этого метода контроля является плюсом [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что следует совмещать вышеуказанные методы диагностики ОПН для получения актуальной картины технического состояния устройства.

#### **Источники**

1. Лаврентьев Г.Г., Минакова Л.В., Попов Д.К. Устройство диагностического контроля ограничителей перенапряжения // Электротехника. 2008. №9. С. 52-56.
2. Рыжов С.Ю., Минакова Л.В.. Проблемы диагностики ограничителей перенапряжения и пути их решения // Электротехника. 2000. №7. С. 24-28.

## **ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО УВЛАЖНЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА РАБОТУ ПОДВЕСНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

Д.Ф. Закиров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

qwerty2014dinar@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Д.К. Зарипов

В статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение влияния неравномерного увлажнения и загрязнения подвесных полимерных изоляторов ВЛЭП на вероятность возникновения их перекрытия. Выявлены характерные для равномерного и неравномерного увлажнения загрязненного изолятора особенности, применимые в качестве диагностических признаков вероятного перекрытия изоляции.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередачи, подвесные полимерные изоляторы, загрязнение, перекрытие изолятора, пробой изоляции, частичный разряд, увлажнение.

Высоковольтные подвесные изоляторы являются одним из наиболее ответственных конструктивных элементов ВЛЭП. Согласно материалам информационной бюллетени, выпущенной Исполнительным комитетом Электроэнергетического Совета СНГ [1], за 2020 г. в ЕЭС России произошло 9 312 аварийных отключений линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше. Из них 17,3 % были вызваны повреждением или перекрытием подвесных изоляторов.

Перекрытие высоковольтных подвесных изоляторов вследствие их загрязнения или увлажнения исторически были одной из основных причин перебоев в работе ВЛЭП. В процессе эксплуатации изоляция ВЛЭП подвергается влиянию различных видов электрических воздействий: рабочее напряжение, атмосферные и внутренние перенапряжения и т.д. Одновременно с ними на работу изоляции ВЛЭП оказывают влияние и окружающие атмосферные условия. Причем наиболее сильно влияют атмосферные осадки, такие как: дождь, туман, роса и т.д., а также твердые, жидкие и газообразные частицы различных веществ, осаждающихся на поверхность изолятора из воздуха и образующие на ней с течением времени слой загрязнения, при увлажнении которого увеличивается электропроводность всей изоляционной конструкции ВЛЭП, и снижается её изолирующая способность.

При этом увлажнение изолятора, вызванное туманом, намного опаснее, чем увлажнение, происходящее при дожде. Во время тумана поверхность изолятора увлажняется более равномерно – смачиваются как верхние, так и нижние поверхности его юбок, в то время как при дожде часть поверхности изолятора остается сухой.

Таким образом, увлажнение загрязненного слоя на поверхности изоляторов может создавать условия для их полного перекрытия, и как следствие автоматического отключения линии электропередачи, а в некоторых случаях, при серьезном повреждении изоляции, и длительным перерывам в энергоснабжении.

Для изучения влияния неравномерного загрязнения и увлажнения на вероятность возникновения перекрытия подвесной полимерной изоляции в лабораторных условиях была разработана и изготовлена специальная испытательная камера (см. рисунок).

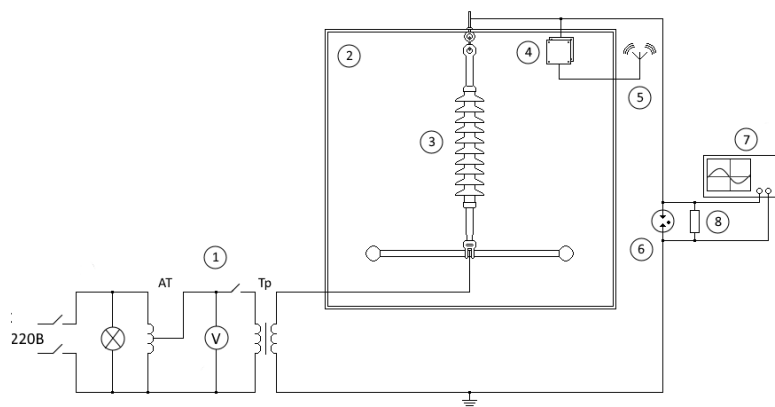


Схема экспериментальной установки: 1 – испытательная установка 110 кВ; 2 – климатическая испытательная камера (камера тумана); 3 – объект испытаний; 4 – электрод датчика беспроводной системы контроля; 5 – беспроводной передатчик; 6 – разрядник; 7 – осциллограф; 8 – резистор  $R=1000 \text{ Ом}$

Климатическая испытательная камера (2) представляет собой куб со стенками, изготовленными из экструзионного пенополистирола. В центре камеры был установлен подвесной полимерный изолятор ЛК 70/35 (3), на который через соединительный провод подавалось напряжение от испытательной установки (1), оснащенной испытательным трансформатором. Загрязнение изолятора проводилось методом предварительного загрязнения в соответствии с ГОСТ 10390-2015 [2]. Ток утечки по поверхности изолятора регистрировался цифровым осциллографом. В качестве дополнительной меры контроля непосредственно над изолятором был закреплен электрод датчика беспроводной системы контроля [3–5], предназначенной для регистрации разрядной деятельности на изоляторе.

Лабораторные исследования, представленные в данной статье, были проведены в учебно-научной лаборатории «Техника высоких напряжений» на базе кафедры «Электрические станции им. В.К. Шибанова» Казанского государственного энергетического университета.

Всего было проведено три серии экспериментов:

- равномерное увлажнение загрязненного изолятора;
- неравномерное увлажнение загрязненного изолятора;
- неравномерное увлажнение слабозагрязненного изолятора.

В результате проведенных экспериментов были выявлены особенности характерные для равномерного и неравномерного увлажнения загрязненного изолятора, применимые в качестве диагностических признаков вероятного перекрытия изоляции.

### **Источники**

1. Обзор аварийности и травматизма в электроэнергетических системах государств-участников СНГ за 2020 год: инф. бюллетень № 21. Исполнительный комитет Электроэнергетического совета СНГ, 2021. 141 с.

2. ГОСТ 10390-2015. Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии. М.: Стандартинформ, 2016. 16 с.

3. Пат. 2731169 Российская Федерация, МПК G01R31/08. Датчик для системы непрерывного контроля состояния изолирующих конструкций / Зарипов Д.К. Насибуллин Р.А., Ибрагимов Р.Р., Игтисамов М.Ч.; заявитель и патентообладатель ОАО «Сетевая компания» № 2019145586; заявл. 30.12.2019; опубл. 31.08.2020, Бюл. № 25, 10 с.

4. Пат. 2517776 Российская Федерация, МПК G01R31/08. Способ оптической дистанционной диагностики изолирующей конструкции / Зарипов Д.К.; заявитель и патентообладатель Зарипов Д.К. № 2012151785/28; заявл. 03.12.2012; опубл. 27.05.2014, 6 с.5.

5. Пат. 2660754 Российская Федерация, МПК G01R31/08. Световой индикатор состояния изолирующей конструкции / Зарипов Д.К. Насибуллин Р.А., Маргулис С.М., Ибрагимов Р.Р., Игтисамов М.Ч.; заявитель и патентообладатель ОАО «Сетевая компания» № 2017125424; заявл. 14.07.2017; опубл. 09.07.2018 Бюл. № 19, 10 с.

## БЫСТРОВОВОЗВОДИМЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ОПОРЫ

А.С. Попов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alexancha@icloud.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Балобанов

В статье представлены отличительные черты и преимущества быстровозводимых композитных опор.

**Ключевые слова:** опора, линия электропередачи.

Вопрос использования быстровозводимых и легких опор из композитных материалов для воздушных линий электропередачи на современном этапе развития электроэнергетики набирает все большую актуальность с каждым годом. С развитием исследований и прогрессом в производстве конструкций из композитных материалов, использование их во всевозможных сферах деятельности человека набирает все большие обороты [1].

Главным преимуществом композитных материалов при применении в опорных конструкциях ЛЭП относительно классических материалов – металла и железобетона – является значительно большая эластичность, которая позволяет таким опорам выдерживать временные перегрузки без каких-либо повреждений или деформаций [2]. В связи с этим наиболее перспективным их применением представляется установка в местах с сильными и даже ураганскими ветрами. Первопроходцами в производстве и использовании таких опор являются США и Канада, которые приспособили композитные опоры в начале 21 века в своих неблагоприятных климатических зонах. Также первостепенный интерес в композитных материалах (а значит и опорах) представляют их электротехнические свойства. Поскольку композиты являются диэлектриками, то траверсы и грозозащитный трос (при его наличии) не нуждаются в заземлении. Так же, пропадает опасность при сближении проводов с траверсой как у железобетонных или металлических опор [3]. Таким образом представляется возможным уменьшить габариты линии, что экономически может скомпенсировать увеличение самих опор из-за их гибкости. А на низком напряжении может быть даже отказаться от изоляторов, если и траверсу выполнить из композитного материала.



Существуют и недостатки композитных опор. Во-первых, высокая стоимость. Одна композитная опора по стоимости выходит, как 3 металлических. Но если учитывать срок службы, затраты на монтаж, на обслуживание, то использование становится выгодным. Во-вторых, горючесть и пожароопасность. Опоры нужно обрабатывать специальными составами, иначе они будут поддерживать горение [4].

Обладая невысокой плотностью стеклопластики имеют высокие физико-механические характеристики. В некоторых аспектах они даже превосходят сталь. Если использовать при изготовлении материалов и оборудования из стеклопластика специальные смолы, то можно добиться таких физико-механических характеристик, которые будут многократно превышать не только сталь, но даже некоторые цветные сплавы металлов. Также при добавлении стойких красителей можно добиться определённого цвета стеклопластика, который не выгорит и не исчезнет по другой какой-либо причине в течение достаточно длительного промежутка времени. Данное свойство очень удобно использовать для маркировки материалов и оборудования.

### **Источники**

1. Бочаров Ю.Н., Жук В.В. К вопросу о композитных опорах воздушных линий // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2012. Вып. 4-1(8). С. 78 – 85.

2. Дубина А.А. Новые конструкции полимерных стоек для опор ВЛ в РФ и Украине // Воздушные линии. 2011. № 3 (4). С. 27-31.

3. Бочаров Ю. Н., Жук В.В. Композитные опоры. Перспективы применения для ВЛ 110-750 кВ// Новости электротехники. 2012. №1 (73). С. 22-25.

4. АО «НПП «АЛТИК». Композитные опоры воздушных линий электропередач [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://altik.su/katalogi-i-prezentatsii/produktsiya-dlya-elektroenergetiki/kompozitnye-opory-vozdushnykh-linij-elektroperedach.html> (дата обращения 03.03.2021).

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОТДАЛЕННЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С ПОМОЩЬЮ ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Р.И. Рамазанова<sup>1</sup>, О.В. Исаева<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>ramzareg@icloud.com, <sup>2</sup>isaeva.olga01@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

В данной статье рассмотрены проблемы электроснабжения децентрализованных поселков, питающихся от дизельных электростанций. В работе мы привели вариант решения электроснабжения отдаленного поселка Батакан с помощью возобновляемого источника энергии. Оценили солнечный и ветряной потенциал данной местности. На основе полученных данных, мы рассмотрели внедрение ветро-дизельной установки с целью экономии дизельного топлива, снижения финансовых вложений на транспортировку ресурсов, а также на снижение стоимости тарифов на электроэнергию.

**Ключевые слова:** децентрализованное электроснабжение, ветро-дизельная установка, дизельное топливо, возобновляемые источники энергии, автономная система.

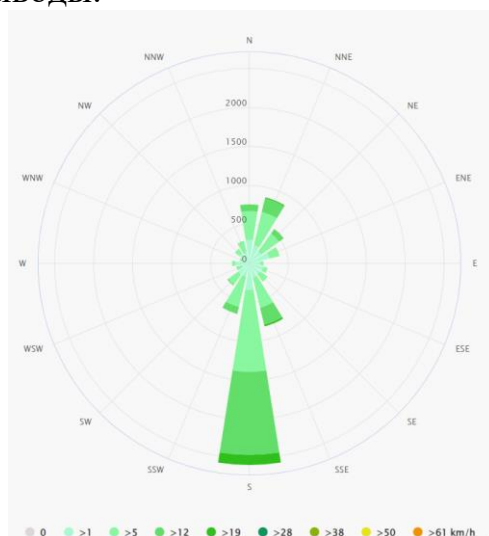
Наша страна занимает огромные территории, в России бесчисленное множество отдаленных населенных пунктов, которые не входят в систему централизованного электроснабжения. С целью улучшения качества жизни и развития этих территорий распределенная генерация требует изменений. Мотивацией для перемен стали следующие предпосылки: стареющая инфраструктура сетей, недозагруженность сетей, необходимость в обеспечении высокого уровня надежности сети, развитие промышленности. Как правило, электроснабжение отдаленных территорий происходит от дизельных электростанций (ДЭС), работающие благодаря привозному дизельному топливу. Стоимость цены за топливо увеличивается каждый год, а также она значительно повышается из-за проблем в транспортировке: неразвитая транспортная инфраструктура, тяжелые климатические условия, сложность автодорог. Таким образом, появилась острая необходимость оптимизации работы ДЭС в целом, чтобы сэкономить топливо и сберечь технический ресурс данных установок [1].

Одним из главных приоритетов электросетевых компаний является строительство эффективной и надежной инфраструктуры сетей. Для решения данной проблемы целесообразно внедрить в традиционную систему электроснабжения использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Поэтому мы предлагаем гибридную систему на базе ДЭС с ветрогенераторами, которые впоследствии помогут снизить количество потребляемого топлива посредством создания ветро-дизельных установок; уменьшить тариф на электроэнергию, а также снизить выбросы углекислого газа и др. веществ [1, 2].

В этой работе на примере поселка Батакан был проведен анализ постройки ветро-дизельного комплекса. Это поселок Забайкальского края. Данный населенный пункт снабжается электроэнергией с помощью дизельной электростанции сети 10 кВ. Ее мощность 2x200 кВт, расположена в центре. Так же в нем установлены 2 резервных дизель-генератора по 25кВт и котельные. Перебои в электроснабжении составляют не более 1000 часов.

Мы оценили потенциал возобновляемых источников энергии: солнце и ветер. Анализ потенциала инсоляции показал, что солнца в данном регионе недостаточно, чтобы обеспечить надежное и бесперебойное электроснабжение. Таким образом, солнечно-дизельные комплексы с использованием фотоэлектрических панелей будет невыгодным решением. Следующим шагом было рассмотрение ветро-дизельных установок. Для этого мы исследовали ветряной потенциал поселка Батакан [3].

Рассмотрим розу ветров на рисунке. Данные взяты с сайта <https://www.meteoblue.com>. При рассмотрении розы ветров мы можем сделать следующие выводы.



Роза ветров рассматриваемого района установки ветроэлектростанции

Как мы видим из рисунка, преобладают ветра западного направления. Их составляющая около 20,24 % в течение года, а юго-восточного – порядка 15 %. Все остальные ветра других направлений непериодичны.

Внедрение ветрогенераторов возможно при скорости ветра более 3–4 м/с. Внедрение ВГ обусловлено тем, что это дает дополнительный источник энергии, как следует повышение надежности питания. Анализ климатических условий подтвердил возможность применения в таких условиях возобновляемых источников электроэнергии, в данном случае это применение ветровых электростанций. Согласно данным метеослужбы Meteoblue за 5 лет непрерывных измерений зарегистрировала среднегодовую скорость равную 3,8 м/с, что позволяет использовать энергию ветра и строить в этом районе ветро-дизельную электростанцию [2, 3].

Ветродизельный комплекс с использованием ветряка, а также высокотехнологичных автоматизированных дизельных установок позволит нам решить ряд важных задач: снижение зависимости энергоснабжения удаленных населенных пунктов от привозного топлива; снижение тарифа на электрическую энергию; улучшение экологических условий; повышение надежности системы в целом.

Таким образом, внедрение ветродизельной установки может являться эффективным решением проблемы децентрализованных регионов нашей страны. Данный технологичный автоматизированный комплекс позволит сэкономить поставку дорогого привозного топлива, а в дальнейшем после истечения срока окупаемости снизит тариф на электроэнергию.

### **Источники**

1. Ершов С.В., Смолин С.О. Перспективные схемы ветро- дизельных установок // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. №12. С. 49-54.

2. Пархоменко О.Ю. Ветро-дизельная система электроснабжения поселка: магист. дисс. Томск: ТПУ, 2017.

3. Исаков Д.А., Ахмедов С.Б. Электроснабжение отдаленных посёлков Российской Федерации на примере посёлка Батакан // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сб. ст. по матер. VII Межд. науч.-практ. конф. «Молодой исследователь: вызовы и перспективы». 2016. № 5 (7).

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ДУШАНБЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Б.О. Сафаров

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

www.bahodur1998@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Н. Хизбуллин

Рассмотрено нынешнее состояния и будущее планы развития энергетики промышленности в республике Таджикистан. Проведено обзор состояния подстанции «Советская», выявлены недостатки и предложены решение существующий проблемы.

**Ключевые слова:** энергетика, промышленность, техническое состояние, технический характеристики, подстанция, реконструкция, КРУЭ.

Энергетика в Республики Таджикистан уверенным темпом развивается. Строиться новые гидроэлектростанции (ГЭС), линии электропередач и подстанции, модернизируется уже существующие ГЭС, реализуется 18 инвестиционные проекты на сумму 16,6 млрд. сомони на 2022 году [3]. Продолжается строительство Рогунский ГЭС мощности 3600 МВт, уже введен в эксплуатацию первый агрегат мощностью 600 МВт. Строится проекта передачи и торговли электроэнергии CASA – 1000. От Сангтуды, Таджикистан, до Новшера, Пакистан продолжается строительство линии электропередачи постоянного тока [3]. Таджикистан экспортировала в 2021 год 2,5 млрд кВт/ч электроэнергии [5].

По словам министр промышленности Республики Шерали Кабир объем промышленности увеличивался на 23 %, по итогу 2021 г. Это больше на 20 % чем в 2020 г. В основном развивается горнорудной промышленности, например, в 2020 г. на 60 % увеличился объем добычи [4].

Подстанция 110/10 кВ «Советская» находится в городе Душанбе, в районе Фирдоуси, и питается по двум воздушным линиям ВЛ-110 кВ. Она построена еще в Советском союзе. Схема распределительного устройства – «два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

Схема «Два блока с выключателями и неавтоматической переемычкой со стороны линий», является устаревшей схемой. Основной ее недостаток, «к недостаткам можно отнести относительную сложность расширения схемы при увеличении числа присоединений. Есть возможность полной остановки электроснабжения в случае, когда один блок выведен в ремонт, а на втором происходит авария».

Таким образом, подстанция 110/10 кВ «Советская» в городе Душанбе, нуждается в реконструкции из-за ряда следующих причин, а именно:

- высокой техникой и моральный износ электрооборудования трансформаторной подстанции (ТП);
- подстанция занимает большую площадь. Общая площадь занимаемой подстанции составляет около 10000 м<sup>2</sup>;
- ТП находится вблизи парка Фирдоуси и рынка Саховат, что не соответствует современным требованиям градостроительства, и отрицательно сказывается на всей эстетике города.

В соответствии с новым генпланом города, и приказом мэра города Душанбе от 25 января 2021 г., необходимо заменить все высоковольтные воздушные линии (ВЛ), на подземные кабельные линии.

Одним из решений вышеуказанных проблем является реконструкция ТП с ОРУ на ТП с комплектным распределительным устройством с элегазовой изоляцией (КРУЭ). Это позволит решить все вышеперечисленные проблемы и устранить имеющиеся недостатки.

Комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией имеют небольшую занимаемую площадь, что освобождает большую часть земли, занимаемую всей ТП. Немаловажную роль в городских условиях имеет возможность снижения уровня шума и улучшения архитектурной эстетики при использовании современных КРУ.

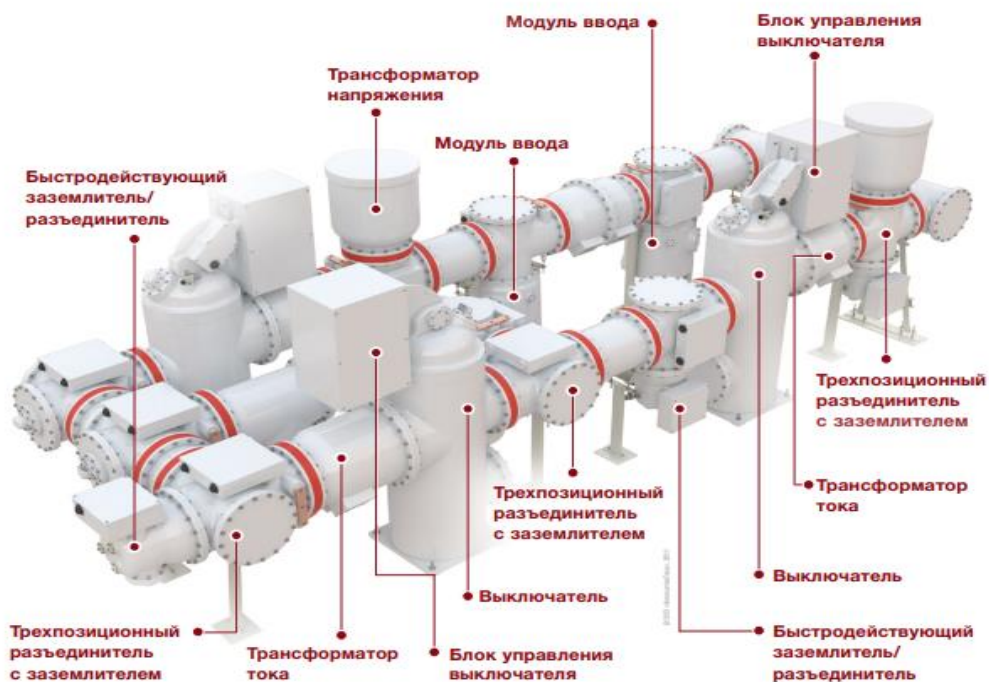
КРУЭ появились в конце 60–х гг. прошлого столетия, и завоевали свое место на мировом рынке. В настоящее время в промышленно-развитых странах широко используют КРУЭ. Благодаря своей компактности КРУЭ получили большую популярность в современных мегаполисах. Компактность не отразилась на их технических характеристиках. Существенным образом решается в городских условиях дефицит земельных участков. Требуемая площадь, для постройки ТП с КРУЭ составляет около 5–20 % от площади ОРУ с учётом всего коммутационного оборудования [2].

На рынке электрооборудования представлено большое количество КРУЭ. Представим техничекй характеристики КРУЭ 110 кВ, производства Питерэнергомаш, город Санкт-Петербург (см. таблицу).

Технические характеристики КРУЭ 110 кВ производства Питерэнергомаш

Номинальное напряжения сети, кВ	110
Номинальная частота, Гц	50
Верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха, С	У: +40, УХЛ4: +35
Нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха, °С	У1, У3: -45, У3.1: -10
Высота над уровнем море, м	1000
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	630; 800; 1000
Ток электродинамической стойкости, кА	80; 100; 125
Ток термической стойкости, кА	31,5; 40; 50
Рабочее давление газа при 20 МПа – в отсеке выключателя – в отсеке трансформатора напряжения – другие отсеках	0,58 0,58 0,58
Тип привода выключателя	Пружинный
Требование к ресурсу выключателя по механической стойкости <i>N</i>	10000
Вид привода разъединителя	электродвигательный
Ресурс п механической стойкости, циклов В – О	10000
Срок службы до среднего ремонта, лет	15
Срок службы, лет	30
Габаритные размеры, мм – высота – ширина – длина	2863 2950 9466

Модульная конструкция устройства и стандартный разъем обеспечивают взаимозаменяемость модулей и возможность последующего расширения (см. рисунок).



Состав оборудования КРУ 110 кВ по схеме 5Н Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий

Корпус полностью изготовлен из алюминиевого сплава, что минимизирует вихревые потери. Соединение с основной шиной ячейки имеет съемную конструкцию, что облегчает капитальный ремонт и эксплуатацию устройства [1].

### Источники

1. Элегазовые комплектные распределительные устройства [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://kruerf.ru/images/pdf/pem\\_crue\\_n.pdf](https://kruerf.ru/images/pdf/pem_crue_n.pdf) (дата обращения 12.03.2022).

2. Зацаринная Ю.Н., Нурмеев Т.А. Преимущество эксплуатации КРУЭ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kruerf.ru/index.php/stati/2-uncategorised/40-preimushchestva-ekspluatatsii-krue> (дата обращения 12.03.2022).

3. Информационное агентство avesta.tj [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://avesta.tj/2022/01/26/v-tadzhikistane-realizuyutsya-18-investproektov-v-sfere-energetiki-na-summu-16-6-mlrd-somoni/tj> (дата обращения 12.03.2022).

4. Информационное агентство sputniknews.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tj.sputniknews.ru/20220202/tajikistan-promyshlennost-itogi-2022-1045418203.html> (дата обращения 12.03.2022).



5. Министерство энергетики и водных ресурсов республики Таджикистан [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.mewr.tj/?page\\_id=614](https://www.mewr.tj/?page_id=614) (дата обращения: 12.03.22).

УДК 681.11.031.1

## ПЕРСПЕКТИВЫ РОСТА СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

М.Н. Семенов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань

[maxim.snt@inbox.ru](mailto:maxim.snt@inbox.ru)

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

Рынок накопителей энергии в последние года переживает бурный рост. Многие страны установили одну из приоритетных целей, как развитие системы накопления энергии. Сфера накопителей имеет широкую линейку продуктов: химические, механические, тепловые и др.

**Ключевые слова:** система накопления энергии, аккумуляторы, возобновляемые источники энергии.

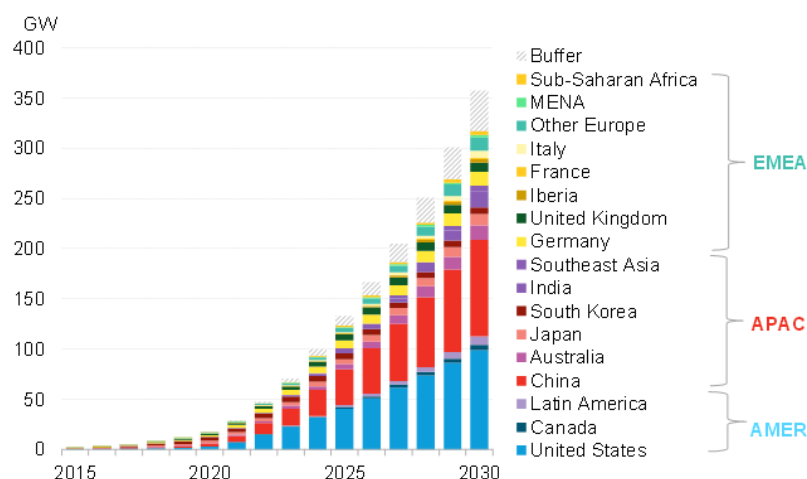
Бурный рост системы накопления энергии (СНЭ) в последние года можно объяснить несколькими причинами. Политика декарбонизации во всем мире получила большую популярность, и сейчас уже никого не удивляет появление солнечных панелей в частных домах или установка плавучих ветроэлектростанций на водном пространстве рядом с берегами. Поэтому возобновляемые источники энергии (ВИЭ) стали использовать как альтернативу традиционным электростанциям.

Применение ВИЭ без каких-то дополнительных вспомогательных устройств не всегда дает использовать весь потенциал ВИЭ: сложнопрогнозируемый характер ВИЭ (ветер, солнце) вызывает трудности с участием в общем рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ), где важно вырабатывать электроэнергию по четкому графику в течение суток. СНЭ накапливает определенное количество энергии и выдает их в сеть при нарушении выработки электроэнергии согласно заданному графику или при пиковых значениях нагрузки потребления, тем самым облегчая работу турбоагрегатов электростанций в часы утреннего и вечернего максимума. Поэтому строительство ВИЭ совместно с СНЭ дает большую пользу, чем только ВИЭ, и можно часто слышать, как строят ВИЭ и СНЭ вместе в одном объекте [1].

Другим драйвером развития СНЭ стал переход с традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания на электромобили. Компания Tesla стала одним из самых знаменитых производителей электромобилей и активно продвигает политику использования СНЭ не только в транспорте, но и в других областях. Компания предлагает продукт Powerwall, которая автоматически обнаруживает перебои в электропитании и подключается к сети. Можно так же подключиться к солнечным панелям на крышах дома и экономить на счете за электроэнергию. Для промышленного производства так же есть решение – это использование накопителей Powerpack, которые обладают большим зарядом мощности. Примером может послужить установка накопителей Powerpack на острове Кауаи, расположенный на одном из Архипелагов Тихого океана, для накопления солнечной энергии мощностью 13 МВт, тем самым была решена проблема энергоснабжения острова и уменьшение использования дизельного топлива [2].

Так же стоит сказать, что стоимость накопителей электроэнергии сильно снижается, только за 7 лет с 2010 по 2017 гг. цена на литий-ионные батареи уменьшилась на 80 % [3].

Согласно отчету компании Bloomberg рынок СНЭ ожидает большой рост, а рост общей мощности накопителей электроэнергии в России должен составить 20 ГВт до 2015 года (рис. 1).



Source: BloombergNEF. Note: MENA = Middle East & North Africa. Buffer represents markets and use-cases that we are unable to forecast due to lack of visibility.

Рис. 1. Рост мощностей СНЭ по странам

На рисунке 1 видно, что страны с наибольшим использованием СНЭ станут Китай и США [4].

В понятие накопителей энергии входят большое число устройств с различным принципом хранения энергии (рис. 2).

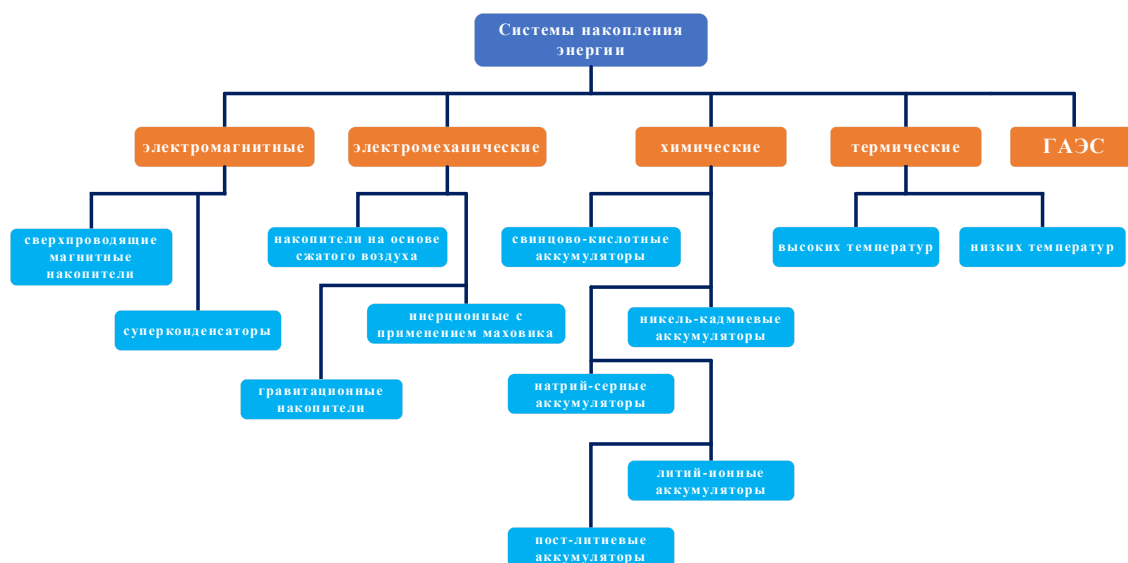


Рис. 2. Виды накопителей

По рис. 2 видно, что наибольшее распространение имеют химические накопители (литий-ионный и др.). На данный момент в России наибольшую мощность среди накопителей имеют ГАЭС (1375 МВт): Загорская ГАЭС в Подмосковье (1,2 ГВт/1,32 ГВт), Кубанская ГАЭС (15,9 МВт) и Зеленчукская ГЭС-ГАЭС (320 МВт/160 МВт).

### Источники

1. Инфраструктурный центр Энерджинет. Экспертно-аналитический отчет «Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры»; под ред. Д.В. Холкина. М., 2019. 158 с.

2. Smith A.A., Bissel D.J. Kiuc 2018 annual report. Kaua’I Island Utility Cooperative [Электронный ресурс]. Режим доступа: [website.kiuc.coop/sites/kiuc/files/documents/AnnualReport2018.pdf](https://www.kiuc.coop/sites/kiuc/files/documents/AnnualReport2018.pdf) (дата обращения 06.03.2022).

3. Международный рынок накопителей энергии. Deloitte [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/ru/ru/pages/energy-and-resources/articles/gx-global-energy-storage-renewable-energy-storage.html> (дата обращения 07.03.2022).

4. Глобальный рынок хранения энергии достигнет одного тераватт-часа к 2030 году . BloombergNEF [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://about.bnef.com/blog/global-energy-storage-market-set-to-hit-one-terawatt-hour-by-2030/> (дата обращения 07.03.2022).

## **ВВОД ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ДВУХЦЕПНЫМ ЗАХОДОМ НА СШ 110 КВ ПС 220 КВ ЧИСТОПОЛЬ-220**

Е.Г. Степанова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Средней Волги, г. Самара  
lenochka2997@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Ю.Н. Зацаринная

Для предотвращения аварийных ситуаций, которые могут возникнуть при вводе новых источников генерации в существующие сети, составляется схема выдачи мощности вводимой генерации и моделируются различные варианты ремонтов оборудования. В данной работе при помощи нормальной схемы энергоснабжения Республики Татарстан и программного комплекса «RastrWin3» разработана схема ввода ветряной электростанции на СШ 110 кВ ПС 220 кВ Чистополь-220, проведены расчёты параметров работы электрической сети 110 кВ и выше, прилегающих к вводимой Чистопольской ветряной электростанции в нормальных и ремонтных схемах сети.

**Ключевые слова:** схема выдачи мощности (СВМ), параметры режима, ветряная электростанция (ВЭС), «RastrWin3».

Схема выдачи мощности является основным инструментом для оценивания влияния ввода новой генерации на существующую энергосистему. Для оценки допустимости режимов работы оборудования используют результаты расчетов параметров работы электрической сети 110 кВ и выше прилегающей к Чистопольской ВЭС в нормальных и ремонтных схемах сети.

Исходными данными для проведения расчетов электрических режимов являются схема и параметры сети энергосистемы Республики Татарстан и активная и реактивная мощности нагрузки.

Первым шагом на основе нормальной схемы операционной зоны Республики Татарстан [1] в программном комплексе (ПК) «RastrWin3» [2] была составлена схема выдачи мощности Чистополь ВЭС (см. рисунок), для этого было рассчитано и выбрано основное электрическое оборудование:

Воздушные линии электропередач (ВЛ):

Для ВЛ 110 кВ Чистополь-220 – Чистополь ВЭС Т1 и ВЛ 110 кВ Чистополь-220 – Чистополь ВЭС Т2 выбран стале-алюминиевый провод АС-240 [5].

Трансформатор. Для проектирования использовались два трехфазных двухобмоточных трансформатора типа ТДЦ-125000/110, предназначенные для работы в блоке с генератором. Расшифровка трансформатора ТДЦ-125000/110: Т – трехфазный; ДЦ – охлаждение с принудительной циркуляцией воздуха и масла с ненаправленным потоком масла; 125000 – номинальная мощность, кВА; 110 – класс напряжения обмотки ВН, кВ [6].

Генератор. Выбран ветрогенератор EnVentus™ 5 МВт В162-5.6 МВт 50/60 Гц.

Номинальная активная мощность в 200 МВт достигается при строительстве 36 ветряных электроустановок (ВЭУ), установленной мощностью по 5,6 МВт.

Активная мощность ВЭС (36 ВЭУ), (МВт):  $P_{уст} = 201,6$  МВт.

Мощность собственных нужд принимается в размере 5% от установленной мощности и равна  $P_{сн} = 10,08$  МВт.

Напряжение в узле подключения генератора:  $U_{ном} = 10,5$  кВ.

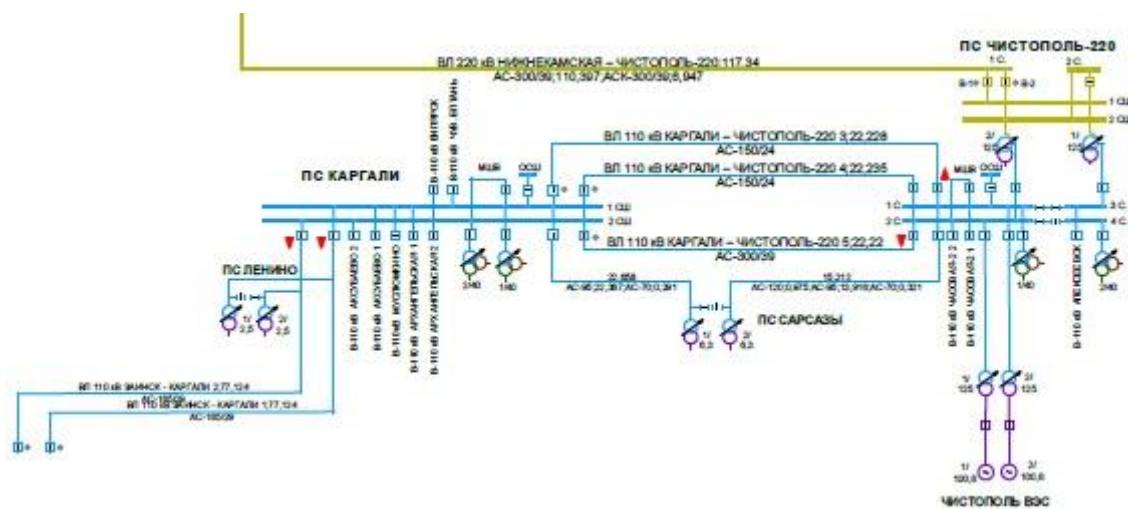


Схема основной электрической сети 110 кВ и выше энергорайона Чистопольских ЭС для выдачи мощности Чистополь ВЭС

Как видно из рисунка основными питающими (внешними) связями 110–220 кВ для Чистопольских электрических сетей являются ВЛ 220 кВ Нижнекамская-Чистополь-220 и ВЛ 110 кВ Заинск-Каргали 1 (2).

В качестве базовых расчетных моделей были приняты результаты обработки контрольных измерений за 10 часов с учетом характерного состава генерирующего оборудования в рассматриваемом энергорайоне [3].

Характерным периодом принят зимний период (режим максимальных нагрузок при температуре +5 °С в соответствии с СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология») [4].

Рассмотрели следующие схемно-режимные ситуации:

1. Параметры электроэнергетической системы при нормальной схеме.

2. Аварийное отключение ВЛ 220 кВ Заинск-Узловая 1 при ремонте ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 1.

В результате моделирования в программном комплексе «RastrWin3» обнаружилась следующая перегрузка:

При аварийном отключении ВЛ 220 кВ Заинск-Узловая 1 при ремонте ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 1 возникает перегрузка ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 2 (в размере 726 А, что составляет 121 % от величины АДТН=600 А) и ВЛ 110 кВ Северозападная-Акташ 2 (в размере 637 А, что составляет 106,2 % от величины АДТН=600 А).

Решение: Для устранения перегрузки на ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 2 и ВЛ 110 кВ Северозападная-Акташ 2 используются 1, 2, 3 ступени автоматики ограничения перегрузки оборудования (АОПО). Таким образом, перегрузка на ВЛ 110 кВ Заинск-Акташ 2 устраняется.

### **Источники**

1. Нормальная схема операционной зоны Республики Татарстан.
2. Программный комплекс «RastrWin3» Руководство пользователя, Неуймин В.Г., Машалов Е.В., Александров А.С., Багрянцев А.А., 2019. 324 с.
3. ГОСТ Р 58670-2019 «Расчеты электроэнергетических режимов и определение технических решений при перспективном развитии энергосистем» Нормы и требования. М.: Стандартинформ, 2019.
4. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология».
5. Энергосистема: схемы замещения и модели элементов для расчета установившихся режимов (теория с примерами). 2007. 57 с.
6. Справочник по проектированию электрических сетей / Д.Л. Файбисович; 4-е изд. М.: ЭНАС, 2012. С. 248-249.

## УСТАНОВКА БЛОКА ПГУ-850 МВт НА ЗАИНСКОЙ ГРЭС

Г.Х. Хамидулина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

i.galiya@mail.ru

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Е.А. Миронова

В статье рассмотрена установка энергетического блока ПГУ на Заинской ГРЭС и какое влияние окажет это строительство на энергетику Татарстана.

**Ключевые слова:** Заинская ГРЭС, ПГУ, энергетическая безопасность, КПД, оптовый рынок, энергосистема.

Заинская ГРЭС – крупнейшая электрическая станция Республики Татарстан.

С введением в строй Заинской ГРЭС – тепловой электростанции с 12 конденсационными блоками по 200 МВт – энергосистема Татарстана из дефицитной стала избыточной по мощности. Пуск первого энергоблока состоялся в 1963 году, строительство станции было завершено в 1972 году. [1]. Заинская ГРЭС входит в объединенную энергетическую систему Средней Волги. Отпуск электроэнергии осуществляется на три уровня напряжения: 110, 220 и 500 кВ. Станция является важнейшим участником оптового рынка электроэнергии и мощности.

Состояние Заинской ГРЭС определяет уровень энергетической безопасности Республики Татарстан. Учитывая срок эксплуатации станции, оборудование физически и морально устарело.

Установка энергетического блока ПГУ на Заинской ГРЭС, учитывая имеющуюся в наличии развитую сетевую инфраструктуру, позволит:

- существенно улучшить технико-экономические показатели станции,
- повысить эффективность использования топлива,
- снизить себестоимость электроэнергии, вырабатываемой станцией, за счет высокого КПД (64,7 %), тем самым стать конкурентоспособной на оптовом рынке электроэнергии и мощности;
- поднять надежность энергоснабжения, за счет снижения отказов электрооборудования;

– внедрить новые технологии в управлении ПГУ: автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) и автоматизированную систему управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО), что повысит маневренность работы станции в энергосистеме, а также позволит эффективно управлять процессами выработки и отпуска электрической энергии заданного качества и количества, включая обеспечение возможности участия энергоблока в ОПРЧ (общее первичное регулирование частоты), НПРЧ (нормированное первичное регулирование частоты) и АВРЧМ (вторичное регулирование частоты);

– обеспечить мониторинг, диагностику общестанционного и электротехнического оборудования.

Установка ПГУ была невозможна на территории действующей станции, что повлекло за собой необходимость расположения ПГУ вблизи станции, для чего были приобретены примыкающие к Заинской ГРЭС территории.

Надо отметить, что для сохранения общего объема выдачи мощности Заинской ГРЭС в электрическую сеть, не превышающем ранее установленную, необходимо будет вывести из эксплуатации 4 энергоблока по 200 МВт.

### **Источники**

1. Цель стратегии развития АО «Татэнерго» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.tatenergo.ru/upload/iblock/bd3/buklet2020\\_sayt.pdf](https://www.tatenergo.ru/upload/iblock/bd3/buklet2020_sayt.pdf) (дата обращения 12.03.2022).

УДК 621.315

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ НА ПГУ**

Г.Х. Хамидулина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[i.galiya@mail.ru](mailto:i.galiya@mail.ru)

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Е.А. Миронова

В статье рассмотрена система АСУТП ПГУ и АСУЭТО собственных нужд ПГУ. В части управления самой установкой ПГУ предлагается оставить только автоматический режим. Исключение ручного режима в работе ПГУ стало возможным благодаря современным методам работы оборудования АСУ ТП.

**Ключевые слова:** управление ПГУ, АСУ ТП, АСУ ЭТО, автоматический режим, ручной режим.



На сегодняшний день невозможно представить работу современной парогазовой установки (ПГУ) со всем комплексом технологического оборудования, электротехнического оборудования без внедрения автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и автоматизированной системы управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО), которые предназначены для:

- автоматизированного контроля и управления технологическими процессами управления электротехническим оборудованием;
- выполнения функций технологических и электрических блокировок оборудования;
- выполнения функций технологических защит;
- представления техническому и оперативному персоналу необходимой технологической/электротехнической информации;
- получения расчетных параметров, ведения архивов, создание протоколов и другой оперативной информации (для анализа, оптимизации работы оборудования и планирования его ремонтов);
- мониторинга, диагностики и управления общестанционным, блочным и другим вспомогательным технологическим оборудованием;
- мониторинга, диагностики и управления электротехническим оборудованием собственных нужд ПГУ.

Целью разработки современной АСУ ТП ПГУ является создание системы управления, которая сможет обеспечить:

- эффективное управление процессами выработки и отпуска электрической энергии заданного качества и количества, включая обеспечение возможности участия энергоблока в ОПРЧ (общее первичное регулирование частоты), НПРЧ (нормированное первичное регулирование частоты) и АВРЧМ (вторичное регулирование частоты);
- надежное и эффективное АСУ ТП в нормальных, аварийных, послеаварийных, переходных режимах работы;
- возможность наращивания АСУ ТП локальными системами управления (ЛСУ) без снижения скорости обработки информации и выдачи управляющих воздействий;
- необходимый уровень безопасности и безаварийности;
- требуемую точность, достоверность, достаточность и своевременность предоставляемой оперативной информации о протекании технологических процессов, состоянии тепломеханического и электротехнического оборудования в различных режимах;

- приспособляемость к возможным изменениям технологического процесса и алгоритмов управления, своевременное выявление неполадок и отклонений;

- улучшение культуры труда оперативного и обслуживающего персонала;

- предотвращение ошибочных действий персонала путем своевременной сигнализации;

- повышение экономической эффективности работы тепломеханического оборудования, сокращения затрат на его диагностику, эксплуатационное обслуживание и ремонт;

- расчёт технико-экономических показателей.

Для поддержания правильной и надежной работы ПГУ, АСУ должна быть предназначена для работы ПГУ в следующих режимах:

- в пусковых режимах (пуск из холодного состояния, пуск из неостывшего состояния, пуск из горячего состояния);

- при работе в регулировочном диапазоне нагрузок (основной режим эксплуатации, при котором основной задачей является поддержание электрической мощности в соответствии с заданием системного оператора);

- при плановых остановках (при останове блока для ремонтных работ, при выводе блока в капитальный ремонт);

- в аварийных режимах (режим, при котором оборудование должно быть немедленно отключено или разгружено).

Управление ПГУ можно разделить на два вида эксплуатации:

- в автоматическом режиме;

- в ручном режиме [1].

Изначально основной проблемой АСУ были ложное срабатывание или несрабатывание при зависании программы. На сегодняшний день современная АСУ предусматривает автоматический перезапуск микропроцессоров, относящихся к выполнению функции технологических защит, таким образом обеспечивается отсутствие ложного срабатывания в части технологических защит.

Современная АСУ ТП позволяет не только управлять ПГУ, управлять активной и реактивной нагрузкой ПГУ, маневрировать работой ПГУ, осуществлять мониторинг (например, контроль параметров: значения тока, напряжения, частоты,  $\cos\phi$ , температура, давление), производить самодиагностику и своевременно реагировать (при изменении параметра автоматическое отключение или сигнализация при неисправности), но и предупредить и практически полностью исключить ошибки оператора, возникновения и развития аварийных ситуаций.

Таким образом, исключение ручного режима в управлении работой ПГУ, за исключением аварийного режима (аварийное отключение), позволит практически полностью исключить аварийные ситуации, связанные с человеческим фактором.

### **Источники**

1. Жуков В.В. Электрическая часть электростанций с газотурбинными и парогазовыми установками: учеб. пособие. М.: ИД МЭИ, 2015. 519 с.

УДК 621.314.222

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ОТРАБОТАВШИХ НОРМАТИВНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ**

А.Д. Юдин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Andreww\_999@mail.ru

Науч. рук. канд. пед. наук, доц. Е.А. Миронова

Представлены наиболее эффективные диагностические параметры масла для трансформаторов, отработавших нормативный срок службы.

**Ключевые слова:** трансформатор, трансформаторное масло, дефект, диагностирование, срок службы, физико-химический анализ, изоляция, техническое обслуживание, анализ растворенных газов.

Силовые трансформаторы являются связующим звеном между электростанцией и электрическими сетями, в значительной мере определяющим надежность работы энергосистемы, поэтому проблема поддержания технического состояния трансформаторов и продления срока их службы стоит достаточно остро.

На сегодняшний день общее состояние трансформаторного оборудования характеризуется физическим износом: более 60 % трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ отработали нормативный срок службы (25 лет). Однако опыт эксплуатации показывает, что после отработки нормативного срока службы значительная часть маслonaполненных трансформаторов остается в рабочем состоянии [1].

Самым уязвимым элементом трансформаторного оборудования является изоляция. Существует два вида изоляции – твердая и жидкая. К жидкой изоляции относится масло, которое, в свою очередь, и является самым уязвимым. Поэтому специалисты разрабатывают системы контроля и мониторинга состояния трансформаторного масла, с помощью которых можно прогнозировать ее остаточный ресурс для своевременного ремонта.

Часто изоляция обмоток работает в сложных условиях, что ухудшает ее свойства. Трансформаторное масло в данном случае – ведущий диэлектрик, который несет большой объем диагностической информации [2].

Качество масла определяется лабораторными испытаниями его образцов, взятых из трансформаторов. Однако периодичность отбора проб определена только для сокращенного физико-химического анализа, в объем которого входят такие показатели как пробивное напряжение, температура вспышки в закрытом тигле и кислотное число [3].

Хроматографический анализ дает возможность, по образцам трансформаторного масла в работающем электрооборудовании, обнаружить повреждения и дефекты в электрооборудовании. Делается это на основе семи газов:  $H_2$  (водород),  $CH_4$  (метан),  $C_2H_2$  (ацетилен),  $C_2H_4$  (этилен),  $C_2H_6$  (этан),  $CO$  (оксид углерода) и  $CO_2$  (диоксид углерода).

Мониторинг состояния масла в силовых трансформаторах во время работы осуществляется с точки зрения параметров, которые не позволяют выявить начальные периоды ухудшения его свойств. В процессе эксплуатации трансформаторов качество масла также оказывает серьезное влияние на бумажную изоляцию [4].

Проведение анализа трансформаторного масла по показателям, наиболее полно отражающим его состояние, позволит своевременно провести такие профилактические мероприятия, как фильтрация, очистка, сушка, регенерация и т.п.

Это уменьшит затраты, повысит надежность и долговечность трансформаторов, которые выполнили нормативный срок службы. Поэтому актуальной задачей является изучение особенностей диагностики масляных трансформаторов 10/0,4 кВ, эксплуатируемых в рамках потребителей.

### **Источники**

1. Алексеев Б.А. Обследование состояния силовых трансформаторов // Электрические станции. 2003. № 5. С. 6-10.

2. Иванов В.С. Вопросы испытания и эксплуатации трансформаторных масел. М., 1962. С. 12-23.

3. Алексеев Б.А. Продление срока службы изоляции силовых трансформаторов // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2004. № 3. С. 7-18.

4. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов: монография. Иваново: ИГТУ, 2012. 55 с.

**Секция 11. ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ И  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ  
И НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ**

УДК 628.3.477.8

**ПОЛУЧЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО СОРБЦИОННОГО  
МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАРБОНАТНОГО ШЛАМА ДЛЯ  
ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ФЕНОЛСОДЕРЖАЩИХ  
СТОЧНЫХ ВОД**

Н.Е. Айкенова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

twrpx99@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Л.А. Николаева

Рассмотрен метод получения адсорбционного материала для очистки фенолсодержащих сточных вод на основе отхода энергетики – карбонатного шлама химводоподготовки АО «Актобе ТЭЦ». При проведении модификации карбонатного шлама получен сорбционный материал – гидрофобный порошкообразный карбонатный шлам МКШ. Подобраны оптимальные условия получения сорбционного материала МКШ: гидрофобизация шлама кремнийорганической жидкостью «Силор».

**Ключевые слова:** адсорбция, адсорбент, сточные воды, фенолы, карбонатный шлам, доочистка сточных вод.

В настоящее время наблюдается все больший рост промышленной деятельности предприятий, которые являются крупными потребителями природной воды для технических нужд.

На предприятиях производства нефтехимической продукции, формальдегидных смол, лаков и связующих, фармацевтических препаратов и пестицидов соединения фенола являются одними из основных загрязнителей промышленных сточных вод [1].

При очистке промышленных сточных вод широкое применение имеет метод адсорбционной очистки, который позволяет не только произвести очистку от загрязнителей до нормативно-допустимых сбросов (НДС), но и является экономически эффективным при внедрении. Эффективность использования отходов производства в качестве адсорбционных материал описывается ее экономической целесообразностью применения в технологиях очистки с высокой степенью очистки сточных вод и возможностью решить проблемы утилизации отходов производства [2, 3].

В качестве сорбционного материала предлагается использовать отход производства – карбонатный шлам химводоподготовки (ХВП) АО «Актобе ТЭЦ». В ранних работах приведены технологические характеристики карбонатного шлама и его химический состав [3, 4].

Карбонатный шлам ХВП имеет высокую гидрофильную способность и низкую смачиваемость органическими соединениями. Поэтому для увеличения адсорбционной емкости и смачиваемости органическими соединениями предлагается обработка карбонатного шлама ХВП гидрофобизирующим составом, в качестве которого было решено использовать продукт химической деструкции кремний органических вулканизаторов в тетраэтоксилане при наличии раствора щелочи – жидкость «Силор». Данная жидкость является отходом производства и по своему химическому составу подобна кремний органическим гидрофобизирующим жидкостям.

Модификация карбонатного шлама жидкостью «Силор» производится в соотношении 2:1, которое подобрано экспериментальным путем [5]. Для выбора оптимальной температуры пропитанный гидрофобизатором карбонатный шлам подвергается термообработке при 20–400 °С с оптимальным шагом температуры 100 °С в течение 20 мин с последующим охлаждением. На рис. 1 приведена кинетическая зависимость сорбционной емкости исходного и модифицированного карбонатного шлама по отношению к фенолам при различных температурах. Зависимость суммарного объема пор от температуры обработки сорбционного материала представлена на рис. 2.

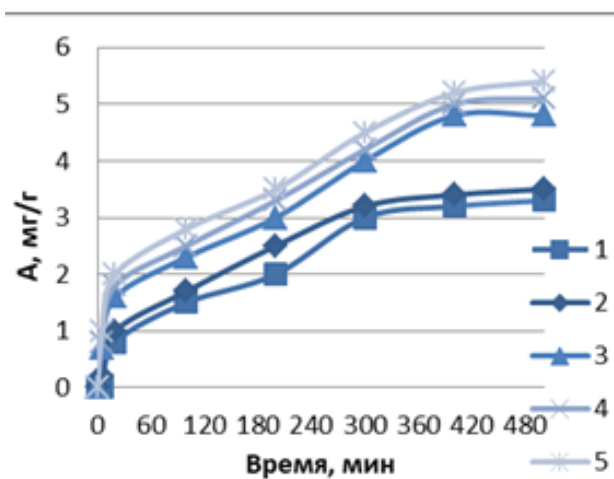


Рис. 1. Кинетическая зависимость сорбционной емкости исходного и модифицированного карбонатного шлама при различных температурах по отношению к фенолу: 1 – шлам ХВП; 2 – без термообработки (20 °С); 3 – при 200 °С; 4 – при 300 °С; 5 – при 400 °С

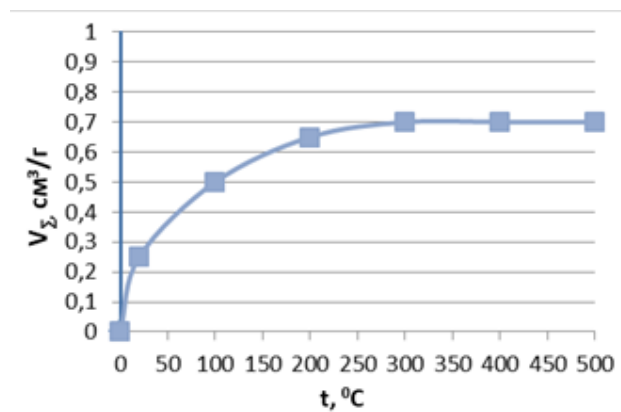


Рис. 2. Зависимость суммарного объема пор от температуры обработки разработанного порошкообразного сорбционного материала

По экспериментальным данным подобрана оптимальная температура получения сорбционного материала – 400 °С. При этом дальнейшая термическая обработка приводит к разложению гидрофобизирующего вещества, а при более низких температурах наблюдается снижение эффективности адсорбции.

Таким образом, на основе модифицированного карбонатного шлама получен порошкообразный гидрофобный сорбционный материал, который может быть использован при очистке промышленных сточных вод от фенолов в статических условиях.

Согласно полученным экспериментальным данным при температуре обработки 400 °С достигается максимальное значение суммарного объема и удельной поверхности сорбционного материала.

### Источники

1. Kulkarni S.J., Kaware J.P. Review on research for removal of phenol from wastewater // Int. J. Sci. Res. Publ. 2013. №3. P. 1-4.
2. Николаева Л.А. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод модифицированным карбонатным шламом: дисс. ... д-р техн. наук: 03.02.08. Казань, 2016. 267 с.
3. Николаева Л.А., Хамзина Д.А. Замазученный шлам химводоочистки – вторичный энергетический ресурс на объектах малой энергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. №5-6. С. 50-54.
4. Николаева Л.А., Айкенова Н.Е., Демин А.В. Адсорбционная очистка сточных вод промышленных предприятий отходом энергетики // Вестник НЦ ВостНИИ. №2. 2021. С. 102-110.
5. Пат. 117420 Российская Федерация: МПК С 02 F 1/28, С 02 F 1/24, С 02 F 9/02, С 02 F 103/02. Система очистки сточных вод от нефтепродуктов / Николаева Л.А., Бородай Е.Н.; заяв. и патентообл.: ФГБОУ ВПО «КГЭУ»; № 2012100491/05, заявл. 10.01.2012; опубл. 27.06.2012.



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА В БАРБОТАЖНОМ СЛОЕ

С.У. Аласгарли

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

tvt\_kgeu@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Е.А. Лаптева

Представлена приближенная математическая модель охлаждения газа и нагрева воды в барботажном слое на тарелке при турбулентном режиме. Показаны примеры расчета охлаждения водой газа на барботажных тарелках. Даны сравнения результатов расчетов тепловой эффективности охлаждения газа в зависимости от высоты газожидкостного слоя, а также от скорости газа в колонне с известными экспериментальными данными. Разработанная математическая модель и алгоритм расчета может применяться при реконструкции скрубберов в нефтехимии и энергетике.

**Ключевые слова:** барботаж, теплообмен, математическая модель, охлаждение газов.

Процессы тепло- и массообмена при непосредственном контакте фаз в пленочных, насадочных и барботажных системах являются одними из основных в химической технологии и энергетике [1–3]. Особенностью таких процессов является сопряженный перенос импульса, массы и энергии через межфазную поверхность контакта газа (пара) и жидкости. Существенное отличие барботажных систем, от пленочных и насадочных, состоит в том, что межфазная поверхность образуется в процессе диспергирования газа или пара в слой жидкости и ее площадь зависит как от теплофизических свойств барботажного слоя, так и в значительной степени от скорости газа и высоты столба жидкой фазы. Удельная поверхность барботажного слоя может составлять значения от 50 до 800 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> в зависимости от режима работы. Далее рассматривается пенный режим на тарелке.

Целью данной статьи является разработка математической модели охлаждения газов и нагрева жидкой фазы на барботажных тарелках при пенном режиме работы, что является актуальной задачей в нефтехимии, нефтегазопереработке и энергетике.

При составлении математической модели принято известное допущение о полном перемешивании газа в межтарельчатом пространстве в колонне и идеальном вытеснении газа в барботажном слое. Тогда для расчета тепловой эффективности и эффективности конденсации влаги на межфазной поверхности можно использовать выражения:

$$E_{\Gamma} = 1 - \exp(-N_{\Gamma}); E_x = 1 - \exp(-N_x), \quad (1)$$

где эффективность  $E_{\Gamma}$  и  $E_x$  записываются в виде отношений достигнутых показателей к максимально возможным (энтальпии и влагосодержания):

$$E_{\Gamma} = \frac{I_{\text{H}} - I_{\text{K}}}{I_{\text{H}} - I_{\text{K}}^*}; E_x = \frac{x_{\text{H}} - x_{\text{K}}}{x_{\text{H}} - x_{\text{K}}^*}. \quad (2)$$

В выражениях (1)  $N_x$ ,  $N_{\Gamma}$  – массообменное и тепловое числа единиц переноса, которые имеют вид:

$$N_{\Gamma} = \frac{(\alpha A)_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} c_{\text{p}\Gamma} V_{\Gamma}}, N_x = \frac{(\beta A)_x}{V_{\Gamma} \rho_{\Gamma}}, \quad (3)$$

где  $V_{\Gamma}$  – объемный расход газа, м<sup>3</sup>/с; размерность коэффициентов  $(\alpha A)_{\Gamma} \sim \text{Вт/К}$ ;  $(\beta A)_x \sim \text{кг/с}$ , т.е. произведение коэффициентов тепло-и массоотдачи на площадь межфазной поверхности. Данные коэффициенты вычисляются по выражениям математической модели или по эмпирическим выражениям для исследованных конструкций тарелок. Объемный расход газа  $V_{\Gamma} = w_{\Gamma} S_{\text{K}}$  (м<sup>3</sup>/с);  $S_{\text{K}}$  – площадь сечения колонны, м<sup>2</sup>.

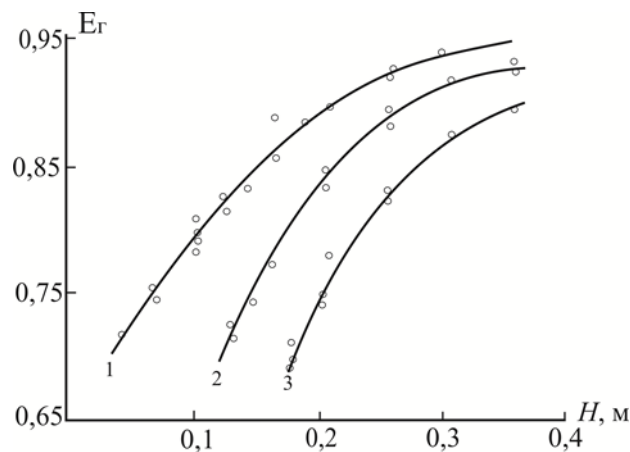


Рис. 1. Зависимость тепловой эффективности барботажной тарелки  $E_{\Gamma}$  от высоты газожидкостного слоя: о – экспериментальные данные; сплошные линии – расчет по (1);  
 1 –  $w_{\Gamma} = 1,5$  м/с; 2 –  $w_{\Gamma} = 2,5$  м/с; 3 –  $w_{\Gamma} = 3,5$  м/с

На рис. 1, 2 даны результаты расчета тепловой эффективности (1) с числом единиц переноса  $N_T$  (3) и сравнение с экспериментальными данными Позина М.Е. для тарелки провального типа. Высота газожидкостного слоя вычислялась по зависимости  $H_{Г-Ж} = h_{СТ} / (1 - \varphi)$  где  $h_{СТ}$  – высота статического столба жидкости;  $\varphi$  – газосодержание слоя.

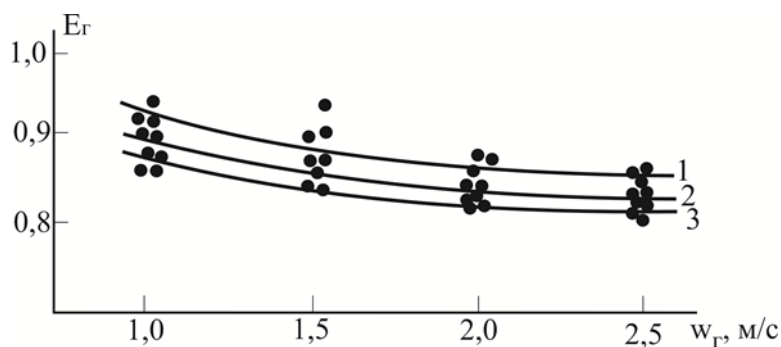


Рис. 2. Зависимость эффективности  $E_T$  от скорости газа при  $T_{г,н}=200^{\circ}\text{C}$  и удельном расходе  $V_{ж\text{сп}} = 3,5\text{ м}^3 / (\text{м} \cdot \text{ч})$ ; высота газожидкостного слоя: 1 – 0,105 м; 2 – 0,055 м; 3 – 0,03 м. Точки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчет по (1)

Из результатов экспериментов и расчетов следует, что с повышением высоты газожидкостного слоя (пены) тепловая эффективность увеличивается, а с повышением скорости газа (расхода газа) – снижается, что следует из выражения (1) для  $E_T$  и  $N_T$  (3).

Представленная математическая модель также может использоваться в расчетах барботажных контактных устройств, при ректификации и абсорбции смесей с тепловыми эффектами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136>.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен В.Л. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 3-9.

2. Забиров Э.М., Зиганшин Ш.Г., Политова Т.О., Базукова Э.Р. Внедрение системы смешения природного газа с атмосферным воздухом для экономии природного газа при выработке тепловой энергии // Вестник КГЭУ. 2020. Т. 12. № 2(46). С. 68-75.

3. Лаптева Е.А. Моделирование тепломассообмена при контактном охлаждении газов водой в пленочных скрубберах с интенсификаторами // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 1. С. 36-40.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА ТЭС ОТХОДОМ ЭНЕРГЕТИКИ

Э.Р. Зайнуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

my-elechka@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Л.А. Николаева

В работе предложено изучение процесса очистки обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов методом адсорбции. В качестве адсорбционного материала использован многотоннажный отход энергетики – шлам химводоподготовки. Получены экспериментальные данные по очистке обратноосмотического концентрата на стенде «Медиана-фильтр».

**Ключевые слова:** адсорбция, обратноосмотический концентрат, шлам химводоподготовки, тепловые электрические станции.

Технология обратного осмоса широко применяется в схемах водоподготовки на ТЭС. При обратноосмотическом обессоливании образуется пермеат высокого качества. Преимуществами мембранных установок является простота в эксплуатации, отсутствие применения реагентов. Серьезную проблему составляет наличие у обратноосмотических установок сбросных расходов концентрата, которые содержат все удаленные из воды соли и другие загрязнения, имеют высокую минерализацию, что делает невозможным не только их возврат в оборотный цикл, но и сброс в городской коллектор.

Утилизация обратноосмотического концентрата является серьезной проблемой не только в России, но и за рубежом.

Существует четыре основных метода утилизации обратноосмотического концентрата: сброс; минимизация отходов; безвредная обработка; переработка [1].

Для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду предложена возможность использования твердого отхода энергетики для очистки обратноосмотического концентрата ТЭС от сульфат- и хлорид-ионов.

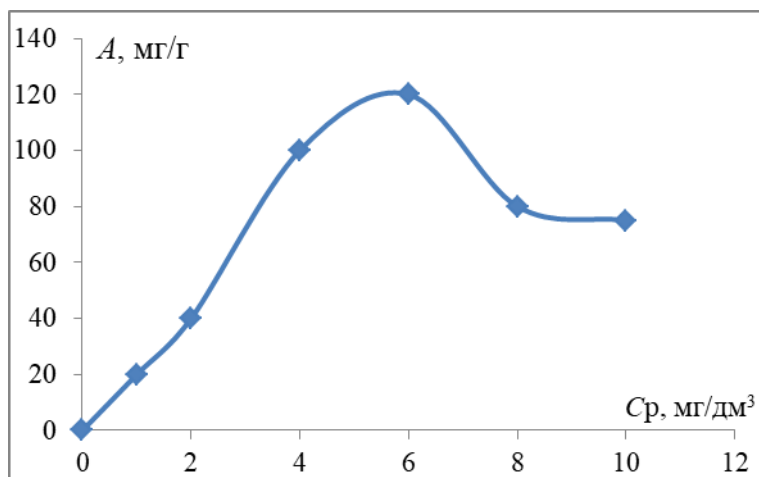
На лабораторной установке проводились экспериментальные исследования по получению обратноосмотического концентрата ТЭС. Лабораторная установка включает две ступени. Первая включает механическую очистку и ультрафильтрацию, вторая: мембранный блок обратноосмотического фильтра. Мембранные процессы характеризуются наличием особенного селективно проницаемого барьера между двумя фазами – мембраной. Мембрана – устройство, содержащее обратноосмотическую мембрану и представляющее собой аппарат минимальной производительности. Состоит из пермеатной трубки, а также плоских листов обратноосмотических мембран [2]. В процессе очистки происходит задержание частиц с размерами большими, чем размер пор, при этом фильтрат способен проникать сквозь поры, таким образом происходит разделение на два потока: концентрат и пермеат.

В качестве адсорбционного материала, для очистки полученного концентрата, предлагается использовать шлам химводоподготовки (ХВО) Казанской ТЭЦ-1. Шлам ХВО – образуется на предварительной стадии очистки сырой воды в результате процессов известкования и коагуляции. Химический состав и показатели водной вытяжки шлама представлены в ранних работах [3]. Гранулированный материал изготовлен из данного отхода энергетики.

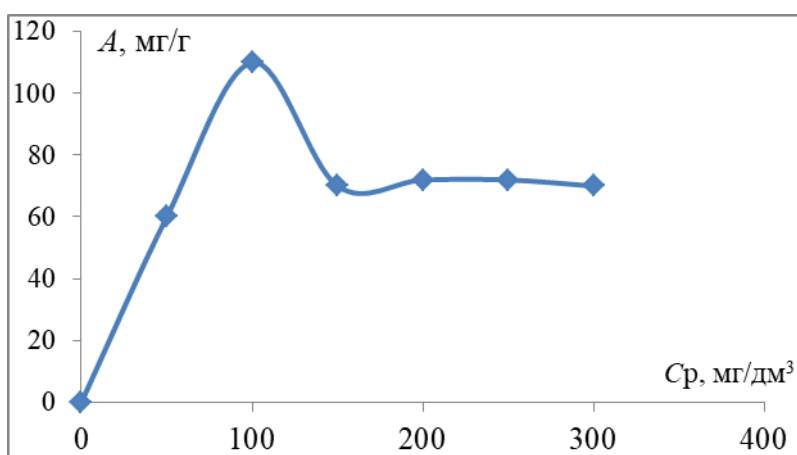
Для оценки адсорбционной емкости шлама ХВО по отношению к сульфат- и хлорид-ионам проведены исследования на полученном концентрате лабораторной установки. В статических условиях изучался процесс адсорбции. Были построены изотермы адсорбции с помощью которых определяли адсорбционную способность сорбента по отношению к сульфат- и хлорид- ионам. Для опыта использовался метод переменных навесок и постоянной концентрации [4]. По методике «Классического титрования солью свинца в присутствии дитизона» определяли концентрацию сульфат-ионов, методику меркуметрического титрования с индикатором дифенилкарбозидом применяли для определения хлорид-ионов.

Изотермы относятся в Н-типу по классификации Смита, что свидетельствует о протекании хемосорбции. Полученные изотермы описывают протекание хемосорбции, т.к. относятся к Н-типу по классификации Смита (см. рисунок).

Таким образом, эффективность очистки при использовании данного метода составляет 92 %.



а



б

Изотермы адсорбции сульфат- (а) и хлорид-ионов (б) карбонатным шламом Казанской ТЭЦ-1

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136>.

### Источники

1. Малахов И.А. Технология глубокого обессоливания добавочной воды на ТЭС с утилизацией сточных вод // Теплоэнергетика. 2006. № 8. С. 14–16.
2. Тверской В.А. Мембранные процессы разделения. Полимерные мембраны: учеб. пособие. М.:ИПЦ МИТХТ, 2008. 59 с.
3. Николаева Л.А., Хамзина Д.А. Замазученный шлам химводоочистки – вторичный энергетический ресурс на объектах малой энергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 5–6. С. 50–54.
4. Николаева Л.А., Миннеярова А.Р. Адсорбционная очистка обратноосмотического концентрата водоподготовительных установок ТЭС // Теплоэнергетика. 2019. № 5. С. 95-100.

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭНЕРГЕТИКИ

Н.П. Ильин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ilyinkolya.01@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Э.Р. Зверева

Промышленное производство в настоящее время все больше сталкивается с нехваткой качественных, устойчивых к нагрузкам сырьевых материалов, в частности керамического кирпича и других видов строительных материалов, обеспечивающих выпуск продукции, отвечающей высоким требованиям рынка. Разработка и внедрение в промышленное производство и строительство современных, качественных материалов, технологий утилизации промышленных и твердых бытовых отходов являются актуальной проблемой.

**Ключевые слова:** зола, золошлаковые отходы, химический состав, строительные материалы, утилизация, промышленные отходы.

Заводы по производству керамического кирпича чаще всего располагаются на местных месторождения глины, с целью снижения расходов на транспортировку производственного сырья. Однако, свойства получаемых из них изделий, сужают их область применения, поэтому иногда существует необходимость в использовании привозных материалов, в использовании новых конструктивных решений и технологий.

Для улучшения технических и эксплуатационных характеристик в некоторых случаях применяют промышленные отходы. Мы предлагаем использовать для этих целей промышленный отход - продукт очистки воды на ВПУ тепловых электростанций и золу, образующуюся после сжигания твердого и жидкого топлива [1].

Степень утилизации золошлаковых отходов в России по сравнению с европейскими странами крайне невысокая и составляет порядка 4–5 % [2].

В настоящее время для любого производства, любого промышленного предприятия необходимо рациональное использования сырьевых ресурсов и предотвращение отрицательного воздействия на окружающую среду [3].

Но стремительный рост негативного воздействия на окружающую среду создает необходимость разработки и внедрения новых эффективных и экологически безопасных технологий, а также совершенствования действующего законодательства в области техносферной безопасности и формированию экологического мировоззрения у населения [4].

Золовые отвалы тепловых электростанций занимают огромные территории и отчуждают их от полезного использования, загрязняют атмосферу и приводят к засаливанию грунтовых вод. Таким образом, золошлаковые отходы промышленных предприятий значительно ухудшают экологию, и с учетом того, что рост промышленных и твердых бытовых отходов будет неуклонно расти, то, следовательно, будет увеличиваться и их совокупное отрицательное воздействие на окружающую среду [5].

Состав золошлакового материала определяют количественным соотношением входящих в него химических элементов и соединений, которые зависят в первую очередь от состава исходного топлива, так как химический состав золы дает характеристику состава минеральных веществ органического топлива.

В основном, золошлаковые материалы состоят из оксидов алюминия, железа, кальция, кремния, магния. Также в них могут содержаться соли кальция, магния, железа; оксиды щелочных металлов: калия и натрия. В микроколичествах в золе могут также присутствовать фтор, марганец, кобальт, свинец, бор, ванадий, мышьяк и другие элементы.

Определение качественного и количественного химического состава золошлаковых отходов является необходимым условием для прогнозирования их свойств и определения направления их использования в различных отраслях народного хозяйства.

Известно большое количество исследований по использованию золошлаковых материалов тепловых электрических станций в различных отраслях экономики, но практическое применение их в строительной отрасли описано немного. В связи с этим использование золошлаковых отходов в производстве строительных материалов является актуальным [6].

Целью работы было произвести оценку возможности применения золошлаковых отходов энергетических предприятий при создании и внедрении строительных материалов на производственных мощностях Республики Татарстан.



## Источники

1. Румянцева В.Е., Смельцов В.Л., Федосова Н.Л., Хрунов В.А., Костерин А.Я. Экспериментальные исследования процессов массопереноса при жидкостной коррозии цементных бетонов // Приволжский научный журнал. 2010. № 1(13). С. 39-46.
2. Хусаинов А.К., Гурова Е.В. Использование золы ТЭЦ в производстве силикатного кирпича // Техника и технологии строительства. 2019. № 2(18). С. 41-45.
3. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г., Сысоев Э.П., Чухланов В.Ю. Разработка состава шихты для производства строительной керамики на основе сырья Владимирской области: глины и гальванического шлама // Стекло и керамика. 2016. №3. С. 31-33.
4. Кудрявцева Е.И., Макаров С.В., Макарова А.С. Управление степенью визуализации воздействия промышленных объектов на окружающую среду // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20. №11. С. 44-49.
5. Федорова Н.В., Щеглов Ю.В. Энергетика химических реакций взаимодействия золошлаковых материалов ТЭС с различными реагентами // Энергосбережение и водоподготовка. 2011. № 6(64). С. 54-55.
6. Зверева Э.Р., Плотникова В.П., Бурганова Ф.И., Зверев Л.О. Комплексный метод утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций // Вестник КГЭУ. 2019. Т. 11. № 2(42). С. 15-26.

УДК 66.066.7

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

Р.Я. Исхакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

imreginaiskh@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. А.Г. Лаптев

Представленная методика расчета эффективности и поверхности осаждения может применяться при модернизации или проектировании тонкослойных отстойников в различных отраслях промышленности и энергетики с целью повышения эффективности процесса разделения гетерогенных сред.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, осаждение, гетерогенные смеси, разделение суспензий.

Эффективное разделение суспензий является одной из приоритетных задач в области химической технологии и энергетики [1]. Для этого применяются различные процессы: фильтрование, отстаивание, центрифугирование, флотация и другие способы. Наименее энергозатратным процессом является отстаивание в тонкослойных отстойниках, для которых характерна установка блоков с плоскопараллельными пластинами или трубами (тонкослойных модулей). Данные модули секционируют поток смеси и исключают циркуляционные контуры. Пластины и трубы располагаются под углом для удаления осевшей дисперсной фазы. Методы расчетов таких тонкослойных отстойников в основном имеют эмпирический характер.

Поэтому целесообразным является разработка математической модели сепарации с минимальным привлечением экспериментальных данных.

Тонкослойные отстойники работают преимущественно при ламинарном режиме течения среды между пластинами тонкослойного модуля. Рекомендуется  $Re < 500$ , где  $Re = u_{cp} 2h / \nu_{ж}$  – число Рейнольдса;  $u_{cp}$  – средняя скорость жидкой фазы, м/с;  $h$  – расстояние между пластинами, м;  $\nu_{ж}$  – кинематический коэффициент вязкости жидкой фазы, м<sup>2</sup>/с. Расстояние между пластинами задают в интервале  $h = 0,02–0,05$  м, а угол наклона пластин к горизонту  $\alpha \approx 45–60^\circ$ . Удельная поверхность пластин  $a_v = F_0 / V$ , где  $F_0$  – общая геометрическая площадь поверхности пластин, м<sup>2</sup>;  $V$  – объем тонкослойного модуля, м<sup>3</sup>. В объеме модуля 1 м<sup>3</sup> с шириной, высотой и длиной равными 1 м уместится  $n$  – число пластин:  $n = 1 / n - 1$ .

Тогда удельная поверхность пластин будет равна  $a_v = 2 \times 1,0 \text{ м} \times 1,0 \text{ м} \times n / 1 \text{ м}^3$ , м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. В числителе множитель 2 учитывает поверхность пластины с двух сторон. Однако при наклоне пластины осаждение частиц происходит только на одну поверхность, тогда, удельная поверхность будет  $a_v = 1 / n - 1$ , м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Допущения к математической модели:

- расчет выполняется для частицы заданного размера, а учет полидисперсности может выполняться пофракционно;
- учет формы частицы выполняется с помощью коэффициента формы по известным выражениям;

– учет стесненности движения частиц с концентрацией менее 5%, ( $\varphi < 0,05$ ) не выполняется, а при больших значениях концентрация с применением известных зависимостей, например  $\bar{u}_{oc} = u_{oc}(1 - \varphi)^m$ , где  $\bar{u}_{oc}$  – скорость стесненного осаждения, м/с;  $u_{oc}$  – скорость свободного осаждения, м/с;  $\varphi$  – объемная доля частиц, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $m \approx 1,5$  – эмпирический коэффициент;

– при осаждении частицы не слипаются; режим движения потока установившийся и ламинарный;

– осажденные частицы достигнув поверхности пластины не срываются обратно в поток;

– градиент температуры поперек потока отсутствует.

Перенос частиц к поверхности пластин происходит за счет силы тяжести, конвективного механизма и броуновской диффузии.

Плотность потока запишется в виде суммы

$$j \approx \bar{u}_{oc} \Delta C + \bar{u}_k \Delta C + \frac{D_{об}}{h} \Delta C, \quad (1)$$

где  $j$  – плотность потока осаждающихся частиц, кг/м<sup>2</sup>с;  $\bar{u}_{oc}$  – средняя скорость гравитационного осаждения, м/с;  $\bar{u}_k$  – средняя скорость конвективного переноса частиц к поверхности, м/с;  $D_{об}$  – коэффициент броуновской диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $\Delta C$  – движущая сила процесса осаждения, т.е. разность концентраций в ядре потока и на стенке, кг/м<sup>3</sup>. Роль каждого механизма переноса зависит от размера и плотности частиц. Движущая сила  $\Delta C = C_\infty$ , т.к. достигнув стенки пластины, частица, прилипнув к поверхности, покидает несущую жидкую фазу и  $C_{гр} = 0$ .

Дифференциальное уравнение переноса дисперсных частиц в плоскопараллельном канале без наклона пластин ( $\alpha = 0^\circ$ ) при  $H \gg d_3$ , записывается в форме:

$$u_{ж}(y) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left[ D_{об}(y) \frac{\partial C}{\partial y} \right] - C u_{oc}(y) \right\}, \quad (2)$$

где  $H$  – длина канала, м;  $d_3$  – эквивалентный диаметр канала ( $d_3 = 2h$ ), м;  $u_{ж}(y)$  – скорость жидкой фазы, как функция координаты, м/с;  $z, y$  – продольная и поперечная координаты, м;  $C$  – концентрация частиц, кг/м<sup>3</sup>.

Граничные условия к уравнению (1):

- при  $z = 0$  (вход в канал):  $C = C_H$ ;  $u_{ж}(y) = u_{нж}(y)$ ;
- при  $y = h/2$  (на оси симметрии):  $\partial C / \partial y = 0$ ;  $u_{ж}(r) = u_{ж \max}$ ;
- при  $y = 0$  (на стенке канала):  $\partial C / \partial y = 0$ ;
- при  $z = H$  (выход из канала):  $\partial C / \partial z = 0$ .

Для учета угла наклона пластин учитывается функция зависимости поверхности осаждения от угла  $F = f(F_0, \alpha)$ . В упрощенной форме примем одномерную модель с межфазным объемным источником осаждающихся частиц с учетом угла наклона тонкослойного модуля. Тогда

$$u_{\text{cp}} \frac{dC}{dz} = D_3 \frac{d^2C}{dz^2} + R, \quad (3)$$

где  $D_3$  – коэффициент «тейлоровской» диффузии в ламинарном потоке, который учитывает продольную и броуновскую диффузию

$$D_3 = D_{\text{бр}} + \frac{u_{\text{cp}}^2 r^2}{48 D_{\text{бр}}}, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус канала,  $r = h/2$ , м.

Источник осаждающихся частиц записывается в форме

$$R = \frac{\bar{u}_{\text{ос}} dF}{dV} \cos \alpha, \quad (5)$$

где  $dF$  – элемент площади поверхности канала (пластины),  $\text{м}^2$ ;  $dV$  – элементарный (локальный) объем канала,  $\text{м}^3$ .  $dF/dV = da_V$  – удельная поверхность площади канала в локальном объеме,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №18-79-10136 <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>.

### Источники

1. Дмитриев А.В., Зинуров В.Э., Дмитриева О.С., Нгуен Ву Л. Очистка газовых выбросов котельных установок от твердых частиц // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. №1. С. 3-9.

## НЕОБХОДИМОСТЬ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК

В.И. Королев

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань

eziodepakes@gmail.com

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Э.Р. Зверева

В статье обозначена необходимость разработки метода утилизации отходов, образующихся на предприятиях топливно-энергетического комплекса (ТЭК) с необходимостью учета вариативности применяемых решений в зависимости от физико-химических свойств отходов. Проанализированы технологии, основанные на принципе «отходы-в-ресурс», при котором возможно достижение «нулевого» размещения на территории предприятий, что удовлетворяет условиям реализации циркулярной экономики на предприятиях ТЭК.

**Ключевые слова:** ТЭК, вторичное использование отходов, карбонатный шлам, золошлаковый отход.

В Российской Федерации количество отходов на объектах ТЭК оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, составляет примерно 40 % от всего количества производственных отходов, что составляет 90–95 млн т/год. При этом только объем золошлаковых отходов (ЗШО) ежегодно пополняется и уже равен 2 млрд т, приводящих к отчуждению территорий более чем 22 000 га [1].

На сегодняшний день во всем мире и в России проблема утилизации и переработки отходов стоит сегодня особенно остро. Это касается не только ТКО, но отходов производства. Так, на долю ТЭЦ/ ТЭС в России приходится около 77 % вырабатываемой электроэнергии, масштабы образуемых шламовых отходов при технологии химической подготовки воды являются существенными для организации промышленной переработки. На сегодняшний день, единой технологии утилизации и(или) использования шламовых отходов, в частности карбонатного шлама, для ТЭЦ и ТЭС не существует [2].

На текущий момент, объекты ТЭК ежегодно вкладывают значительные финансовые и человеческие ресурсы на содержание, эксплуатацию и реконструкцию действующих отвалов производственных отходов (в основном золошлаковых), а также на строительство и отчуждения огромных территорий земельных участков под новые отвалы, что приводит к изъятию земель из промышленного и сельскохозяйственного производства. Все эти издержки потенциально влияют на повышение себестоимости генерации тепла и электроэнергии, платы за негативное воздействие на окружающую среду [1].

Таким образом, перед объектами ТЭК стоит задача по решению проблемы дальнейшей обработки, хранения и утилизации ЗШО с получением экологической и экономически выгодной продукции.

Изучая возможные способы использования ЗШО следует вывод, что в частности карбонатный шлак является универсальным материалом для получения различных видов продукции и использования в различных отраслях промышленности. На практическом опыте наиболее востребован карбонатный шлак в строительной отрасли, а также в качестве сорбционного материала при реализации технологических и технических решений различных природоохранных мероприятий по очистке выбросов, сточных вод и рекультивации.

Учитывая вышеизложенное, карбонатный шлак является идеальным примером использования отхода в качестве ресурса, при котором возможно достижение «нулевого» размещения отходов предприятий ТЭК.

### **Источники**

1. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. №4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskiy-obzor-nakoplenno-go-v-rossiyskoy-federatsii-opyta-vovlecheniya-v-hozyaystvennyy-оборот-zoloshlakovyh-othodov> (дата обращения 03.03.2022).

2. Ильин Н.П., Назаров А.И., Королев В.И., Нургалиев А.И., Зверева Э.Р. // Сб. Тезисов IV Всерос. с межд. участием школы-конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Материалы и технологии XXI века». Казань: КФУ, 2021. №1.

## ОБЕССОЛИВАНИЕ И ОБЕЗВОЖИВАНИЕ НЕФТИ

К.И. Насибуллина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nasibullina.karina@list.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, проф. Э.Р.Зверева

В данной статье рассмотрены поверхностно-активные вещества и их применение в обессоливании и обезвоживании нефти. Рассмотрены ПАВ как деэмульгаторы нефтяных эмульсий, а также изучены этапы обезвоживания и обессоливания нефти деэмульгаторами.

**Ключевые слова:** поверхностно-активные вещества, поверхностное натяжение, нефть, деэмульгатор, обезвоживание, обессоливание, нефтяная эмульсия, фаза.

Водонефтяная эмульсия представляет собой устойчивую смесь нефти и компонентов воды. Ее устойчивость зависит от многих факторов, например, от продолжительности существования. Для разделения водонефтяной эмульсии на составляющие зачастую применяют поверхностно-активные вещества. Увеличение диспергируемости фазы поверхностно-активными веществами на границе раздела способствует уменьшению поверхностного натяжения на границе раздела фаз, при этом адсорбционный слой не допускает их слияния при отстаивании [1]. Эмульсия образуется с помощью эмульгаторов. Разрушение эмульсии осуществляется, например, с помощью деэмульгаторов.

В нефти возникает гидрофильный слой (он обладает низкой структурно-механической прочностью). Образующиеся из устойчивых эмульсий неустойчивые соединяются в большие глобулы и осаждаются из дисперсионной среды. Реакция дестабилизации считается лимитирующей стадией процесса обезвоживания и обессоливания нефти.

Она, в свою очередь, состоит из двух этапов: введение деэмульгатора на поверхность эмульсии; разрушение оболочки, образованной эмульгатором нефти [2].

На установках обезвоживания и обессоливания нефти более предпочтительны нефтерастворимые деэмульгаторы, так как они легко смешиваются с нефтью и малорастворимы в воде, а также обладают относительно низкой температурой замерзания и удобны при перевозке [3].

Для растворения нефтерастворимых деэмульгаторов используют низкомолекулярные спирты, ароматические углеводороды и их смеси. Для реализации процесса обессоливания и обезвоживания нефтяных продуктов используются различные методы: механический, термический, химический и др. В некоторых случаях применяются электрообессоливающие установки (ЭЛОУ) [4].

В ЭЛОУ эмульсия пропускается через электрическое переменное поле, которое позволяет осуществить следующее: капли воды поляризуются, деформируются и впоследствии коагулируют. После укрупнения капель увеличивается их масса, осаждение осуществляется намного быстрее [5].

В докладе представлен анализ существующих методов разделения водонефтяной эмульсии на составляющие компоненты. Показаны способы удаления капель воды из нефти при ее пропускании через электрическое переменное поле в ЭЛОУ.

### **Источники**

1. Абрамзон А.А., Боброва Л.Е., и др. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества. М.: Химия, 1979. 376 с.
2. Плетнев М.Ю. Поверхностно-активные вещества и композиции. М.: ООО «Фирма Клавель», 2002. 768 с.
3. Абрамзон А.А., Файнгольд С.И. Поверхностно-активные вещества. Синтез, анализ, свойства, применение. М.: Химия, 1988. 200 с.
4. Шварц А., Перри Дж. Поверхностно-активные вещества. Их химия и технические применения. М.: Химия, 1953. 550 с.
5. Мыкоц Л.П., Савельева Т.А., Бондарь С.Н. Основы коллоидной химии: учеб. пособие. Пятигорск: Пятигорская ГФА. 2010. 75 с.

УДК 628.33

## **РАЗРАБОТКА СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОТХОДА ТЭС**

А.В. Травникова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alex.travnikova@mail.ru

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. Р.Я. Исхакова

В статье рассмотрена проблема загрязнения сточных вод анионными синтетическими поверхностно-активными веществами, методы очистки сточных вод от АСПАВ, а также возможность использования карбонатного шлама в качестве вторичного материального ресурса.

**Ключевые слова:** поверхностно активные вещества, очистка сточных вод, гранулы, сорбционная емкость, карбонатный шлам, вторичные материальные ресурсы, сорбционные материалы.



Проблема защиты окружающей среды – одна из важнейших задач современности. Сбросы сточных вод промышленных предприятий топливно-энергетического комплекса в водоемы отрицательно влияют на окружающую природную среду, так как при недостаточной их очистке установлено негативное воздействие различных поллютантов, которые оказывают воздействие на все живые организмы, неорганическую среду, растения и человека. Одним из таких поллютантов является анионные синтетические поверхностно-активные вещества (АСПАВ). При взаимодействии с загрязнениями АСПАВ влияют на эмульгирование и стабилизацию жидких и твердых дисперсных видов загрязнений, что создает дополнительные сложности, связанные с их очисткой и разделением [1].

Еще одной задачей является снижение антропогенного воздействия на окружающую природную среду путем утилизации отходов производства. Предположительно, если уровень переработки отходов останется прежним, уже к 2030 г. объем накопленных отходов превысит 2 млрд т.

Для решения этой проблемы перспективным направлением является использование отходов и побочных продуктов в качестве вторичных материальных ресурсов.

На теплоэлектростанциях (ТЭС) образуются различные отходы производства: зола, шлаки, золосажевые отложения и т.д. Одной из экологических задач на ТЭС является вопрос утилизации карбонатного шлама водоподготовки, который образуется в результате работы систем химводоочистки. Был изучен химический состав карбонатного шлама:  $\text{Ca}^{2+}$  – 87,  $\text{Mg}^{2+}$  – 9,7,  $\text{CO}_3^{2-}$  – 71,7,  $\text{OH}^-$  – 10,03,  $\text{SO}_4^{2-}$  – 5,7, гуминовые вещества – до 11 % масс [2].

В работе предлагается использовать карбонатный шлам в качестве сорбционного материала. Для улучшения прочности свойств сорбционного материала и скрепления карбонатного шлама в гранулы, было проведено исследование по разработке гранул карбонатного шлама с различными видами связующего. С целью определения оптимального вещества в качестве связующего использовали: крахмал, жидкое натриевое стекло (ЖНС), поливиниловый спирт, парафин, в результате чего было получено 4 вида сорбционного материала, которым присвоили условные обозначения (СМ1–СМ4).

СМ1 состоит из карбонатного шлама и крахмала в соотношении 2:1 по массе.

СМ2 состоит из карбонатного шлама и жидкого натриевого стекла в соотношении 2:1 по массе. ЖНС представляет собой силикатный клей на основе силиката натрия с содержанием каустической соды. За счет отвердевающих качеств жидкое стекло повышает прочность обработанных поверхностей.

СМ3 состоит из карбонатного шлама и поливинилового спирта в соотношении 1:1 по массе. Достоинством связующего является то, что оно не подвержено разрушению под действием ультрафиолета и бактериальных микроорганизмов.

СМ4 состоит из карбонатного шлама и парафина в соотношении 2:1 по массе. Предварительно был нагрет до температуры 50 С°.

В результате методом окатывания вручную получили гранулы размерами от 3–5 мм, путем силового воздействия при формовании перерабатываемого материала. Наиболее успешно поддавались окатыванию гранулы СМ1, а гранулы СМ4 наиболее трудно поддавались преобразованию в требуемый размер.

После окатывания СМ1–СМ4 подвергались сушке при температуре 150–250 °С на протяжении часа, после которой помещались в эксикатор на сутки при нормальных условиях. По истечении этого времени, методом переменных навесок, определяли сорбционную емкость гранул [3].

После перемешивания в течении 1 суток в статистических условиях растворы отфильтровали и определяли сорбционную емкость каждого образца путем микроэкстракции с дальнейшим определением концентрации фотометрическим методом с метиленовым синим на КФК-3.

Сорбционная емкость сорбционного материала оценивалась по формуле:

$$A = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{конеч}})}{m} \cdot V_a = \frac{V_0 \cdot (C_{\text{исх}} - C_{\text{конеч}})}{m}, \text{ мг/г},$$

где  $A$  – сорбционная емкость, мг/г;  $V$  – объем пробы модельного раствора, пропущенного через сорбент, л;  $C_{\text{исх}}$  и  $C_{\text{конеч}}$  – исходная и конечная концентрация АСПАВ в растворе, мг/л;  $m$  – масса образца сорбента, г.

Также была определена насыпная плотность СМ1 – СМ4 по методике [4].

Насыпная плотность сорбента а оценивалась по формуле:

$$B = \frac{m}{V}, \text{ г/см}^3,$$

где  $m$  – масса ионита, г;  $V$  – объем ионита, см<sup>3</sup>.

Результаты приведены в таблице:

## Полученные результаты

	СМ1	СМ2	СМ3	СМ4
$A, \text{м}^2/\text{г}$	10,3	11,2	10,35	10,79
$B, \text{г}/\text{см}^3$	0,497	0,72	0,456	0,638

По результатам установлено, что наилучшей адсорбционной способностью обладают гранулы карбонатного шлама СМ1 – СМ4, в которых в качестве связующего использовали ЖНС и парафин.

### Источники

1. Голицина Л.А., Голицин С.А. Особенности реализации регионального проекта «чистая вода» в республике Татарстан // Вестник КГЭУ. 2020. Том 12 №2

2. Николаева Л.А., Хамзина Д.А. Замазученный шлам химводоочистки – вторичный энергетический ресурс на объектах малой энергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. №5-6. С. 50-54.

3. ПНДФ 14.1:2.258-10. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в природных и сточных водах фотометрическим методом с метиленовым синим.

4. ГОСТ 16190-70. Сорбционный метод определения насыпной плотности.

УДК 621.22

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОСРЕДСТВОМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА

Л.Р. Шайхутдинова

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

shayhutdinovalyailya@gmail.com

Науч. рук. канд. техн. наук, доц. С.В. Смирнова

В данной статье рассматриваются способы получения электроэнергии, их достоинства и недостатки, а также описаны технические характеристики предложенной установки.

**Ключевые слова:** электроэнергия, гидроэнергетическая установка, экологическая система.

Источники первичной энергии способствуют генерации электричества – процесса получения электрической энергии. Отличительной особенностью электричества является то, что оно отсутствует в природе в большом количестве, следовательно, его необходимо производить, т.е. генерировать. Производство электроэнергии происходит на промышленных предприятиях, называемых электростанциями. Способы получения электрической энергии представлены на рис. 1.



Рис. 1. Схема классификации видов электроэнергетики

Указанные выше способы получения электроэнергии имеют следующие недостатки:

- крупные габариты, что становится причиной нарушения состояния экосистем;
- требуются большие капиталовложения;
- используется турбинный метод преобразования механической энергии воды и многие другие причины.

Именно поэтому в настоящее время стараются использовать альтернативную энергетику (рис. 2).



Рис. 2. Классификация альтернативных источников энергии

Разработанная нами установка относится [1] к альтернативной гидроэнергетике, а именно – волновой. Для корректного функционирования устройства требуется высота волн не менее 0,75 м и скорость течения – от 1 м/с.

Сама гидроэнергетическая установка (ГЭУ) [2] выглядит так (рис. 3).

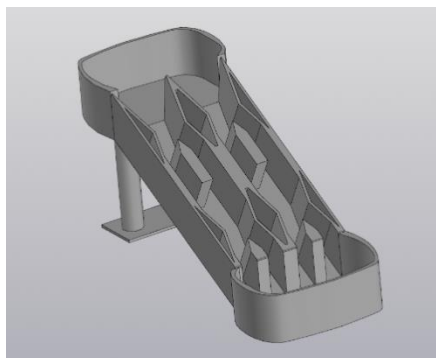


Рис. 3. Основной гид ГЭУ (в разрезе)

Данная установка будет иметь следующие параметры, указанные в таблице.

Параметры ГЭУ

Параметры	Ед.изм.	Величина
Номинальная выходная мощность ГЭУ	кВт	5
Максимальная выходная мощность ГЭУ	кВт	6
Выходная мощность пьезодатчика	Вт	120
Объем накопительного резервуара	м <sup>3</sup>	1
Габариты ГЭУ	м	2 x 0,7 x 1,5

Для получения большего количества энергии, предлагается устанавливать устройство каскадом из 6–10 штук (рис. 4).

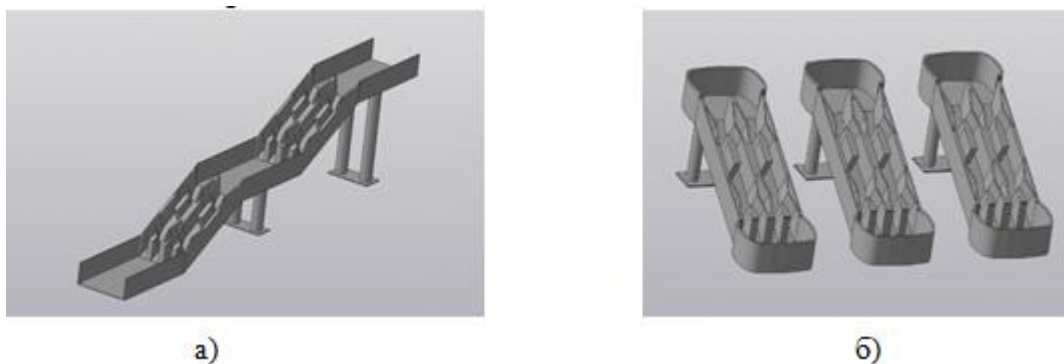


Рис. 4. Установка ГЭУ каскадом: а) вертикальный вариант установки каскада, б) горизонтальный вариант установки каскада

В случае применения каскада установок, можно будет получить электроэнергию в размере от 15 до 40 кВт, необходимую для таких потребителей, как фермерские хозяйства, различные садовые общества и небольшие сельские поселения, генерация и трансферт электричества на территории которых затруднены.

Таким образом, была разработана ГЭУ, которая не будет наносить экологический урон и иметь следующие достоинства: простота конструкции; надежность в работе; принцип преобразования энергии отличный от распространенных; малые габариты и вес (по сравнению с существующими ГЭС).

#### **Источники**

1. Шайхутдинова Л.Р., Смирнова С.В. Пьезоэлектрические датчики как средство получения экологически чистой энергии // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: VI Нац. науч.-практ. конф. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2020. С. 47-49.

2. Патент РФ №183125. 2018. Бюл. №26. Гидроэнергетическая установка / Мингазетдинов И.Х., Бурова И.Д., Лисин Р.А., Сагель А.О., Смирнова С.В.

## DESCRIPTION OF THE STRUCTURAL DIAGRAM OF THE HYDROPOWER PLANT AND ITS TECHNICAL CHARACTERISTICS

L.R. Shayhutdinova

ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

shayhutdinovalyailya@gmail.com

Scientific advisor S.V. Smirnova, E.Yu. Lapteva

The article considers a hydropower plant based on the piezoelectric method.

**Keywords:** electric power, piezogenerator, hydropower plant, ecological system.

Today there are many ways to generate electricity. One of the main ones is hydropower. However, the construction of hydroelectric power plant (HPP) and the placement of hydropower plants has a detrimental effect on water bodies. Taking into account that the problem of ecological disaster is always an important topic, our goal was to develop a small-sized hydropower device (HPP), which will not have a large-scale negative impact on water bodies.

Let's consider in detail the structural diagram of the developed unit (Fig. 1.) for a detailed presentation of the principle of its operation.

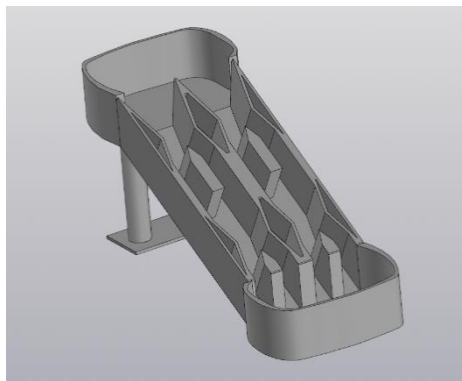


Fig. 1. Sectional view of the HPP

The selected HPP [1] contains a system of piezoelectric generators, which have the following elements: piezoelectric element (most often it is a piezoelectric plate or disk) PE and current rectifier (CR). The structural diagram of the HPP with piezoelectric sensors is shown in Fig. 2.

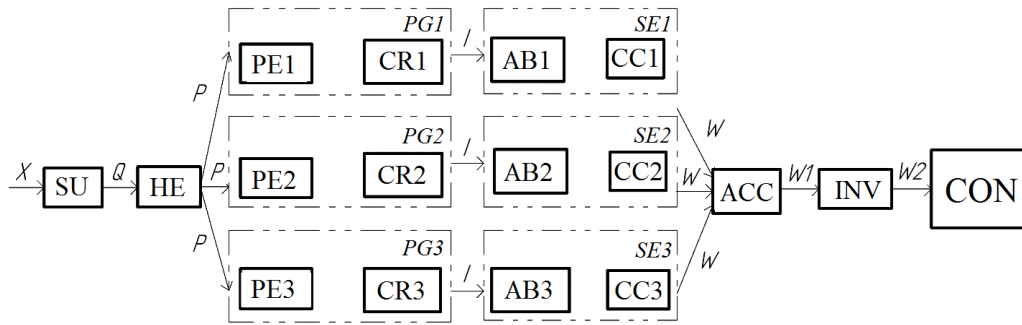


Fig. 2. Structure diagram of HPP with piezogenerators SU - storage unit; HE - hydrodynamic emitter; PE - piezo-element; CR - current rectifier; PG - piezo generator; AB - accumulator battery; CC - charge controller; SE - storage element; ACC – accumulator; INV - inverter; CON - energy consumer

Hydropower plant contains a water storage reservoir, from which the inclined pressure conduit, in which the water flow  $X$  into the slotted guiding device (GA) is organized. In SU the water flow rate  $Q$  is increased due to the narrowing channels, from where it comes to the hydrodynamic emitter (HE) of the plate type. Getting on the radiator blade, the stream of liquid is torn off and forms cavitation vortices, which, pulsating, move down the flow of the conduit. They collapse and form pulses of sound pressure or, in other words, force  $P$  in the liquid. These pulses affect the piezoelectric elements (PE) placed along the waterway, from which and due to the direct piezoelectric effect it is possible to remove the electric potential, subsequently converted into an electric current  $I$  due to the current rectifiers (CR) contained in the structure of the piezo emitters. Together, the PE and CR constitute a piezo generator (PG).

The first circuit element, which is directly affected by the value being converted, is often made of piezoceramics or barium titanate, or is a piezoceramic plate that is made of powder materials - lead titanate zirconate, lead niobate, etc. This unit converts the discrete force  $P$  into an electromotive force  $E$ , which is fed to the CR.

It should be kept in mind that the water flow has a different effect on each of the piezo-sensors, as they differ in their location on the hydroelectric power plant. Consequently, the values converted by the different channels have different values. But they all go to the energy storage device (SU).

A CR is an electrical energy transducer; a mechanical, vacuum, semiconductor, or other device designed to convert an input electric current of alternating direction into a direct current (that is, a unidirectional current). The CR (diode or diode bridge) allows us to obtain the desired magnitude and direction of current  $I$ .



The SE usually together with the controller (CC) is a kind of accumulator or battery, which stores the energy  $W$  obtained from the electric current generated by the PG for its further use [2]. The accumulator / battery pack uses the feedback between the SE itself and C to stabilize the values of the energy received and the energy required. After the accumulator unit the coordinated energy goes first to the accumulator(ACC), then to the inverter - pulse energy converter - which actually converts the accumulated in the accumulator 12 V to 220 V familiar to the consumer (CON).

The above described installation will have the following technical characteristics, given in Table.

Technical characteristics

Parameters	Unit of measurement	Value
Rated output power of HPP	kW	5
Maximum output power of HPP	kW	6
Piezo output power	W	120
Storage tank volume	m <sup>3</sup>	1
Dimensions of HPP	m	2 x 0,7 x 1,5

To get more power, it is suggested to install the device in a cascade of 6–10 pieces.

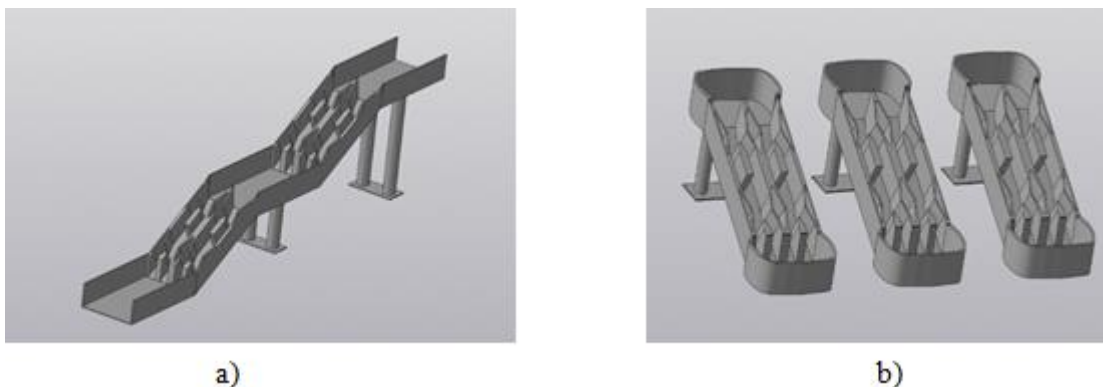


Fig. 3. Cascade of 6-10 pieces: a) vertical variant of the cascade installation, b) horizontal variant of the cascade installation

In the case of a cascade of plants, it will be possible to obtain the 15 to 40 kW of electricity needed for consumers such as farms, various gardening societies and small rural settlements, the generation and transfer of electricity in the territory of which is difficult.

Thus, a hydroelectric power plant without environmental damage has been developed and which has the following advantages:

- simplicity of design;
- reliability in operation;
- energy conversion principle different from the widespread ones;
- the possibility of conversion of mechanical impacts into an electric charge;
- small size and weight (in comparison with existing hydroelectric power plants).

### References

1. Patent of Russian Federation № 183125 for a useful model «Hydroenergetic installation». Authors Mingazetdinov I.Kh., Burova I.D., Lisin R.A., Sagel A.O., Smirnova S.V. Propubl. 11.09.2018. Bulletin no. 26.

2. Ganeev F.A., Porunov A.A., Soldatkin V.V., Soldatkin V.M., System-technical design of measuring-computing systems: a training manual for course and diploma design / Edited by Professor V.M. Soldatkin. Kazan: Publishing house of Kazan. State Technical University, 2011. 150 с.

УДК 62-682

## ПРОЕКТ УТИЛИЗАЦИИ СБРОСНОГО ТЕПЛА ОТ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.Д. Юровская  
ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск  
valeriya.yurovskaya@mail.ru  
Науч. рук. С.В. Латушкина

В статье была изучена система охлаждения оборудования Братской ГЭС, определены потери сбросного тепла. Также была разработана оптимизированная схема теплогенерации на основе теплонасосных установок, определены основные затраты на реализацию проекта.

**Ключевые слова:** низкопотенциальное тепло, гидроэлектростанция, система охлаждения, теплонасосная установка, система теплоснабжения.

Рациональное использование энергетических ресурсов представляет собой важную задачу, поставленную перед современным обществом, и для ее успешного решения необходимы новые энергосберегающие технологии и установки, использующие нетрадиционные источники энергии. В последнее время все более перспективным становится применение теплонасосных установок (ТНУ). В качестве внешнего теплоисточника в ТНУ может использоваться сбросное тепло от оборудования гидроэлектростанции (ГЭС).

Опираясь на опыт Усть-Илимской ГЭС, был разработан проект установки ТНУ на Братской ГЭС [1].

На данный момент на Братской ГЭС установлено 14 гидрогенераторов и 18 трансформаторов, при этом охлаждение оборудования осуществляется водой, забор которой выполняется с нижнего бьефа Братского водохранилища. Схема охлаждения гидрогенератора представлена на рис. 1 [2, 3].

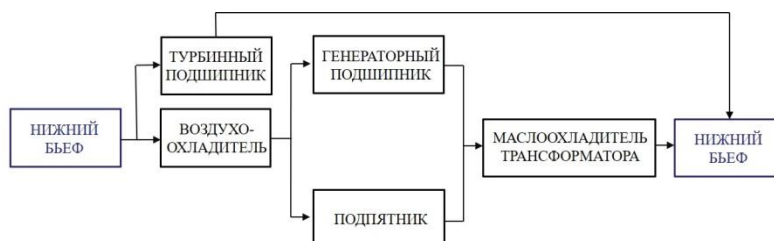


Рис. 1. Схема охлаждения гидрогенератора

Параметры воздуха и воды в системе охлаждения представлены в таблице.

Параметры воздуха и воды в системе охлаждения гидрогенератора

Параметр	Значение, °С
Начальная температура воды	3,2
Температура воды на выходе из воздухоохладителя	21,94
Температура воды на выходе из генераторного подшипника	22,24
Температура воды на выходе из подпятника	22,22
Температура воды на входе в маслоохладитель трансформатора	22,22
Температура воды на выходе из маслоохладителя трансформатора	24,26
Температура воздуха на входе в воздухоохладитель	80
Температура воздуха на выходе из воздухоохладителя	30

Исходя из полученных данных, были определены общие потери сбросного тепла от всего оборудования ГЭС. Они составили 38,31 МВт. В проекте было рассмотрено несколько вариантов по полезному использованию данного тепла.

Первый вариант — это теплоснабжение помещений машинного зала ГЭС, а именно: центрального пульта управления (ЦПУ) и монтажной площадки №1 (МП-1), общая нагрузка которых составляет 240 кВт на отопление и 120 кВт на горячее водоснабжение (ГВС). Второй вариант — это теплоснабжение административно-бытового комплекса (АБК), гидроцеха (ГЦ) и трансформаторно-масляного хозяйства (ТМХ), их общая нагрузка — 240 кВт на отопление и 150 кВт на ГВС. Особенностью второго варианта является разница в высотах между машинным залом (отм. 307) и зданиями теплоснабжения (отм. 361).

Основываясь на этой информации, были рассмотрены тепловые насосы разных типов: «вода-вода» и «воздух-вода». Исходя из конструкционных особенностей гидрогенератора, были выбраны тепловые насосы типа «вода-вода».

Возможности современных ТНУ ограничены максимальной температурой нагрева, которая составляет 73 °С. В связи с этим, в проекте предусмотрен дополнительный нагрев воды при помощи электрических водогрейных котлов (КЭВ) в часы максимальной нагрузки.

Для дальнейших расчетов был построен температурный график отопления (рис. 2) при условиях, что расчетная температура на отопление составляет для г. Братска  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , средняя температура отопительного периода —  $-8,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; длительность отопительного периода — 5992 ч.

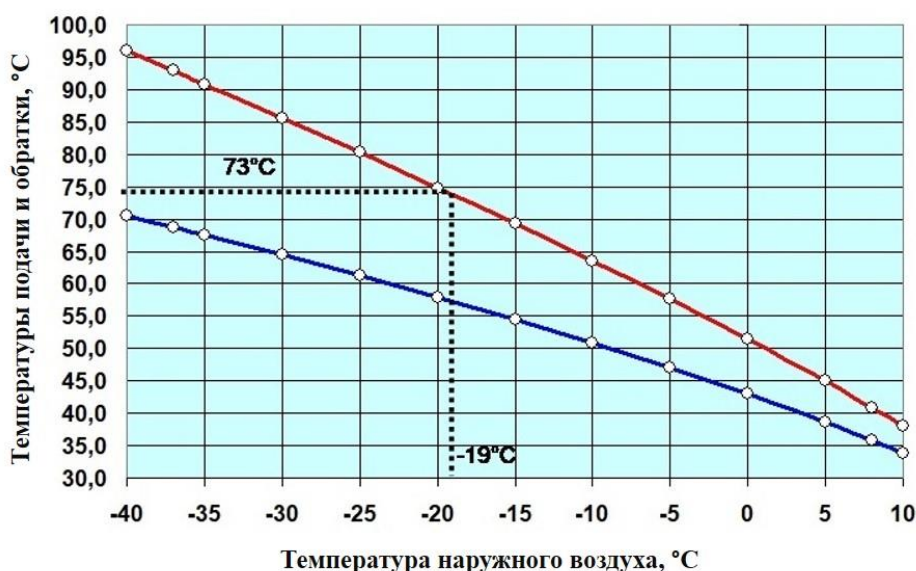


Рис. 2. Температурный график отопления

Опираясь на данный график и длительность стояния температур наружного воздуха для г. Братска, получили, что число часов работы ТНУ на отопление составит 5992 ч., число часов работы КЭВ на отопление – 1343 ч., число часов работы ТНУ на ГВС – 8760 ч.

С учетом вышесказанного была разработана оптимизированная схема теплогенерации, представленная на рис. 2.

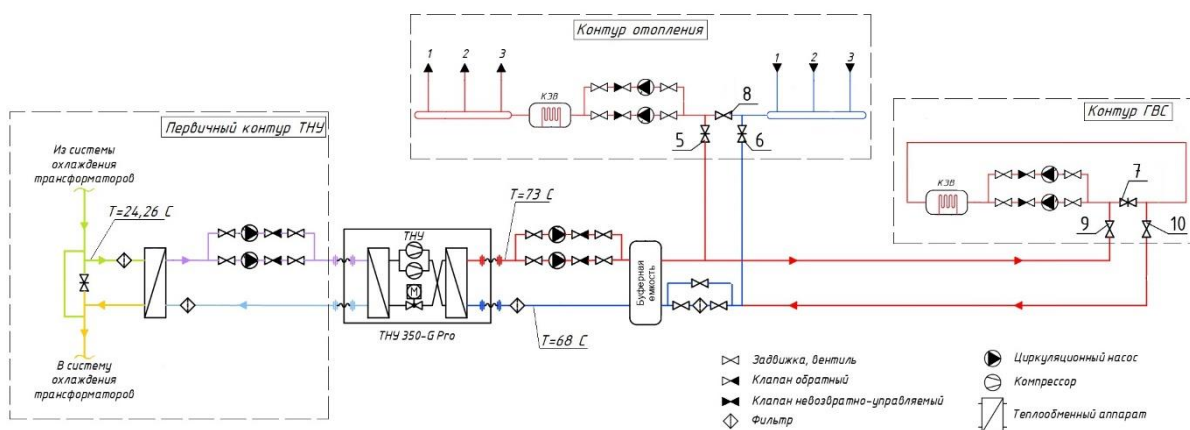


Рис. 3. Оптимизированная схема теплогенерации

Технико-экономический анализ показал, что наиболее выгодным является теплоснабжение помещений машинного зала совместно с АБК, ГЦ и ТМХ. Вложения в проект составят в ценах на ноябрь 2021 г. 35,46 млн руб., эта сумма включает в себя стоимость двух ТНУ Viessmann Vitocal 350-G Pro, двух циркуляционных насосов, теплосети, доставки и монтажных работ. Экономия предприятия в случае внедрения данного проекта составит 4,68 млн руб., а срок окупаемости — 7,3 года.

Установка ТНУ на Братской ГЭС позволит снизить расход электроэнергии на отопление, ГВС и устранить тепловое влияние на окружающую среду.

### Источники

1. Техническое перевооружение электробойлерной АПК У-ИГЭС с установкой ТНУ Vitocal350-GP: отзыв ООО «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация» о выполнении проектных работ и реализации проекта по объекту. Усть-Илимск, 2018.

2. Инструкция по эксплуатации главных повышающих трансформаторов Братской ГЭС: ООО «ЕвроСибЭнерго-Гидрогенерация». Братск, 2018. 55 с.

3. Энергетические испытания гидрогенератора №8 Братской ГЭС: технический отчёт. Москва, 2007. 49 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Пленарные доклады

<b>Трофимов Г.Г., Бекболатова Ж.К., Сулейменов Д.А., Живаева О.П.</b> Решение проблем дефицита маневренных мощностей в энергосистеме Казахстана за счет накопителей энергии . . . . .	3
<b>Тұрсынбеков А.К., Прохоренкова Н.В.</b> Прогнозирование электрических нагрузок элемента энергосистемы на основе нейронных сетей с учетом влияющих факторов на примере подстанции . . . . .	9
<b>Kurbonov N.N.</b> Simulation of the power supply system using Industrial 4.0 wireless tools . . . . .	14
<b>Койпиш Е.В.</b> Внедрение в учебный процесс программного обеспечения для выполнения лабораторной работы по дисциплине «Производство электроэнергии» . . . . .	17
<b>Ярославский Д.А.</b> Методы определения статических и динамических характеристик проводов влэп и многопараметрическая автоматизированная распределенная система мониторинга их технического состояния . . . . .	20
<b>Кудакеева Г.М.</b> Мониторинг и распознавание уровня воды в высокогорных озерах . . . . .	24
<b>Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н., Нуруллин Э.Г.</b> Исследование особенностей функционирования фотоэлектрической установки в климатических условиях Севера . . . . .	30

### СЕКЦИЯ 1. Электроэнергетические системы, надежность, диагностика

<b>Aliyev Nijat, M. Atrafi Giyasi</b> Investigation of partial discharge in transformer oil when the cavities are near to one another. . . . .	33
<b>Atrafi Giyasi M., Jafarli Muxtar</b> Исследование метода определения температуры вспышки маслонеполненного высоковольтного силового трансформатора. . . . .	35
<b>Абзалдинова А.Ф.</b> Диагностика состояния трансформаторного масла по кислотному числу. . . . .	39
<b>Анн Тамсир, Лыу Куок Кьонг</b> Проблемы компенсации реактивной мощности. . . . .	42

<b>Богданова Р.И.</b> Акустический метод определения места повреждения кабельной линии. ....	46
<b>Бутусов Н.В.</b> Тепловой метод контроля высоковольтного электрооборудования. ....	49
<b>Гайнанова Э.Э.</b> Диагностика силовых трансформаторов. ....	52
<b>Гайниев А.А.</b> Анализ растворенного газа в трансформаторном масле. ....	55
<b>Гизатуллин А.Р.</b> Корреляционная зависимость оптической плотности от концентрации ароматических углеводородов в области 300-1000 нм. ....	58
<b>Громовой М.В., Лелеткин Д.В.</b> Стратегия управления энергией для резервного энергоснабжения из возобновляемых источников. ....	60
<b>Зудкин П.А.</b> Оценка влияния распределенной генерации на электрические сети. ....	65
<b>Ибатуллин Н.И.</b> Перспективные направления стабилизации напряжения в любом узле электроэнергетической системы. ....	68
<b>Иксанова Э.Р.</b> Определение степени старения трансформаторного масла по тангенсу угла диэлектрических потерь. ....	71
<b>Иркагалиева И.И.</b> Определение параметров сигнала переходного процесса в одноконтурной RLC-схеме. ....	73
<b>Каминский С.О.</b> Расширенная система управления распределением электроэнергии. ....	76
<b>Канев А.И.</b> Обзор устройств отбора мощности с воздушной линии электропередачи. ....	79
<b>Купцова Д.В., Абеуов Р.Б.</b> Способ управления по программным траекториям движения для автоматического включения резерва. ....	82
<b>Лашманова М.И.</b> Особенности рынка электроэнергии и тарифообразования для малых предприятий. ....	86
<b>Лыу Куок Кыонг, Анн Тамсир</b> Расчет четырехпроводной сети методом узловых потенциалов с помощью матлаба. ....	89
<b>Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н., Васильев П.Ф.</b> Исследование влияния климатических особенностей Севера на функционирование гибридной системы электроснабжения с фотоэлектрическими установками. ....	92
<b>Минаев И.А.</b> Моделирование сигналов переходного процесса в линии с отпайкой. ....	95
<b>Минегалиев И.М.</b> Определение влагосодержания трансформаторного масла спектральным методом в ближней инфракрасной области. ....	98

<b>Мухамадеев Э.И., Едиханов А.А.</b> Опыт внедрения технологий Smart Grid в распределительных электрических сетях Республики Татарстан. ....	102
<b>Нгуен Дык Хоан.</b> Метод расчета потерь электрической энергии в сети среднего напряжения по величине среднего тока. ....	106
<b>Нгуен Дык Хоан.</b> Создание программы оптимизации для расчета параметров распределительной энергосистемы с N узлами. ....	109
<b>Нигматуллина Г.Ф., Саляхутдинов Р.А.</b> Определение степени полимеризации бумажной изоляции. ....	111
<b>Питерский Н.С., Иванов Д.А.</b> Сравнительный анализ перспективных протоколов передачи данных для применения в системе контроля подвесной изоляции. ....	114
<b>Платонова А.А.</b> Определение марки масла. ....	117
<b>Рахманкулов Ш.Ф., Садыков В.О.</b> Система диагностики неисправностей силовых трансформаторов с использованием акустических характеристик и нейронных сетей. ....	120
<b>Саляхутдинов Р.А., Нигматуллина Г.Ф.</b> Определение влагосодержания бумажной изоляции. ....	123
<b>Саттаров Р.Е.</b> Применение расщепленных фазных проводов в линиях сверхвысокого напряжения. ....	126
<b>Саттаров Р.Е.</b> Защита электрических сетей от перенапряжений. ....	128
<b>Смирнов Д.А.</b> Исследование влияния параметров ЛЭП на скорость распространения сигнала переходного процесса. ....	131
<b>Смирнов Д.А.</b> Исследование влияния интервала дискретизации на точность параметров сигнала переходного процесса. ....	134
<b>Сулейманова (Низаева) А.Р.</b> Контроль маслонаполненного электрооборудования энергообъектов. ....	137
<b>Суханова С.П.</b> Разработка методики определения степени деградации трансформаторного масла. ....	139
<b>Третьякова Е.В.</b> Современные подходы к реконструкции распределительных устройств. ....	142
<b>Фахрутдинов Р.И.</b> Защита нейтрали трансформатора. ....	144
<b>Хамидуллин И.И.</b> Энергетика и цифровая трансформация. ....	147
<b>Хасаншин А.А.</b> Измерение сопротивления заземляющих устройств. ....	150
<b>Хафизов Л.А.</b> Регулирование напряжения в питающих и распределительных сетях. ....	153
<b>Хафизов Л.А.</b> Диагностика трансформатора без отключения линии электропередачи. ....	158
<b>Яхин Ш.Р., Губарев Н.А.</b> Тепловизионный метод диагностики электрооборудования с применением машинного обучения. ....	163



## СЕКЦИЯ 2. Электроснабжение

<b>Агзамов М.Ф., Хакимзянов Э.Ф., Гибадуллин Р.Р.</b> Моделирование системы электроснабжения для анализа условий перспективного развития отдельной территории. ....	167
<b>Ахтямова Р.И.</b> Анализ современных методов определения места повреждения кабельных линий с целью выявления оптимального решения. ....	170
<b>Басенко В.Р., Низамиев М.Ф.</b> Контроль технического состояния магнитопровода трансформатора с использованием бесконтактного лазерного контрольно - измерительного комплекса. ....	173
<b>Гайфуллин И.Л.</b> Анализ систем мониторинга технического состояния трансформаторного оборудования. ....	175
<b>Галяутдинова А.Р., Низамиев М.Ф.</b> Корреляционный анализ параметров силового трансформатора. ....	178
<b>Гарунов А.Т.</b> К вопросу об определении эффективности модернизации осветительной установки. ....	182
<b>Губайдуллин Б.К.</b> Обзор разработки систем управления батареями.	185
<b>Доан Нгок Ши</b> Управление асинхронными двигателями с комбинированным обмоткой методом прогноза напряжения. ....	187
<b>Еременко В.В.</b> Анализ методов оптимизации применительно к задачам электроэнергетики. ....	190
<b>Крылов М.А.</b> Проект интеллектуального освещения административного здания. ....	193
<b>Лямзина Д.Ю.</b> Методика выбора оптимальной геометрии катушек при бесконтактной индуктивной передаче электроэнергии для зарядки электромобилей. ....	196
<b>Майоров А.А.</b> Применение в электродвигателях ферритовых магнитов. ....	199
<b>Миннебаева Т.Ф.</b> Влияние конструктивных особенностей распределительных сетей на эффективность работы реклоузеров. ...	202
<b>Мурашкин А.А.</b> Контроль состояния изолятора ВЛ путем измерения поверхностного тока утечки. ....	205
<b>Муханова П.П.</b> Исследование технических характеристик контакторов. ....	209
<b>Петров А.Р., Петрова Р.М.</b> Разработка математической модели линейного генератора. ....	211
<b>Петрова Р.М., Петров А.Р.</b> Математическая модель силового трансформатора. ....	214

<b>Рамазанова Р.И., Муллагалиев А.И.</b> Анализ энергоэффективности систем электроснабжения с применением систем АСКУЭ. . . . .	216
<b>Семи́н Д.И.</b> Имитационное моделирование промышленных процессов с применением программного продукта «anylogic» . . . . .	219
<b>Рахмонов И.У.</b> Методы оценки резервов экономии электроэнергии на промышленных предприятиях. . . . .	221
<b>Tatkeyeva G.G., Mubarak B.S.</b> Study of improving the reliability of the power supply system on the example of a gas-oxygen workshop. . . . .	225
<b>Ульбрехт Д.А.</b> Перспективы применения малых бесплотинных гидроэлектростанций для питания удаленных потребителей. . . . .	229
<b>Фомин Н.А.</b> Оценка технического состояния силового трансформатора с помощью индекса работоспособности. . . . .	232
<b>Хамидуллин А.А.</b> Учет доминирующих факторов в ценовой составляющей электропотребления предприятия. . . . .	235
<b>Хасанова А.Х.</b> Диагностика компрессора высокого давления. . . . .	238
<b>Цветкова А.А.</b> Снижение расхода электрической и тепловой энергии вентиляционной системой. . . . .	240
<b>Шкарупа И.А.</b> Анализ причин выхода из строя кабельных муфт и способы улучшения их монтажа. . . . .	243

### **СЕКЦИЯ 3. Промышленная электроника и светотехника, электрические и электронные аппараты**

<b>Ахметханов Р.Р.</b> Разработка автоматической системы управления перемещением фрезы . . . . .	245
<b>Васина А.Ю.</b> Оценка качества осветительного электрооборудования последних лет на основе значений коэффициента технико-экономической эффективности . . . . .	248
<b>Галиева Т.Г.</b> Методика и прибор для диагностики высоковольтных диэлектрических элементов в процессе эксплуатации на основе динамической регистрации электромагнитного излучения . . . . .	251
<b>Гимадиев А.И., Закиев Д.Р.</b> Дистанционное устройство управления реле на базе модуля ESP-01 . . . . .	255
<b>Жолдаякова А.Е., Трабо В.В.</b> Датчики контроля параметров декантерной центрифуги . . . . .	257
<b>Куличихин Д.В.</b> Детекторы скрытой электрической проводки. . . . .	260
<b>Назарова А.Д.</b> Источник питания роботизированного устройства удаленного присутствия. . . . .	263

<b>Хамидуллин И.Н.</b> Обзор роботов инспекторов, используемых для диагностики и обслуживания высоковольтных ЛЭП . . . . .	266
<b>Шарифуллин Э.Р.</b> Сравнительный анализ схем источников вторичного электропитания . . . . .	269
<b>Шарифуллин Э.Р.</b> Сравнение оптоволоконного кабеля и витой пары . . . . .	272
<b>Ялалов Р.Р.</b> Схема коммутации весовых конденсаторов микроконтроллерного компенсатора реактивной мощности . . . . .	274

#### **СЕКЦИЯ 4. Перспективные материалы и направления развития физики, математики и материаловедения**

<b>Ануфриев Д.А., Одинцов И.О.</b> Оценка времени аддитивного производства из базальта. . . . .	278
<b>Ваганов М.С.</b> Структурные и фазовые изменения алюмосиликатов, подвергаемых микроволновой обработке. . . . .	281
<b>Габдрахманов Р.Ф., Иванов В.В.</b> Исследование водородной воды методами оптической спектроскопии. . . . .	283
<b>Китанин Д.С., Галиахметов В.Д., Иванов В.В., Назарова А.Д.</b> Построение карты распределения электронной плотности в системе $Sb_2S_3$ . Переход $5/2 - 3/2$ . . . . .	286
<b>Максимов С.П., Нафиков И.Р., Гарькавый С.О., Шмидт Е.В.</b> Электрическая генерация в гидротермальных полях. . . . .	289
<b>Михайлова Т.С., Калюта В.И., Пташник В.В.</b> Электрохимические исследования кремний-углеродных пленок, полученных из растворов на основе ацетонитрила . . . . .	292
<b>Насыбуллин Р.Р.</b> Агрегатное состояние гомо- и гетероядерных веществ (оксидов) в зависимости от их положения в системе химических связей и соединений (СХСС) в виде «химического треугольника». . . . .	295
<b>Слюднева Д.А.</b> Перспективы метода свс для получения нанокompозитов на керамической основе. . . . .	298
<b>Тараскин С.А., Матюшенцев З.А.</b> Исследование образцов халькопирита методом ЯМР в локальном поле. . . . .	301
<b>Хушея Т.А.Н.</b> Структура и магнитные свойства парамагнитных центров марганца в полупроводниковом кристалле галенита. . . . .	303
<b>Хушея Т.А.Н.</b> Эффекты двойного допирования полупроводникового кристалла галенита примесями марганца и меди: данные ЭПР. . . . .	306

<b>Чернов Е.И., Аглиуллин В.Р.</b> Перспективные направления использования наноматериалов в энергетике. . . . .	309
<b>Чичкова Г.А.</b> Влияние соотношения металличности и ковалентности гомоядерных связей на число химических элементов и структуру их соединений. . . . .	312
<b>Шарафутдинов А.Ш.</b> Градуировка $c^*$ -алгебр, порожденных свободными произведениями абелевых полугрупп. . . . .	315
<b>Щетинина А.А.</b> Микрокремнезем – эффективный модификатор керамических масс для получения наноструктурированных композитов. . . . .	317
<b>Янушевская Я.С., Макарова А.О.</b> Использование плуроника f-127 в качестве диспергатора углеродных нанотрубок. . . . .	320

## **Секция 5. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

<b>Альзаккар А., Местников Н.П.</b> Влияния накопителей электроэнергии на устойчивость энергосистемы для потребителя . . .	322
<b>Валеева Г.Р.</b> Оценка выбросов углекислого газа при производстве и эксплуатации автомобилей на различных видах топлива. . . . .	325
<b>Вострецов Е.А., Сафиуллина В.М.</b> Применение перспективных инфотелекоммуникационных технологий на современном высокоскоростном железнодорожном транспорте. . . . .	328
<b>Гатиятуллин Т.А.</b> Разработка корректирующего устройства для одноконтурного скоростного следящего электропривода постоянного тока. . . . .	331
<b>Головин К.А.</b> Разработка корректирующего устройства для одноконтурного электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости . . . . .	333
<b>Зинатуллин А.Р., Валиуллов Э.Ф., Платонов С.А.</b> Сравнение схемы работы «подзаряжаемого» и «мягкого» гибридного автомобиля . . . . .	336
<b>Юсупов Д.Т., Кодиров Х.М.</b> Тепловизионная диагностика силовых масляных трансформаторов . . . . .	337
<b>Мухаммаджонов М.Ш.</b> Факторы, влияющие на работы силовых трансформаторов . . . . .	340
<b>Yusupov D.T., Khamrakulova H.A.</b> Diagnostics of power transformers based on dissolved gas chromatographic analysis in oil . . . . .	343
<b>Ле К.Т., Вахитов Х.Ф., Ахсаниев Г.Р.</b> Система управления тяговым асинхронным электродвигателем городского электротранспорта . . . .	345

<b>Миназов М.Р., Лазарев П.С.</b> Система мониторинга контактной сети на железной дороге . . . . .	348
<b>Нафигов А.Р.</b> Анализ направлений развития датчиков беспилотного транспорта . . . . .	350
<b>Оморов М.Б.</b> Исследование показателей качества переходного процесса скоростного следящего электропривода при различных видах настроек. . . . .	353
<b>Росляков А.В.</b> Исследование ошибок электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости. . . . .	356
<b>Сафиуллин Б.И., Вахитов Х.Ф., Ахсаниев Г.Р.</b> Разработка диагностического комплекса зарядных станций для электромобилей. . . . .	359
<b>Селезнев Д.К.</b> О необходимости развития зарядной инфраструктуры в Республике Татарстан . . . . .	361
<b>Стародубец АА., Валеева Г.Р.</b> Перспективы внедрения зарядных электростанций на территории Российской Федерации. . . . .	365
<b>Токтаров И.В.</b> Экологические проблемы электромобилей. . . . .	368
<b>Токтаров И.В., Мухамедзянов Э.А.</b> Сравнительные характеристики тяговых аккумуляторов . . . . .	371
<b>Умурзаков А.К.</b> Кинетические накопители энергии . . . . .	374
<b>Федотов В.В.</b> Улучшение динамических свойств следящего электропривода промышленного робота . . . . .	377
<b>Федякин Д.В.</b> Применение этиленпропиленовой резины в гибких кабелях. . . . .	380
<b>Хиллес Ферас Е.С.</b> Разработка автоматизированного комплекса для технического оснащения медицинских пунктов автотранспортных организаций Палестины. . . . .	382
<b>Черепенькин И.В.</b> Анализ проблемы механического износа контактных проводов применяемых в контактной сети городского электрического транспорта. . . . .	385
<b>Яшагина А.В.</b> Анализ оценки показателей надежности электроподвижного состава городского электротранспорта. . . . .	388

## **СЕКЦИЯ 6. Энергоэффективность и энергобезопасность производства**

<b>Антоненко Е.Г.</b> Анализ нормативно-правовой базы в области энергетики при эксплуатации объектов новой ядерной техники (ОНЯТ). . . . .	391
<b>Баширов А.А.</b> Распространённые недостатки систем автоматизированного управления микроклиматом теплиц. . . . .	394

<b>Вьюгова К. Д.</b> Сравнительный анализ защитных тканей от электромагнитного излучения. . . . .	396
<b>Гадельшина В.Р., Павлов Д.В., Брехов Е.В., Сафиуллин Р.Н.</b> Внедрение цифровых технологий в электрические системы. . . . .	399
<b>Гариев А.Р.</b> Солнечный электрогенератор с двигателем Стирлинга .	403
<b>Гатупов Л.И.</b> Техничко-экономическая оценка термоэлектрических термометров и их применение в энергетике . . . . .	405
<b>Гурлихина Ю.С.</b> Обзор роли распределенной генерации в будущих энергетических системах . . . . .	408
<b>Закиров И.М.</b> Способы беспроводной передачи электроэнергии . . .	411
<b>Исаева О.В., Залилова Р.А., Сибгатуллин Э.Г.</b> Исследование зависимости коэффициента регулирования светового потока от инсоляции помещения . . . . .	412
<b>Казмирук Л.О.</b> Сравнительный анализ систем автоматизации станции пожаротушения . . . . .	415
<b>Кузнецов К.А.</b> Грозозащита ОРУ-100 кв от прямых ударов молнии	417
<b>Мифтахов А.Р.</b> Повышение безопасности и экономия электроэнергии посредством обнаружения неисправностей в электросистемах с помощью ультразвуковой дефектоскопии. . . . .	419
<b>Немцева М.А</b> Причины возникновения вибрации в электрических машинах. . . . .	422
<b>Немцева М.А.</b> Принцип выработки электроэнергии в пьезоэлектрических элементах и пьезогенераторах. . . . .	425
<b>Новокрещенов В.В.</b> Компьютерное моделирование аварийных режимов на линиях электропередачи с устройством продольной компенсации . . . . .	428
<b>Семенова О.Д.</b> К характеристике коэффициента нелинейных искажений трансформаторов силовой электроники при номинальном и предельно допустимом напряжении . . . . .	431
<b>Соловской А.С., Васильев В.Ю.</b> Экранирования электромагнитных излучений для снижения уровня SAR . . . . .	435
<b>Шамсемухаметов И.И.</b> Повышение эффективности потребления электрической энергии на предприятии . . . . .	438
<b>Юдин П.В., Шевченко В.Н.</b> Подводный дата-центр . . . . .	441

## **СЕКЦИЯ 7. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем**

<b>Ахметзянова Г.И.</b> Влияние двигательной нагрузки на эффективность работы релейной защиты. ....	445
<b>Васильев Г.В.</b> Сравнительный анализ датчиков гололедной нагрузки. ....	447
<b>Волгин В.А.</b> Организация систем мониторинга волс. ....	450
<b>Галиев Э.И.</b> Особенности контроля и измерения изоляции в системе оперативного постоянного тока электростанций и подстанций. ....	453
<b>Закиров А.А.</b> Особенности реализации синхронизации времени по протоколу рtr на цифровых подстанциях. ....	456
<b>Зиннатов И.Р.</b> Анализ допустимости кратковременного асинхронного режима генератора при потере возбуждения. ....	458
<b>Зудкин П.А.</b> Назначение R-GOOSE сообщений на цифровой подстанции. ....	460
<b>Кузьмина Н.В.</b> Разработка способа определения поврежденного участка линии электропередачи при однофазных замыканиях на землю. ....	463
<b>Кузьмина Н.В.</b> Разработка метода определения места короткого замыкания на линии электропередачи с ответвлением. ....	466
<b>Мирзаянов Б.И.</b> Феррорезонансные явления. ....	469
<b>Семенов М.Н., Сиразутдинов Ф.Р., Лопухов В.М., Меер В.М.</b> Исследование повышения чувствительности дистанционной защита автотрансформатора. ....	473
<b>Таткеева Г.Г., Бурумбаев Т.Ж.</b> Анализ эффективности релейной защиты и автоматики подстанций напряжением 35/10 кВ. ....	476
<b>Тихонов И.В.</b> Мониторинг воздушных линий электропередачи по оптическому волокну. ....	479
<b>Тычкин А.Р.</b> Создание инструментария для проверки цифровых устройств релейной защиты и автоматики на основе комплекса моделирования RTDS. ....	481

## **СЕКЦИЯ 8. Инженерная защита окружающей среды и безопасность труда на производстве**

<b>Анашкина Д.Д.</b> Снижение антропогенного воздействия диоксида углерода на окружающую среду за счет очистки попутного нефтяного газа. ....	484
<b>Васильева А.М.</b> Отходы резинотехнических изделий: анализ способов их утилизации и экологические аспекты. ....	486

<b>Волков М.С., Макарова Ю.С, Яковкина А.В.</b> Разработка технологии «умной» каски «shp» для предприятий энергетического комплекса . . . . .	488
<b>Волков М.С., Шадрин Н.Д.</b> Модернизация системы маслоуловителей на братской гэс . . . . .	493
<b>Волкова Д.Д.</b> Внедрение понятия экологического риска в проблемы обеспечения экологической безопасности . . . . .	499
<b>Гильмуллина К.И.</b> Анализ мировой проблемы системы обращения с твердыми коммунальными отходами . . . . .	501
<b>Зеленская Л.К.</b> Анализ основных методов расчета и учета парниковых газов. . . . .	504
<b>Михайлова Т.Ю.</b> Оценка эффективности способов очистки воздуха системы вентиляции при производстве стеклопластиковых изделий. . . . .	507
<b>Морскова Я.Р.</b> Разработка подходов по мониторингу и оценке эмиссии биогаза в ходе экологических исследований. . . . .	510
<b>Нагуманова Г.А.</b> Мониторинг акрилонитрила в промышленных выбросах, воздухе рабочей зоны и атмосферном воздухе. . . . .	513
<b>Нефедов В.В.</b> Оценка устойчивости промышленного предприятия при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. . . . .	516
<b>Новичихин В.А.</b> Анализ взаимосвязи эргономических параметров рабочего места и профессионального стресса диспетчера энергетического предприятия. . . . .	519
<b>Тихонова Д.П.</b> Очистка водных сред от нефтяных загрязнений гидрофобным карбонатным шламом . . . . .	521
<b>Хайрутдинова А.И., Исхакова Р.Я.</b> Способы очистки сточных вод, образующихся после мойки автомобильного транспорта. . . . .	523
<b>Шамин А.Д.</b> Анализ изменений в охране труда при использовании средств индивидуальной защиты на предприятиях электроэнергетики. . . . .	526
<b>Шелягин Е.Ю.</b> Профилактика производственного травматизма в автосервисных организациях . . . . .	529
<b>Юдин П.В., Шевченко В.Н.</b> Влияние антропогенных электромагнитных полей на человека. . . . .	532

## **СЕКЦИЯ 9. Возобновляемые источники энергии и безопасность**

<b>Alhajj Hassan F.</b> Computational analysis using Monte Carlo simulation of the wind speed in south-west Tatarstan. . . . .	536
<b>Ахмед М.М.М.</b> Сектор ВИЭ в энергетической стратегии Египта до 2035 года. . . . .	539



<b>Багманов А.Т.</b> Применение возобновляемых источников энергии в Республике Татарстан . . . . .	542
<b>Бикбулатов Р.И., Тазеев Н.Ф.</b> Применение альтернативных источников для электроснабжения учебно-оздоровительного лагеря Шеланга . . . . .	545
<b>Богданова А.Н.</b> Перспективы применения возобновляемых источников энергии для энергообеспечения изолированных территорий РФ . . . . .	549
<b>Валеева Г.Р.</b> Оценка водородных технологий с точки зрения возможности применения на территории российской федерации. . . . .	552
<b>Гаврилин В.В., Сорокин К.С.</b> Использование биотоплива для производства электроэнергии на местных установках малой мощности. . . . .	555
<b>Гаврилин В.В., Сорокин К.С.</b> Проект генерации электрической энергии в малонаселенном пункте. . . . .	557
<b>Гаврилин В.В., Сорокин К.С.</b> Энергетические затраты на производство топливных брикетов. . . . .	560
<b>Гарифуллина А.М.</b> Потребности в возобновляемых источниках энергии . . . . .	562
<b>Еремеев Т.А., Якшибаев А.Р.</b> Проведение военно-тактических игр на местности. . . . .	565
<b>Зиганшина Д.Е.</b> Тепловые солнечные электростанции башенного типа, работающие на расплавленной соли. . . . .	567
<b>Зудкин П.А.</b> Роль просьюмеров в сетях Smart Grid. . . . .	570
<b>Иванов А.Ф., Казаков В.А.</b> Влияние легирования молибденом и танталом на коэффициент пропускания тонких пленок оксида индия-олова, полученных методом магнетронного распыления. . . . .	573
<b>Иванов В.В., Абдеев Т.И., Сахибгареева А.Р.</b> Анализ современных методов защиты от электромагнитного излучения. . . . .	576
<b>Ivanov N.S.</b> Solar cells as backup power suppliers under conditions of north. . . . .	579
<b>Идрисова Г.Ф.</b> Внедрение на нижекамской ГЭС солнечной установки МСК-200 на плавучем модуле. . . . .	582
<b>Кострюков С.А., Васильев А.Р.</b> Лабораторная модель ротора Савониуса. . . . .	585
<b>Краснов Д.В.</b> Геотермальная энергетика России. . . . .	586
<b>Лихобаба А.С.</b> Оценка ветроэнергетического потенциала Таганрогского залива Азовского моря. . . . .	589

<b>Малькова Ю.Я., Андреев М.В.</b> Определение оптимального сценария разряда водородного накопителя. ....	592
<b>Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н., П.Ф. Васильев</b> Исследование функционирования фотоэлектрической установки в условиях крайне низких температур. ....	595
<b>Муниров Э.Д., Гимадиев С.И.</b> Исследование возможности использования солнечной энергии для энергообеспечения общежития №3 КГЭУ. ....	598
<b>Мухаметова А.Р.</b> Геотермальная энергетика и её перспективы . . . . .	601
<b>Помысова А.Ю.</b> Использование возобновляемых источников энергии для добычи криптовалюты. ....	604
<b>Рахманов А.А.</b> Перспективы биоэнергетики. ....	607
<b>Репьев Е.В., Степанова Е.Г.</b> Перспективы использования суперконденсаторов. ....	610
<b>Саидгараева Р.Р.</b> Гидроэнергетика России и ее потенциал. ....	612
<b>Сорокин К.С., Гаврилин В.В.</b> Биотопливо как продукт генерации тепловой энергии. ....	615
<b>Сорокин К.С, Гаврилин В.В.</b> Автономное получение тепловой энергии путем переработки отходов животноводства . . . . .	618
<b>Степанова Е.Г.</b> Сравнительный анализ различных схем выдачи мощности ветряной электросанкции в Чистопольских сетях Республики Татарстан. ....	620
<b>Стукало Р.Е., Шарифуллина Р.А.</b> Влияние температуры на работоспособность человека. ....	623
<b>Фасыхов А.Р.</b> Углеродный след в энергетике. ....	626
<b>Филипушкова Ю.В.</b> Экономическая целесообразность использования солнечных панелей и ветрогенераторов. ....	629
<b>Шакиров М.А.</b> Водородная энергетика и перспективы её развития в России. ....	632
<b>Шакиров М.А.</b> Развитие мировой энергетики на основе возобновляемых источников энергии. ....	634
<b>Шарифуллин Э.Р.</b> Влияние шума на скорость реакции человека . . .	637
<b>Эйтерник А.Ю.</b> Применение биогазовых установок для выработки электроэнергии на фермерском предприятии «Азнакай». ....	640
<b>Эминов А.А.</b> Перспективы использования торфа в мировом энергетическом балансе. ....	643
<b>Яникаева К.Ю.</b> Применение биогазовой установки на фермерском хозяйстве. ....	646

**Яникаева К.Ю.** Готовность к экстремальным ситуациям как аспект безопасности жизнедеятельности. . . . . 649

**СЕКЦИЯ 10. Контроль, автоматизация и диагностика  
электроустановок электрических станций, подстанций и  
распределенной генерации**

<b>Акмалтдинова В.Р.</b> Выбор систем мониторинга силовых кабельных линий. . . . .	652
<b>Аскарров А.Б., Литвинов С.А., Воронин С.В.</b> Применение всережимного моделирующего комплекса реального времени в качестве цифрового двойника современных электроэнергетических систем. . . . .	654
<b>Ахмадеев А.А.</b> Расчет характеристик частичного разряда в кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена. . . . .	657
<b>Гаффанова А.Р.</b> Методы утилизации лопастей ветрогенераторов. . .	660
<b>Дмитриев Д.Е.</b> Методы и способы диагностики ограничителей перенапряжения. . . . .	662
<b>Закиров Д.Ф.</b> Влияние неравномерного увлажнения и загрязнения на работу подвесной полимерной изоляции. . . . .	664
<b>Попов А.С.</b> Быстровозводимые композитные опоры. . . . .	667
<b>Рамазанова Р.И., Исаева О.В.</b> Электроснабжение отдаленных населенных пунктов с помощью ветродизельных установок. . . . .	669
<b>Сафаров Б.О.</b> Современные проблемы городского электроснабжения города Душанбе Республики Таджикистан. . . . .	672
<b>Семенов М.Н.</b> Перспективы роста систем накопления энергии. . . . .	676
<b>Степанова Е.Г.</b> Ввод ветряной электростанции с двухцепным заходом на СШ 110 кВ ПС 220 кВ Чистополь-220. . . . .	679
<b>Хамидуллина Г.Х.</b> Установка блока ПГУ-850 МВт на Заинской ГРЭС. . . . .	682
<b>Хамидуллина Г.Х.</b> Автоматизированные системы управления технологическими процессами и электротехническим оборудованием на ПГУ. . . . .	683
<b>Юдин А.Д.</b> Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов, отработавших нормативный срок службы. . . . .	686

## **СЕКЦИЯ 11. Энергоресурсоэффективные и экологически безопасные технологии в энергетике и нефтегазопереработке**

<b>Айкенова Н.Е.</b> Получение модифицированного сорбционного материала на основе карбонатного шлама для очистки промышленных фенолсодержащих сточных вод. ....	689
<b>Аласгарли С.У.</b> Математическая модель охлаждения газа в барботажном слое. ....	692
<b>Зайнуллина Э.Р.</b> Изучение процесса очистки обратноосмотического концентрата ТЭС отходом энергетики. ....	695
<b>Ильин Н.П.</b> Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий на предприятиях энергетики. ....	698
<b>Исхакова Р.Я.</b> Численное моделирование эффективности тонкослойных отстойников. ....	700
<b>Королев В.И.</b> . Необходимость снижения негативного воздействия отходов предприятий ТЭК. ....	704
<b>Насибуллина К.И.</b> Обессоливание и обезвоживание нефти. ....	706
<b>Травникова А.В.</b> Разработка сорбционного материала на основе отхода ТЭС. ....	707
<b>Шайхутдинова Л.Р.</b> Получение электроэнергии посредством возобновляемого источника. ....	710
<b>Шайхутдинова Л.Р.</b> Description of the structural diagram of the hydropower plant and its technical characteristics. ....	714
<b>Юровская В.Д.</b> Проект утилизации сбросного тепла от системы охлаждения оборудования гидроэлектростанций. ....	717

Научное издание

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция

(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

Том 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор *Е. С. Дремичева*  
Компьютерная верстка *Е. С. Дремичевой*  
Дизайн обложки *Ю. Ф. Мухаметшиной*

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, Казань, Красносельская, д. 51