



**XVII ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»**

**20–22 октября 2022 г.**

**Материалы конференции**



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Министерство энергетики Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования «Казанский государственный энергетический университет»  
АО «Системный оператор Единой энергетической системы»  
Благотворительный фонд «Надежная смена»

**ХVII ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»**

20–22 октября 2022 г.

Материалы конференции

Казань  
2022

## Организаторы конференции



ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»



АО «Системный оператор Единой энергетической системы»



Благотворительный Фонд  
«Надёжная смена»

### При поддержке



Министерство энергетики Российской Федерации



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

### Информационный партнер



Журнал «Электроэнергия. Передача и распределение»

УДК 621.3  
ББК 31.2  
С 30

Рецензенты:

зам. гл. диспетчера по оперативной работе Филиала  
АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана *Р. Р. Альтапов*;  
канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «КГЭУ» *А. М. Маклецов*

Редакционная коллегия:

А.Г. Арзамасова (отв. редактор), О.В. Воркунов, В.В. Максимов

**XVII Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»** : материалы конференции (Казань, 20–22 октября 2022 г.) / редкол. А. Г. Арзамасова (отв. редактор). – Казань: ООО «Фолиант», 2022. – 382 с.

ISBN 978-5-89873-607-1

Опубликованы материалы XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции по научным направлениям: электроэнергетические системы и сети: генерация, передача и потребление электрической энергии; релейная защита и автоматизация энергосистем; электроснабжение и электрооборудование; трансформации в энергетике: экономика, политика, коммуникации.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в области энергетики, а также для обучающихся образовательных учреждений энергетического профиля.

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.3  
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-607-1

© КГЭУ, 2022  
Оформление ООО «Фолиант», 2022

**ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО**  
ректора ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический  
университет»  
Абдуллазянова Эдварда Юнусовича

**Уважаемые участники, организаторы и гости конференции!**

Я рад приветствовать вас на XVII Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике» проводимой в стенах Казанского государственного энергетического университета.

За более чем полувековую историю деятельности, Казанский государственный энергетический университет, при поддержке руководства Республики и энергетических предприятий активно развивает материально-техническую базу. Отвечая на растущий запрос со стороны государства и компаний в области энергетики и цифровизации, осуществляет подготовку высококвалифицированных инженерных и научных кадров для энергетической отрасли. Именно наши выпускники пополняют отечественную экономику надежными кадрами, трудящимися на благо процветания родной страны.



На базе университета созданы центры и лаборатории помогающие наглядно изучать и исследовать новейшие достижения в сфере энергетики. Открываются специализированные кафедры, которые готовят квалифицированные кадры для отрасли. Строятся общежития, дающие спокойствие в занятии учебной и научной деятельностью.

Наше мероприятие объединяет талантливых и активных студентов, аспирантов, молодых ученых, специалистов профильных вузов и предприятий энергетической отрасли из разных городов России и ближнего зарубежья. Подобные мероприятия очень важны. Участие в конференции раскрывает молодежи широкие возможности для реализации своего потенциала, для дальнейшего карьерного развития в энергетике и науке.

Желаю всем участникам конференции успешной работы, новых научных идей, интересного общения и приобретения профессиональных и дружеских контактов!

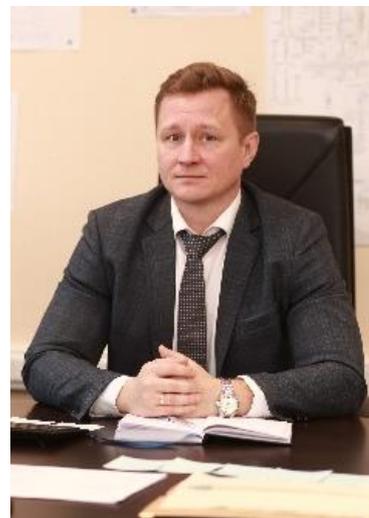
Ректор ФГБОУ ВО «КГЭУ»  
Эдвард Юнусович Абдуллазянов

## ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

первого заместителя директора – главного диспетчера  
Филиала АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана  
Двинянинова Игоря Владимировича

Рад приветствовать Вас на XVII Всероссийской открытой молодежной научно-практической конференции «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»!

Диспетчерское управление в электроэнергетике – это направление, которому не обучают в профильных ВУЗах. Это совместная работа специалистов различных направлений и профессий: оперативная работа диспетчеров, планирование режимов энергосистемы, релейная защита и автоматика, связь и автоматизация.



Тематическая направленность конференции предоставляет молодым людям хорошую возможность сконцентрировать внимание на определенной области – диспетчерском управлении в электроэнергетике, конкретизировать и углубить свои профессиональные знания в этой области и научиться детально разбираться в важных аспектах технологий, применяемых в электроэнергетике.

Ценность подобных мероприятий состоит в том, что молодые люди получают опыт коммуникаций в профессиональном энергетическом сообществе. Подобные конференции с одной стороны создают интерес и дают стимул к исследовательской работе, научной деятельности, повышают профессиональную эрудицию ребят, выбравшими энергетику своей будущей профессией, с другой стороны предоставляют возможность нам, работодателям, познакомиться с молодыми, энергичными специалистами, стремящимися к профессиональному росту, любящими свою профессию и подискутировать с ними в плоскости конкретных отраслевых проблематик и задач». Надеюсь, что работа Конференции даст новый импульс профессиональному развитию его участников.

Желаю всем участникам и организаторам Конференции плодотворной работы, конструктивного диалога и эффективного взаимодействия!

С уважением и наилучшими пожеланиями,  
Первый заместитель директора-главный диспетчер  
Филиала АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана  
Игорь Владимирович Двинянинов

# РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

УДК 620.9

## ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗАПАСОВ УСТОЙЧИВОСТИ В ФИЛИАЛЕ АО «СО ЕЭС» РДУ ТАТАРСТАНА

Ахметшина Л.Х.

Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань, Россия

AkhmetshinaLKh@tatrdu.so-ups.ru

Описан эффект от внедрения цифровой системы мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) в контролируемом сечении «Бугульма» в Филиале АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана.

**Ключевые слова:** система мониторинга запасов устойчивости, контролируемое сечение, максимально допустимый переток активной мощности, управление электроэнергетическим режимом.

Система мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) – отечественный программно-технический комплекс, разработанный АО «НТЦ ЕЭС» совместно с Системным оператором, предназначенный для обеспечения диспетчера результатами автоматического расчета текущих значений максимально допустимых перетоков (МДП) в заданных контролируемых и найденных опасных сечениях с учетом рассмотрения заданного перечня аварийных отключений и действия локальной противоаварийной автоматики [1].

По сетевым элементам, входящим в состав контролируемого сечения «Бугульма», осуществляется передача активной мощности потребителям восточной части энергосистемы Республики Татарстан, а также части потребителей Оренбургской энергосистемы и энергосистемы Республики Башкортостан. Целью задания сечения является обеспечение токовой нагрузки автотрансформаторных групп ПС 500 кВ Бугульма и Заинской ГРЭС в послеаварийном режиме (ПАР) при планировании и управлении электроэнергетическим режимом.

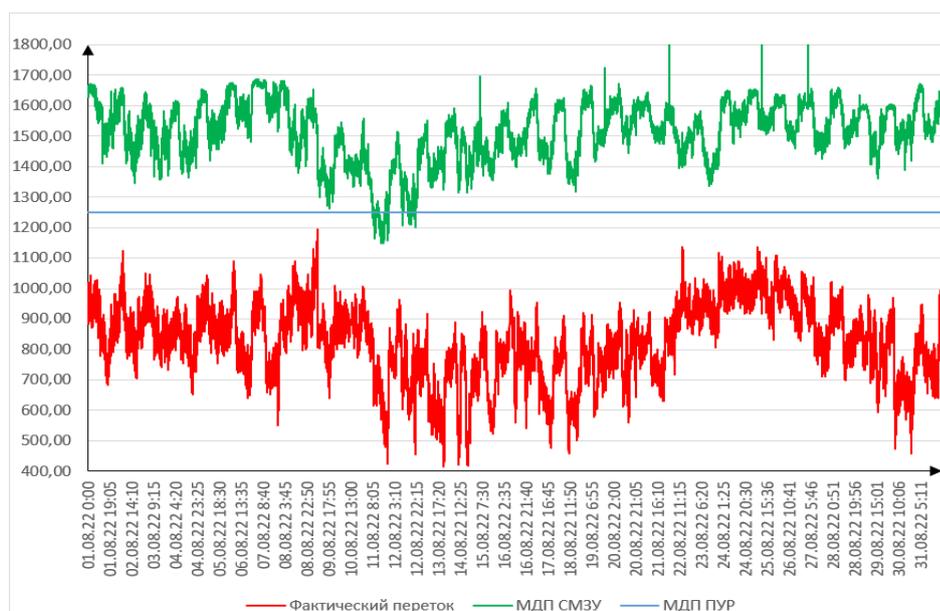
До ввода СМЗУ при управлении электроэнергетическим режимом использовались значения МДП, рассчитанные заблаговременно при помощи специальных программных комплексов для наиболее неблагоприятных условий. Результаты расчета в табличной форме фиксировались в Положении по управлению режимами работы энергосистемы (ПУР) – основном документе, который использует диспетчер диспетчерского центра АО «СО ЕЭС» при управлении

электроэнергетическим режимом. Такой подход позволяет гарантировать обеспечение нормируемых запасов устойчивости для всех возможных ситуаций, но приводит к тому, что значительную часть времени пропускная способность электрической сети используется не в полном объеме.

Внедрение СМЗУ позволяет производить расчет МДП в реальном времени на основе текущей телеметрической информации с учетом сложившейся схемно-режимной ситуации [2]. Несомненным плюсом использования СМЗУ является возможность учитывать в расчетах транзитные перетоки по сети 500 кВ и действие противоаварийной автоматики (например, АОПО с действие на отключение нагрузки и деление сети).

Результатом внедрения СМЗУ в РДУ Татарстана стало:

- увеличение МДП, рассчитанного СМЗУ, по отношению к МДП ПУР (см. рисунок);
- снижение количества диспетчерских команд на загрузку станций в Нижнекамском энергорайоне с целью разгрузки контролируемого сечения «Бугульма»;
- увеличение использования пропускной способности электрической сети;
- увеличение количества ремонтных схем;
- выявление новых критериев определения МДП;
- возможность учета влияния ремонтов сети 110 кВ в прилегающей сети.



Графики изменения МДП, рассчитанного СМЗУ, МДП ПУР и фактический переток активной мощности в сечении «Бугульма» за август 2022 года

Тестовые расчеты с использованием технологии СМЗУ при рассмотрении диспетчерских заявок на вывод в ремонт линий электропередачи и первичного оборудования показали свою эффективность при анализе обеспечения МДП для послеаварийных и ремонтных схем.

### **Источники**

1. ЦСПА и СЗМУ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dg.convex.ru/redmine/projects/cspa-children> (дата обращения: 09.08.22).

2. Неумин В.Г., Останин А.Ю., Томалев А.А., Внедрение системы мониторинга запасов устойчивости при планировании и управлении электроэнергетическим режимом ОЭС Сибири // Цифровая электроэнергетика. Режимы энергосистем. 2020. С. 32-36.

УДК 621.311

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ОСНОВАННЫХ НА «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ» СЕТИ ТИПОВ РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТ**

Аюпов Р.Ш.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
valentine1234@gmail.com

В статье рассмотрены способы взаимодействия существующих типов релейных защит и защит основанных на «интеллектуальной» сети.

**Ключевые слова:** релейная защиты, «интеллектуальная» сеть, дифференциальные защиты, селективность, быстрдействие.

В скором времени, при наличии информационной сети по стандарту МЭК 61850 релейная защита распределительных электрической сети будет выполняться с как можно большей быстродействием и чувствительностью [1]. Например, на дифференциальном принципе. Такие защиты практически не зависят от режима и вида сети [2]. С учетом того, что информационная сеть дает большое количество возможностей для повышения надежности и эффективности, резервные защиты должны выполняться на том же принципе. Таким образом, при отказе основной защиты резервные защиты тоже будут выполняться без выдержки времени.

Но также существует вероятность отказа информационной сети или ее отдельных частей:

– полный отказ информационной сети или ее части между подстанциями или распределительными устройствами;

– частичный отказ информационной сети, приводящий к задержкам в передаче информации или ограничению пропускной способности (например, в беспроводном варианте сети) [3].

В таких случаях вся система может дать сбой. ДЗ либо откажут, либо займут неправильное положение. В таких ситуациях должна быть предусмотрена система блокировки защит по случаю отказа информационной сети. Так же должна быть предусмотрен 2 уровень защиты на случай аварийных режимов во время отказа информационной сети. Такой уровень защиты должен использовать как можно меньше информации от локальных измерительных приборов для срабатывания.

В настоящее время информационная сеть существует локально, в основном в пределах подстанции. В этом случае 2 уровень защиты и будет основным и основываться на традиционных типах РЗ, по типу МТЗ и ДЗ с относительной селективностью [4]. Подобные защиты устанавливаются на каждое присоединение отдельно или иметь централизованную структуру в пределах распределительного устройства. В любом случае наибольшую эффективность и надежность подобной схемы можно будет определить только после расчета и анализа, а также стоимости компонентов [5].

### **Источники**

1. 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»

2. Куликов А. Л., Бездушный Д. И. Анализ реализаций информационного подхода в релейной защите // Релейщик. 2016. № 2. С. 24–29.

3. Chowdhury S., Chowdhury S. P., Crossley P. Microgrids and Active Distribution Networks, IET Renewable Energy series 6, The Institution of Engineering and Technology, 2009. P. 4

4. Laaksonen H. J. Protection Principles for Future Microgrids // IEEE Transactions on Power Electronics. Vol. 25, 2010. P. 2918.

5. Шарыгин М. В., Вуколов В. Ю., Петров А. А. Разработка алгоритма автоматической адаптации параметров срабатывания многомерной интеллектуальной релейной защиты к конфигурации распределительных электрических сетей // Вестник НГИЭИ. 2020. № 11 (114). С. 65–78. DOI: 10.24411/2227-9407- 2020-10106

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АСУТП, РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЙ

Васина А.Ю.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

anzhyan@yandex.ru

Науч. рук. доц. Борисова О.В.

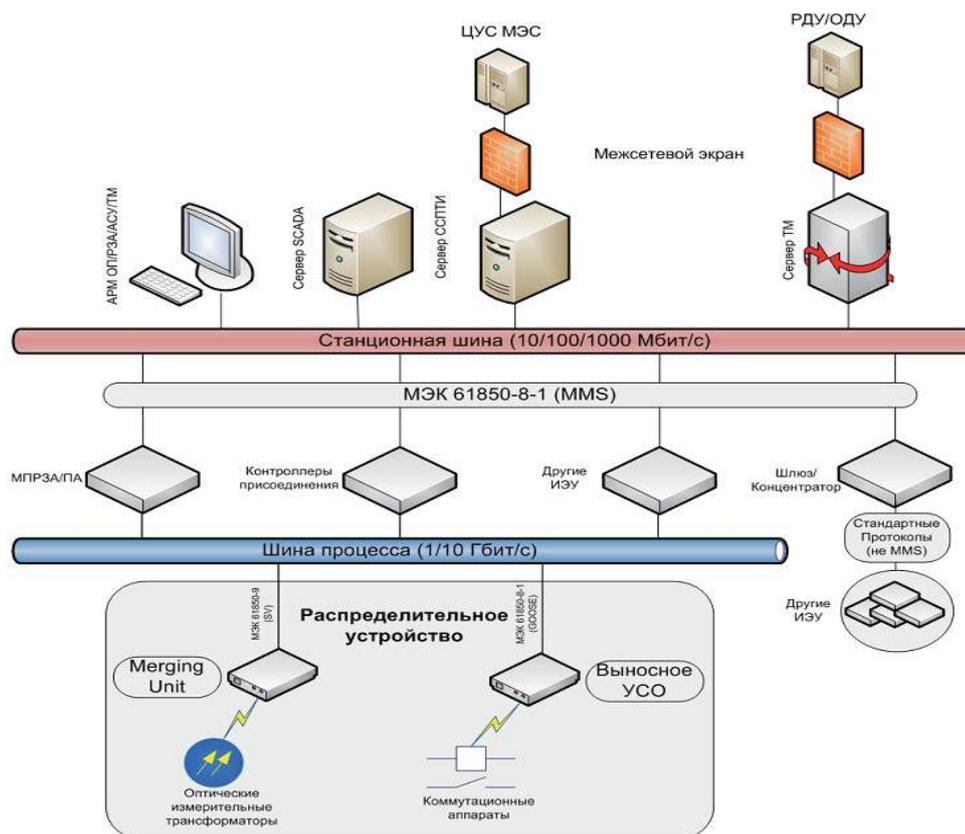
В работе определены основные задачи комплексов электрооборудования подстанций, в качестве решения задач АСУТП и релейной защиты и автоматики предложено внедрение цифровой подстанции, представлена ее структурная схема, определен принцип передачи данных между интеллектуальными электронными устройствами, входящими в систему. Определены преимущества использования передачи сигналов на подстанции в цифровом виде.

**Ключевые слова:** автоматизация, релейная защита, электрическая подстанция, объект управления, цифровая подстанция, передача сигналов.

Электрооборудование электрических подстанций представляет собой сложный комплекс различных систем и высокоточной аппаратуры, главной задачей которого остается обеспечение бесперебойного функционирования электростанций различных типов [1]. Разработка новых технологий и внедрение решений, позволяющих повысить безопасность технологических процессов, автоматизировать и оптимизировать систему контроля и регулирования параметров в электроэнергетической промышленности остается перспективным направлением развития и соответствует стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года в рамках перехода в эпоху четвертой промышленной революции [2].

Исследования, направленные на расширение количества теоретических и практических разработок в области электроэнергетики, позволили создать электрическую подстанцию нового типа-цифровую подстанцию (ЦПС), включающую в себя комплекс цифровых терминалов для решения задач релейной защиты и противоаварийной автоматики, учета и контроля качества электроэнергии, телемеханики, где все процессы информационного обмена осуществляются по единым протоколам с обеспечением синхронизации по времени [3].

Структура цифровой подстанции представляет собой трехуровневую систему автоматизации, включающую в себя полевой уровень, уровень присоединения и стационарный уровень. Полная схема структуры представлена на рисунке [4].



Структурная схема цифровой подстанции

Цифровая подстанция характеризуется высоким уровнем автоматизации технологических процессов [5]. Представление данных о подстанции как о объекте автоматизации и протоколы цифрового обмена данными между микропроцессорными интеллектуальными электронными устройствами регламентирует международный стандарт МЭК 61850.

Постоянно увеличивающиеся объемы информации, обеспечивающие управление электросетевыми объектами, контроль качества вырабатываемой электроэнергии и их технического состояния, предполагает увеличение количества интеллектуальных электронных устройств, зачастую применяющих разные стандарты передачи данных, осложняя их совместную работу [6]. Применение цифровой подстанции обеспечивает унифицированный цифровой поток, характеризующий состояние объекта управления. Такой подход позволяет перейти к программной платформе на универсальных аппаратных устройствах, которая к тому же обладает свободным распределением функций.

Преимущества использования передачи сигналов в цифровом виде на всех уровнях управления электрической подстанцией позволяют [7]:

- сократить затраты на вторичные цепи за счет приближения источников сигналов к первичному оборудованию;

- повысить электромагнитную совместимость микропроцессоров и вторичных цепей за счет перехода на оптические связи;
- удешевить конструкцию интеллектуальных электронных устройств благодаря исключению трактов ввода аналоговых сигналов;
- увеличить точность измерений;
- уменьшить количество отказов РЗА благодаря применению оптических кабелей;
- увеличить количество регистрируемых сигналов.

Таким образом, использование цифровой подстанции обеспечивает эффективное решение задач релейной защиты, автоматики и АСУПТ и позволяет, за счет организации передачи сигналов в цифровом виде, повысить надежность работы микропроцессорных устройств, использовать информационно-аналитические системы обработки данных, повысить безопасность на подстанции, а также снизить затраты на обслуживание.

### **Источники**

1. Левин В. М., Хальясмаа А. И., Ахьеев Д. С., Манусов В. З. Применение методов искусственного интеллекта в задачах технической диагностики электрооборудования электрических систем: моногр. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 446 с.

2. Копытов Н. П. Решения в сфере электроэнергетики. Развитие в контексте цифровизации // Новости ЭлектроТехники. – 2019. – № 1 (115). – С. 32–33.

3. Ожогова, Е. В., Пиотровский Д. Л., Янаева М. В. "Цифровая подстанция" как современный подход к решению задач автоматизации // Современные проблемы и пути их решения в науке, производстве и образовании. – 2017. – № 1. – С. 10-12.

4. Данилин А., Горелик Т., Кириенко О., Дони Н. Цифровая подстанция. Подходы к реализации // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2012. – № 3(12). – С. 96-99.

5. Лобов Б. Н., Лызарь И. О., Левчук В. Э. Понятие "цифровая подстанция" // Молодой исследователь Дона. – 2020. – № 3(24). – С. 49-52.

6. Жукова Е. Цифровая подстанция – важный элемент интеллектуальной энергосистемы // [Электронный ресурс]. [https://www.ruscable.ru/article/Tsifrovaya\\_podstantsiya\\_vazhnyj\\_element\\_intellektualnoj\\_energostej/](https://www.ruscable.ru/article/Tsifrovaya_podstantsiya_vazhnyj_element_intellektualnoj_energostej/) (Дата обращения 29.09. 2022). – 2018.

7. Зудкин П. А. Преимущества использования оптических измерительных трансформаторов на цифровой подстанции // Тинчуринские чтения–2021 «Энергетика и цифровая трансформация». – 2021. – С. 331-334.

## ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЛС

Волгин В.А  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
volodya.volgin2019@yandex.ru  
Науч. рук. доц. Ярыш Р.Ф.

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].

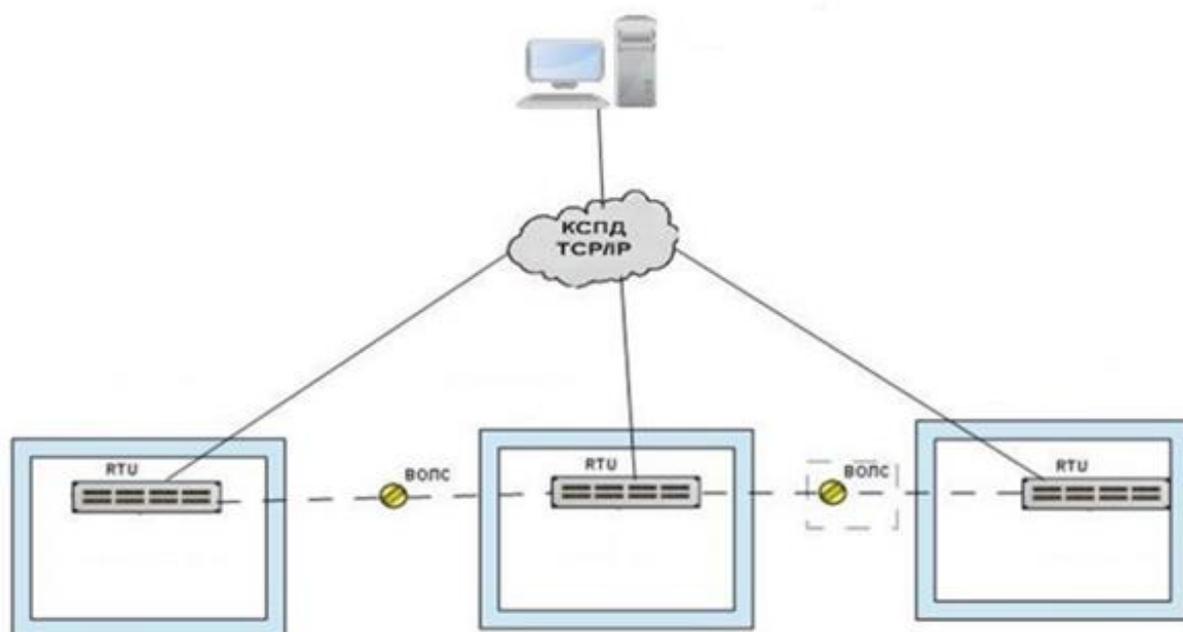
Мониторинг ВОЛС облегчает эксплуатацию оптических линий и обеспечивает высокое качество их работы.

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) ОТАУ (Optical Test Access Unit) – аппараты доступа для тестирования волокон. Данные аппараты отвечают за подключение к оптическому кабелю;
- 3) оптические коммутаторы;
- 4) узлы контроля сети ОНТ.

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, 1999г. – 672с.

УДК 621-316.925

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЦПС**

Гранская А.А., Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранский Г.А.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
annamiss35@gmail.com

В тезисе предложена идея внедрения системы векторных измерений в работу цифровой подстанции.

**Ключевые слова:** СВИ, векторные измерения, ЦПС.

Цифровая подстанция – подстанция электроэнергетической системы с высоким уровнем автоматизации, в которой процессы информационного обмена между её элементами, а также управление её работой осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850 [1]. В основе технологии построения ЦПС лежит международный стандарт МЭК 61850, который детально описывает реализацию таких подстанций.

МЭК характеризует три уровня управления и обмена информацией: первичного оборудования (силовые трансформаторы, выключатели, разъединители и др.), присоединения (терминалы МП РЗА) и стационарный уровень (АСУ ТП), которые подразумевают использование только цифровых сигналов, для каждого из них описан свой протокол (SV, MMS, GOOSE).

SV протокол (Sampled Value {измерения: токи, напряжения, и т.д.}) используется в качестве протокола передачи мгновенных значений от цифровых трансформаторов тока и напряжения, а также от преобразователей аналоговых сигналов (ПАС). SV публикуются в сети подстанции. На них может быть подписано любое устройство, способное их использовать. Структура данных протокола описана в главе 9-2 стандарта IEC 61850.

GOOSE протокол (Generic Object Oriented Substation Event; {"горизонтальная" коммуникация}) Digital Merging Unit- Полевые контроллеры ввода/вывода устанавливаются на ОРУ вблизи с коммутационными аппаратами подключаются к цепям сигнализации и управления КА передают данные сигнализации и получают команды управления по «шине процесса» от IED в по протоколу: МЭК 61850-8-1.

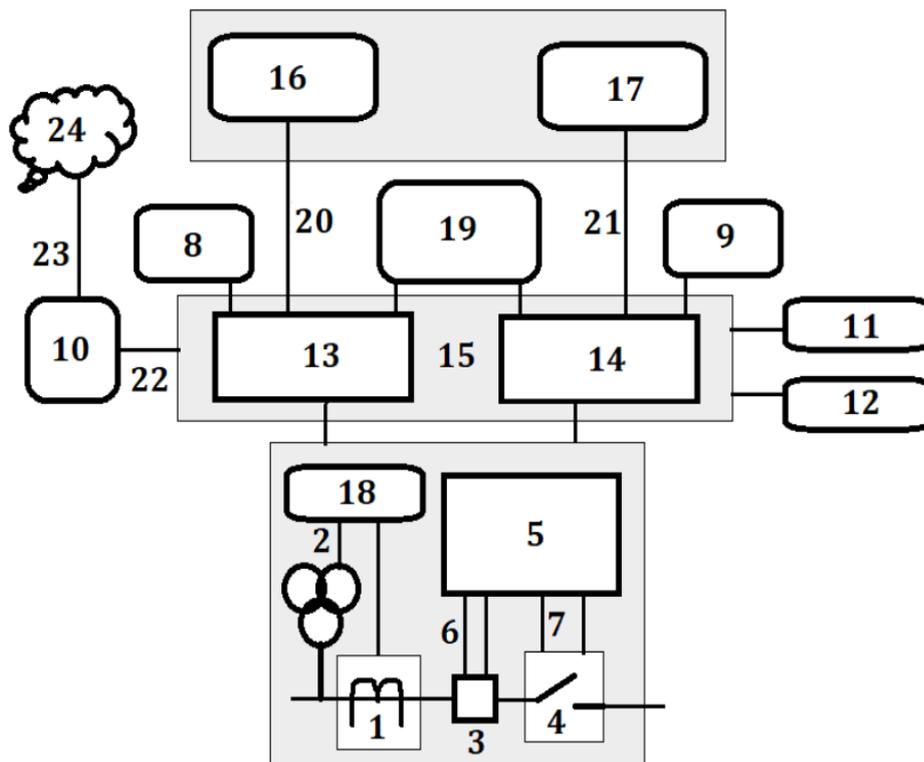
MMS (Manufacturing Message Specification; {"вертикальная" коммуникация})

Система векторных измерений (СВИ) – совокупность векторных и скалярных параметров электроэнергетического режима, измеренных и рассчитанных с заданной дискретизацией в однозначно определенные моменты времени, синхронизированные с помощью глобальных навигационных спутниковых систем.

Технология СВИ обеспечивает: одновременность фиксации характеристик электрического режима во всех местах установки УСВИ методом синхронизации измерений с поддержкой системы GPS (ГЛОНАСС); высокую точность измерений параметров электрического режима; мониторинг взаимных углов напряжений; измерение параметров электрического режима на периоде промышленной частоты (20 мс); непрерывная запись параметров в КСВД (до 180 суток); погрешность измерения вектора (TVE) – не более 1 %; абсолютная погрешность измерения частоты – не более 1 мГц; измерение и вычисление расширенного набора параметров (фазные  $\dot{U}$ ,  $\dot{I}$ ,  $f$ ,  $dU/dt$ ,  $dI/dt$ ,  $df/dt$ ,  $\dot{U}_{1,2,0}$ ,  $\dot{I}_{1,2,0}$ , фазные/трехфазные  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  и т.д.); 50 измерений в секунду; синхронизация времени с глобальными навигационными системами (не хуже 1 мкс) обеспечивает измерений угла с точностью 0,1 градуса; технология обработки и передачи данных в режимах on- и off-line.

В настоящее время в качестве нормативного документа, регламентирующего объемы и методы проверок программно-технических комплексов (ПТК) АСУТП и микроконтроллерных систем сбора и передачи информации (ССПИ) на цифровых подстанциях ЦПС в режиме повышенной информационной нагрузки («шторм»), применяется стандарт

ФСК ЕЭС СТО56947007-25.40.40.112-2011 [2]. Информационный шторм, создаваемый реальными интеллектуальными электронными устройствами ИЭУ, создает большую информационную нагрузку. Для этих объектов в случае развития крупной аварии вероятность возникновения нештатной ситуации, т. е. потери аварийных сигналов, крайне высока. Протокол SV наиболее требователен к производительности сетевой инфраструктуры подстанции, так как может создавать нагрузку более 15 Мб/с на каждое присоединение. Следовательно, предлагаю вариант использования СВИ на ЦПС.



Измерительные трансформаторы тока (1) и напряжения (2) соединены с устройством синхронизированных векторных измерений (18), высоковольтное коммутационное оборудование (3) и (4), соединено со входами цифрового устройства сопряжения (5), оно в свою очередь соединено со входами коммутаторов А (13) и В (14). Первые выходы цифрового устройства сопряжения (6) и (7) соединены со входом высоковольтного коммутационного оборудования (3) и (4) соответственно, а сервера точного времени (8) и (9) – со входом коммутатора А и В соответственно, сервер связи (10) – с глобальной сетью Интернет (24), компьютер оператора подстанции (11) – со входом коммутатора А, а компьютер инженера подстанции (12) – со входом коммутатора В. Коммутаторы А и В создают цифровую шину подстанции (15). На схеме

изображены 2 сервера РЗА (16) и (17). Таким образом, все цепи контроля и управления дважды дублированы. Сторожевое устройство (19), соединено со входами коммутатора А и коммутатора В. При отсутствии сигналов синхронизации времени с коммутатора А, сторожевое устройство транслирует сигналы синхронизации времени с коммутатора В на коммутатор А. Аналогично оно работает и при отсутствии сигналов синхронизации времени с коммутатора В. Таким образом, происходит резервирование при отказе одного из серверов точного времени 8 или 9 (см. рисунок).

Выводы:

1. Векторные измерения производятся не менее одного раза за период первой гармоники промышленной частоты 50 Гц, то есть за время 0,02 сек, в то же время как SV сигналы формируются 80 или 256 раз за то же время. Следовательно происходит уменьшение потока данных на два порядка.

2. Система мониторинга переходных режимов ЕЭС России (СМНР ЕЭС) работает на базе СВИ, поэтому наличие сигналов векторных измерений на подстанции автоматически включает подстанцию в систему СМНР ЕЭС, и подстанция становится частью Smart Grid, единой сети контроля и управления энергосетями страны.

3. Благодаря дублированию серверов точного времени происходит резервирование при отказе одного из них.

### **Источники**

1. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС), 2017.

2. СТО 56947007- 25.040.40.112-2011. Типовая программа и методика испытаний программно-технического комплекса автоматизированной системы управления технологическими процессами (ПТК АСУ ТП) и микропроцессорного комплекса системы сбора и передачи информации (МПК ССПИ) подстанций в режиме повышенной информационной нагрузки «шторм» / Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», 2011.

3. Могиленко А.В. Влияние цифровизации на энергетическую отрасль / А. В. Могиленко // Новости ЭлектроТехники. – 2018. – № 4 (112). – С. 34–37.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Зайниев Р.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

rustam.zayni@mail.ru

Науч. рук. доц. Губаев Д.Ф.

В тезисе описан способ повышения эффективности защиты дальнего резервирования путем использования адаптивного дистанционного принципа, оперирующего алгоритмической моделью объекта (АМО).

**Ключевые слова:** дальнее резервирование, модель, реле сопротивления, аварийный режим, нагрузочный режим.

Дальним резервированием (ДР) считается такой способ построения схем релейной защиты, при котором короткое замыкание (КЗ) на некотором элементе при отказе срабатывания его собственных защит или отказе в отключении его выключателя ликвидируется защитами и выключателями смежных элементов. Этот принцип говорит о том, что при неисправности оборудования на каком-либо участке сети эта неисправность не должна приводить к системной аварии, что играет весьма важную роль в теории и практике релейной защиты.

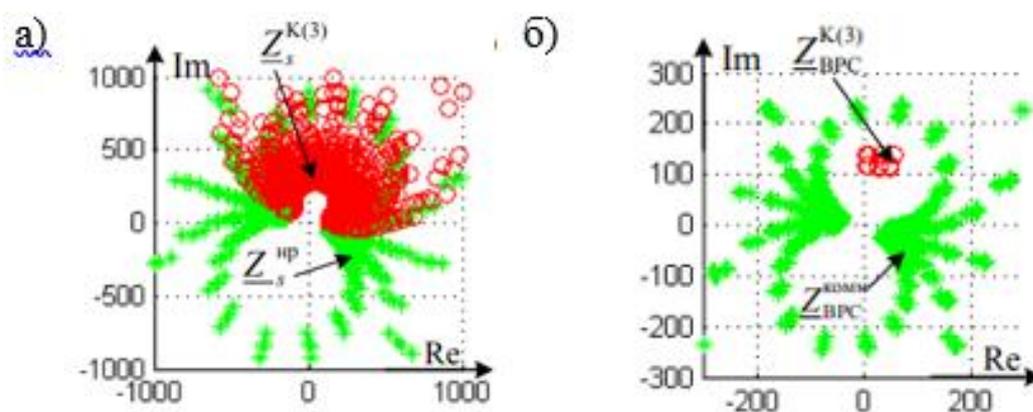
ДР может считаться достаточно эффективным, если в большинстве режимов обеспечивается требуемая чувствительность защит при КЗ на предыдущем участке сети и в результате действия КЗ маловероятны тяжелые последствия из-за нарушения электроснабжения ответственных потребителей [1]. Главная проблема ДР защит ответственных и проходных подстанций (ПС) 35-220 кВ заключается в неотличимости электрических величин в месте установки защиты ДР в нагрузочных режимах и режимах КЗ на шинах НН ответственных ПС.

Традиционно, на линиях электропередачи 110-220 кВ в качестве защиты ДР используют высшие ступени дистанционной защиты (ДЗ). Однако, зачастую традиционная ДЗ не всегда обеспечивает требуемую чувствительность при замыканиях в ответвлениях. Особенно это актуально на магистральных линиях электропередачи, где токи КЗ в ответвлении могут быть соизмеримы и даже меньше величин нормальных нагрузочных токов в линии [1].

Современные микропроцессорные устройства позволяют использовать по максимуму информационную базу релейной защиты благодаря

сохранению в памяти сведений о токах и напряжениях в режиме, предшествующем текущему состоянию электропередачи. Используя данную возможность разработан новый метод выполнения защиты ДР, в основу который положен адаптивный дистанционный принцип, оперирующий алгоритмической моделью объекта (АМО) [2]. АМО позволяет оценить токи и напряжения в произвольной точке защищаемой схемы. Зная значения аварийных и предшествующих токов и напряжений в месте установки защиты, она по определенным законам оценивает токи и напряжения в месте установки виртуального реле сопротивления (ВРС). С помощью алгоритмических моделей удастся настроить виртуальные реле на каждую из нескольких защищаемых ответвительных ПС [3].

На рисунке показаны область классического замера сопротивления и область замеров при использовании ВРС.



Области замеров сопротивления при трехфазном замыкании на стороне НН ответвительной подстанции а) классическое реле сопротивления; б) ВРС, направленное в сторону защищаемого ответвления;

На рисунке видно, что область классического замера сопротивления ( $Z_S^{K(3)}$ ) имеет наложение на область нагрузочного режима ( $Z_S^{HP}$ ), то есть не обеспечивается достаточная чувствительность при наличии транзита на магистральной линии.

Для решения проблемы недостаточной чувствительности используется ВРС, направленное в сторону защищаемого ответвления (см. рисунок б). Взаимное расположение областей противостоящих режимов ( $Z_{BPC}^{K(3)}$  – область замера сопротивления с использованием ВРС;  $Z_{BPC}^{КОММ}$  – замеры сопротивления при рабочих коммутациях), свидетельствует о том, что использование ВРС значительно повышает распознающую способность защиты ДР. Область замеров меньше подвержена влиянию транзита.

## Источники

1. Нагай В. И. Релейная защита ответвительных подстанций электрических сетей / В. И. Нагай. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 312 с.

2. Васильев Д.С., Тарасова В.Н. Рекомендации по выбору параметров срабатывания адаптивной защиты дальнего резервирования ответвительных трансформаторов линий электропередачи, реализованной на базе терминалов производства ООО «НПП Бреслер» – Чебоксары: ИПК РЗА, 2015. – 60 с.

УДК 621.316.9

### ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА ПО СТАНДАРТУ МЭК 61850

Зудкин П.А.<sup>1</sup>, Артеменко А.В.<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва, Россия  
1ZudkinPA@mpei.ru, 2ArtemenkoAV@mpei.ru

Предложена реализация функций дифференциальной защиты трансформатора в соответствии со стандартом МЭК 61850 на языке программирования Java.

**Ключевые слова:** МЭК 61850, ДЗТ, Java.

Дифференциальная защита трансформатора (ДЗТ) служит основной защитой трансформаторов при повреждениях в трансформаторе и на ошиновке. Дифференциальная защита является защитой с абсолютной селективностью, что позволяет ликвидировать короткое замыкание без выдержки времени. ДЗТ работает по принципу сравнения токов в местах установки трансформаторов тока. В данной работе рассматривается продольная дифференциальная токовая защита.

Объектно-ориентированный язык программирования Java позволяет представить логические узлы описанные в стандарте МЭК 61850 [1,2] в виде классов. Для реализации функции ДЗТ были использованы следующие узлы:

1. RMXU – вычисление тормозного и дифференциального тока, а также цифровое выравнивание токов;
2. PDIF – узел для реализации дифференциальной защиты;
3. PHAR – узел предназначен для выполнения торможения по гармоническим составляющим соответствующих функций защит;

4. SCTR – используется для исполнения функции контроля цепей тока;
5. MMXU – логический узел для получения значений с трансформаторов тока и напряжения, и вычисления измеряемых величин, внутри которого реализуется фильтр Фурье в соответствии с выражениями в [3];
6. CSWI – оперативное управление коммутационным аппаратом;
7. XCBR – реализует функции физического силового выключателя;
8. MNAI – узел для расчета гармоник в трехфазной системе;
9. LSVC – узел для считывания comtrade файла с осциллограммами.
10. PTRC – узел используется для соединения выходов operate одного или нескольких логических узлов, реализующих защитные функции, для выдачи одного общего сигнала на отключение выключателей.

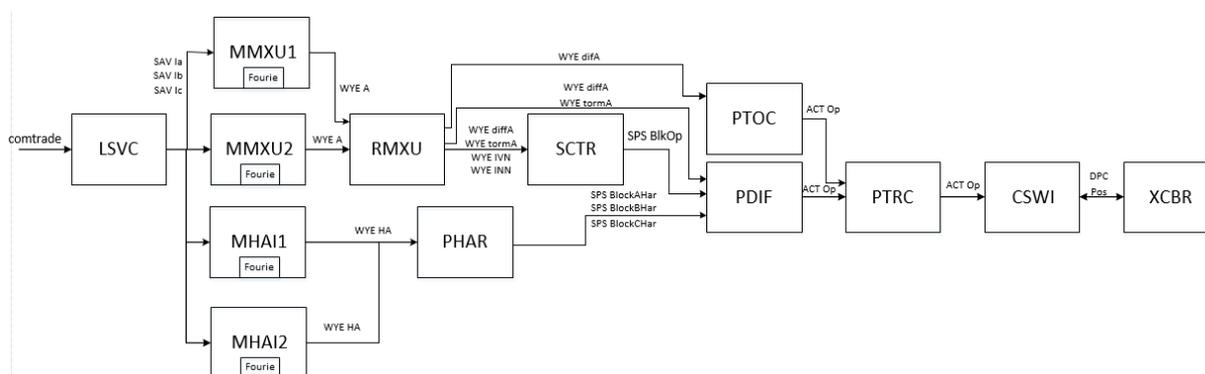


Рис. 1. Устройство асинхронного двигателя

Сигналы, полученные из comtrade файла с помощью узла LSVC, направляются в узел MMXU, где происходит расчёт действующих значений токов присоединений, которые передаются в узел RMXU, в котором реализуется цифровое выравнивание токов, а также расчёт дифференциального и тормозного токов. Также из узла LSVC сигналы токов присоединений передаются в узел MNAI, где осуществляется расчёт действующих значений токов гармоник, после чего эти токи передаются в узел PHAR, где осуществляется блокировка по второй и пятой гармонике. Рассчитанные в узле RMXU токи направляются в узел дифференциальной защиты трансформатора PDIF и узел, реализующий дифференциальную токовую отсечку PTOC, а также в узел SCTR, в котором происходит контроль токовых цепей. После чего сигналы с PHAR и SCTR направляются в узел PDIF, где и реализуются данные блокировки. В узле PDIF осуществляется сравнение дифференциального тока с током уставки, который в свою очередь рассчитывается по тормозному току исходя из

тормозной характеристики. В узле РТОС осуществляется сравнение дифференциального тока с током уставки дифференциальной отсечки. Далее из узла PDIF и РТОС сигналы о срабатывании защиты передаются в узел PTRC, который формирует общи сигнал срабатывания, который направляется в узел CSWI, который передает сигнал на выключение выключателя в узел XCVR, который осуществляет отключение выключателя.

```

public class PTOC extends LN {

    private WYE A = new WYE(); // Данные с узла ММХU
    private ACT Op = new ACT(); // Срабатывание (на выключение)
    private ACD Str = new ACD(); // Пуск защиты
    private INC OpCntRS = new INC(); // Сбрасываемый счетчик операций
    private CURVE TmACrv = new CURVE(); // Тип рабочей кривой
    private CSD TmAst = new CSD(); // Динамические характеристики графика
    private ASG StrVal = new ASG(); // Начальное значение
    private ASG TmMult = new ASG(); // Умножитель уставок времени
    private ING MinOpTmms = new ING(); // Минимальное время срабатывания
    private ING MaxOpTmms = new ING(); // Максимальное время срабатывания
    private ING OpDI Tmms = new ING(); // Время задержки срабатывания
    private ING RsDI Tmms = new ING(); // Время задержки сброса
    private ING DirMod = new ING(); // Режим направленной защиты (уставка по направлению)
    private ACD Dir = new ACD(); // Направление
    private double count = 0; // Счетчик выдержки времени
    private boolean general1 = false;
    private boolean general = false;
    private boolean phsA = false;
    private boolean phsB = false;
    private boolean phsC = false;
    private boolean neut = false;
    private boolean acceleration = false;
    private double counter = 0; // Счетчик времени
    @Override
    public void process() {

        phsA = A.getPhsA().getcVal().getMag().getValue() > StrVal.getSetMag().getValue().getF().getValue();
        phsB = A.getPhsB().getcVal().getMag().getValue() > StrVal.getSetMag().getValue().getF().getValue();
        phsC = A.getPhsC().getcVal().getMag().getValue() > StrVal.getSetMag().getValue().getF().getValue();

        if (phsA || phsB || phsC){
            Str.getGeneral().setValue(true);
            Op.getGeneral().setValue(true);
        }
    }
}

```

Рис. 2. Пример реализации логического узла РТОС

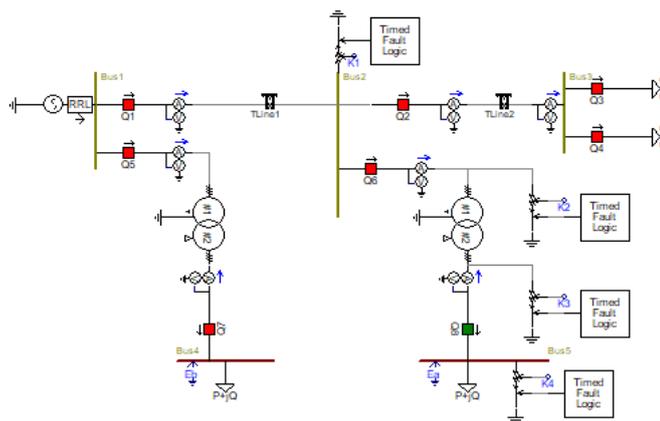


Рис. 3. Схема сети

Для тестирования полученной программной реализации в программном комплексе PSCAD была разработана схема (рис. 3), с помощью которой были получен comtrade который содержит два файла с разными

расширениями – cfg и dat. Dat файл хранит значения аналоговых сигналов, а именно фазных токов сторон высокого и низкого напряжения трансформатора. Cfg файл содержит настройки осциллографирования, а именно частоту, количество сигналов и их тип, масштабирующие коэффициенты.

Разработанная программная реализация успешно выполнила свои функции в соответствии с рассчитанными уставками. Данная разработка позволит в будущем исследовать алгоритмы амплитудного и фазного выравнивания токов плеч, алгоритмы блокировки ДЗТ при насыщении трансформаторов тока и бросках тока намагничивания.

### **Источники**

1. IEC 61850-7-3:2010. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-3: Basic communication structure – Common data classes.

2. IEC 61850-7-3:2010. Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes

3. Воскобойников Ю.Е., Гочаков А.В., Колкер А.Б. Фильтрации сигналов и изображений: фурье и вейвлет алгоритмы (с примерами в Mathcad): монография. – Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т (Сибстрин). – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2010 [Электронный ресурс] <http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/wave/bibl/wkg.pdf> (дата обращения: 22.09.22)

УДК 621.314.224

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КАТУШЕК РОГОВСКОГО В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ВМЕСТО ТРАДИЦИОННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА**

Китанин Д.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

АО «Сетевая компания», г. Казань, Россия

kitaninds@gridcom-rt.ru

Науч. рук. доц. Погорельцев А.И.

В тезисе представлена оценка возможности применения катушек Роговского для целей измерения величины переменного тока для дальнейшего использования устройствами релейной защиты или ведения коммерческого и технического учета.

Так же приведены результаты экспериментов по влиянию положения первичного проводника относительно катушки Роговского. Сделаны выводы о возможной замене катушками традиционных трансформаторов тока в распределительных сетях.

**Ключевые слова:** трансформаторы тока, катушки Роговского, технический/коммерческий учет электроэнергии, измерение переменного тока, релейная защита.

Катушка Роговского (пояс Роговского) получила свое название в честь немецкого физика-электротехника Вальтера Роговского, который изобрел и сконструировал данную электроустановку в 1920 г. Традиционное строение катушки Роговского включает в себя проводник, намотанный на абсолютно немагнитный сердечник таким образом, что направление протекающего тока в проводнике, значение которого необходимо измерить, перпендикулярно намотке проводника в катушке Роговского [1].

Несмотря на появление новых типов измерительных трансформаторов, в частности, на основе катушек Роговского, в энергосистемах по-прежнему широко распространены традиционные трансформаторы тока (ТТ) с металлическим сердечником. Причина этого – хорошо зарекомендовавшие себя методики и стандарты, определяющие рабочие характеристики этих трансформаторов тока [2]. В связи с этим, целью эксперимента являлась проверка точности измерений и выявление нюансов, влияющих на величину относительной погрешности.

Эксперимент проводился для катушек Phoenix Contact PACT RCP-D95 350мм (3шт). Через катушки были проведены три первичных проводника от источника Ретом-71. Данные полученные с катушек сравнивались с прибором для измерений электроэнергетических величин и показателей качества электроэнергии «Энергомонитор-3.3 Т1».

Основным этапом эксперимента являлась проверка влияние положения первичного проводника относительно плоскости катушки. Были выбраны 6 положений в соответствии с Рис.1. При помощи испытательной установки подавался переменный ток (величиной: 1А; 2,5А; 5А; 7,5А; 10А; 15А; 20А) на каждую из трех катушек одновременно по разным проводникам.

Далее рассчитывалась относительная погрешность для каждого значения тока. Результаты для одной из катушек приведены на Рис. 2

На основании полученных данных были сделаны промежуточные выводы о влиянии положения проводника:

1. Для трех разных катушек была характерна картина нормального распределения погрешностей для положения 1 «В центре» (см. Рисунок 1).

Минимумы и максимумы расположены симметрично относительно 0. Близкая картина наблюдается для положения 4.

2. Отличия между положениями проводника не превышают 2 % (при  $I > 2 \text{ A}$ ).

3. Смещение проводника ближе к зоне соединения катушки (п.3 и п.5) смещает погрешности в зону «+» значений. Нахождение проводника в п.2 показывает обратную картину.

4. Для всех положений при токах менее 5А характерна высокая относительная погрешность по току (более 2 % в диапазоне от 1,5 до 5 А).

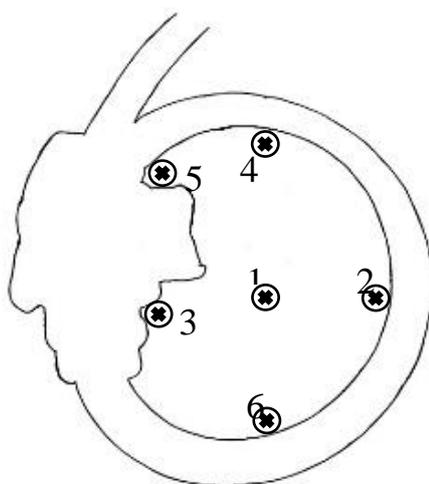


Рис. 1. Положение проводника внутри катушки

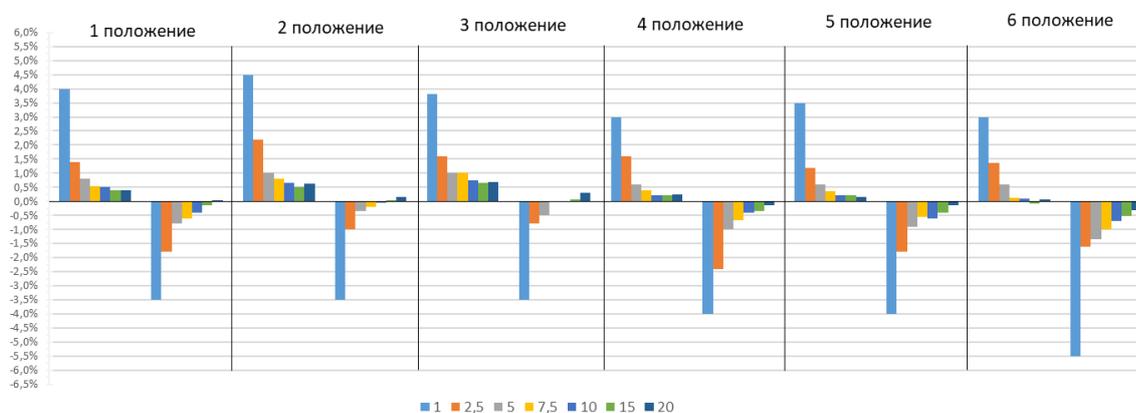


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности от величины и положения проводника.

На следующих этапах проверялось влияние наклона проводника относительно плоскости катушки и оценивалась возможность реализации коммерческого учета с применением в качестве измерительных органов катушек Рогоского.

Проведенные эксперименты показали, что для применения в сетях 6-35 кВ (с возможными первичными токами нагрузки менее 10 А) катушки

Роговского не обеспечивают необходимой точности для применения в целях коммерческого учета. Катушки Роговского можно использовать для целей релейной защиты, измерений и технического учета.

Для обеспечений необходимых требований по точности (0,2 S) для коммерческого учета целесообразно использование комбинированной системы маломощных трансформаторов тока регистрирующих токи 0–10 А с требуемой точностью вместе с катушками Роговского хорошо показавшими себя на токах более 10 А.

### Источники

1. Фесенко, М. Е. Катушка Роговского как альтернативный измерительный орган в релейной защите / М. Е. Фесенко, В. Г. Скорик // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2021. – Т. 2. – С. 63-67. – EDN IHEXLI.

2. Кожович Л. Катушки Роговского – реальная альтернатива традиционным ТТ [Электронный ресурс] <http://digitalsubstation.com/blog/2017/05/24/katushki-rogovskogo-realnaya-alternativa-traditsionnym-tt/>. (дата обращения: 23.09.22).

УДК 621.316.993

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ 6-35 КВ

Мавляутдинов Л.Р., Писковацкий Ю.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[linar.mavlyautdinov@gmail.com](mailto:linar.mavlyautdinov@gmail.com), [yura\\_kazan@mail.ru](mailto:yura_kazan@mail.ru)

В электрических сетях 35 кВ возможно использование 3-х видов заземления нейтрали: изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль, резистивное заземление (низкоомное и высокоомное). Выбор того или иного варианта организации заземления нейтрали зависит от емкостного тока сети и регламентируется правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [1]. В данной работе приведены результаты математического моделирования однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) в сети с различными видами заземления нейтрали.

**Ключевые слова:** однофазное замыкание на землю, моделирование, линии электропередачи, PSS Sincal

В Российской Федерации замыкание одной фазы на землю не считается коротким замыканием в схеме сети с изолированной нейтралью, в связи с тем, что отсутствует соединение между землей

и проводниками сети, благодаря чему сеть не требует дополнительной аппаратуры и затрат на заземление нейтрали. Также следует учитывать недостаток в виде токов утечки при замыкании: при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ) их величина не существенна, однако изолированная нейтраль при замыкании одной фазы на землю способствует пробоем изоляции и появлению замыкания на других фазах, что может повлечь междуфазное замыкание с большими токами.

На основании созданной модели распределительной сети 35 кВ в программном комплексе (ПК) PSS Sincal, было произведено моделирование различных видов заземления нейтрали (рис. 1). В данной сети сеть с напряжением 110 кВ (ПС-1, ПС-2) соединена с понижающим трехобмоточным трансформатором 110/35/10 кВ. Обмотка на 35 кВ соединена с шинами ниже. Окружность, находящаяся на линии под второй секцией шин, обозначает устройство релейной защиты, которое должно среагировать в случае аварии.

Для сравнения значений симуляции с реальными данными, в рамках анализа значений токов был произведен аналитический расчет.

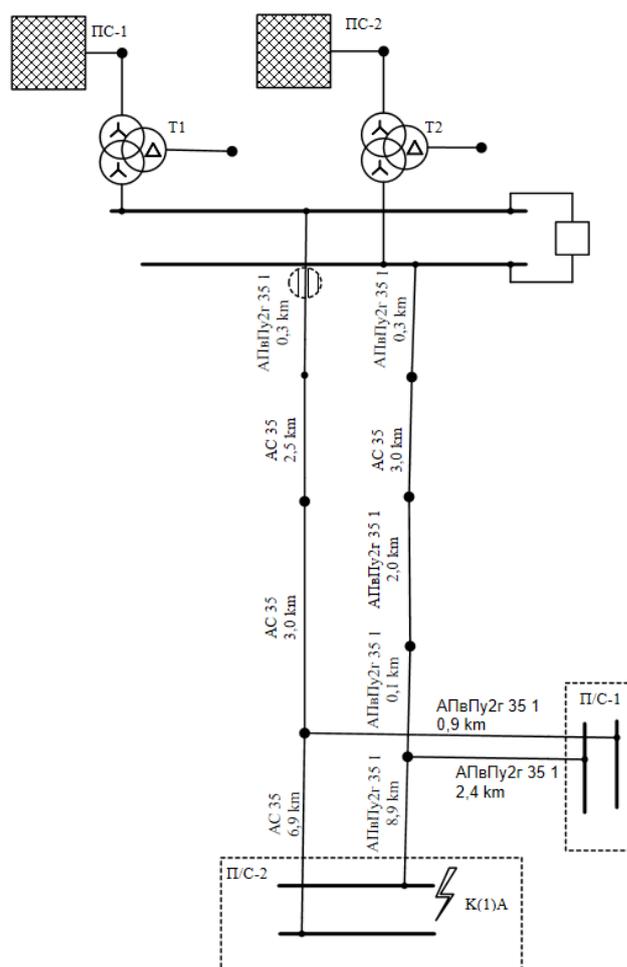


Рис. 1. Схема моделируемой сети

Таблица 1

Сравнение значений токов ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью

№ шины	Ток по расчёту, А	Ток в модели, А
1	9,12	9,12
2	86,28	87,01

Таблица 2

Сравнение значений токов, найденных с помощью выведенного метода расчёта ОЗЗ со значениями в симуляции

Сопротивление нейтрали, Ом	1 шина модель, А	1 шина расчёт, А	2 шина модель, А	2 шина расчёт, А
10	2019,53	2174,43	2635,54	2946,44
20	1608,9	1680,73	1992,84	2099,53
30	1321,86	1358,97	1575,17	1615,69
40	1115,84	1136,72	1293,99	1309,11
50	962,77	975,29	1095,15	1099,12
100	565,25	566,82	617,47	610,13
200	307,29	307,13	338,39	328,99

Исходя из указаний [1, 2] был сделан выбор заземления нейтрали для симуляции на рис. 1. Сначала необходимо найти ток ОЗЗ для сети с изолированной нейтралью. Затем полученную величину необходимо увеличить в 2,5–4 раза, исходя из мысли, что ток должен обеспечить устойчивое горение дуги при ОЗЗ. Величина сопротивления равна 53 Ом.

Подставив найденную величину в математическую модель (рис. 1), были проанализированы графики напряжений непосредственно на месте установки релейной защиты (рис. 2).

Выбор уставок для срабатывания устройств релейной защиты от замыкания на землю в сетях с резистивным заземлением осуществляется по методике [2]. Указанный подход с использованием прикладных программных средств позволяет организовывать релейную защиту с более гибкими и адаптивными (с требуемой чувствительностью и надежностью) характеристиками срабатывания. Анализ полученной осциллограммы токов (рис. 2) показывает, что в режиме ОЗЗ (ф. А) наблюдается снижение напряжения поврежденной фазы до 5 В, а напряжения неповрежденных

фаз достигают значений 35 кВ, что в  $\sqrt{3}$  раз больше номинальных фазных значений.

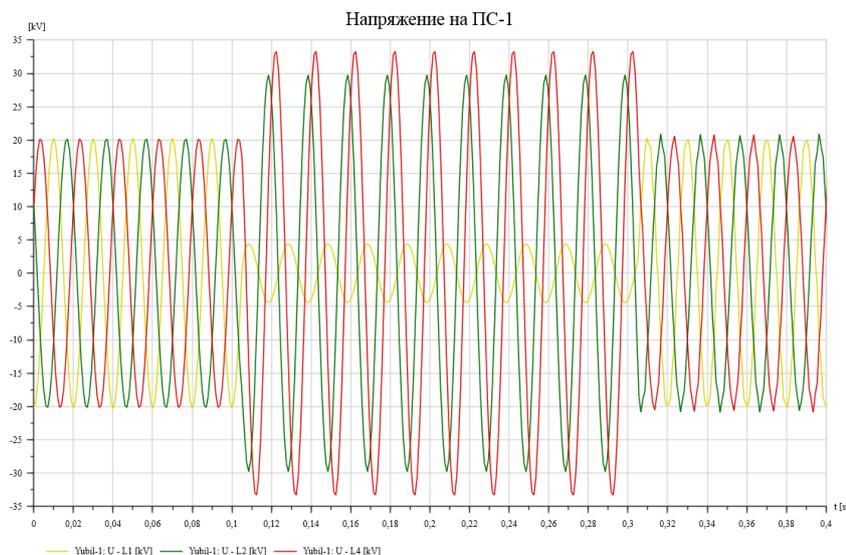


Рис. 2. Осциллограмма напряжений на ПС-1 при симуляции аварийного режима работы сети

## Источники

1. ПУЭ п. 1.2.16 Электроснабжение и электрические сети. Общие требования [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ruscable.ru/info/pue/1-2.html> (Дата обращения: 23.04.2022)

2. Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ. Приказ от 25.06.2013 №334 открытого акционерного общества энергетики и электрификации ЛЕНЭНЕРГО (стр. 12)

УДК 621.3

## ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Мирзаянов Б.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

bulat-mirzo@yandex.ru

Науч. рук. доц. Губаев Д.Ф.

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. 1а 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. 1б показан еще один феррорезонансный контур. На рис. 2а показан практический пример феррорезонансной цепи, в которой приборный трансформатор напряжения (ИТН) отделен от сборной шины разъединителем D2.  $C_d$  — емкость силового разъединителя Dp в разомкнутом состоянии, а  $C_p$  — общая емкость сборной шины, на рис. 2б показана приведенная эквивалентная цепь [2].

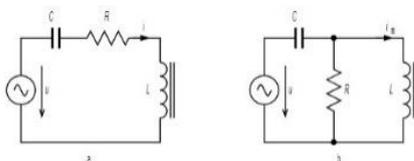


Рис. 1. Базовая конфигурация феррорезонансного контура

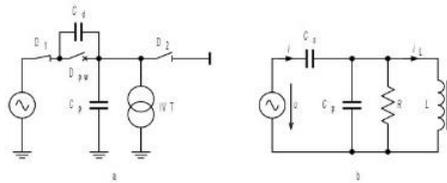


Рис. 2. Феррорезонансная схема (а) и эквивалентная схема (б)

Четыре различных типа феррорезонанса:

- 1) основной режим,
- 2) субгармонический режим,
- 3) квазипериодический режим,
- 4) хаотический режим.

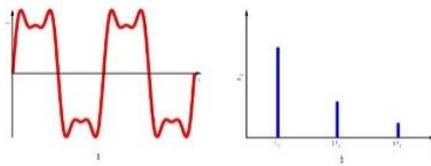


Рис. 3. Основной режим

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 ( $2f_0, 3f_0, \dots$ ).

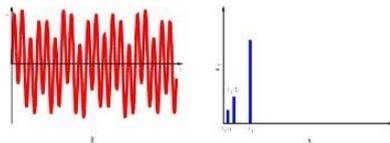


Рис. 4. Субгармонический режим

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).

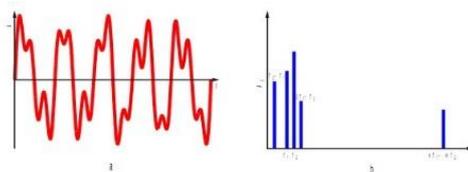


Рис. 5. Квазипериодический режим

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).

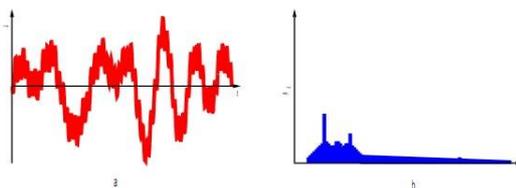


Рис. 6. Хаотический режим

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, Vol. 12, No. 4, October 1997. pp. 1793-1798.

2. Ferracci, Ph. Ferroresonance. Application Note, [online] Cahier Technique Merlin Gerinno. 190, 1998. [Electronic resource]. [http://www.schneider-electric.com/cahier\\_technique/en/pdf/ect190.pdf](http://www.schneider-electric.com/cahier_technique/en/pdf/ect190.pdf), 08.12.2004. (date of application 16.09.2022).

3. Kavasseri, R. G. Analytical Prediction of Subharmonic Oscillations in a Ferroresonant Circuit. Proc. 35th North American Power Symposium, Rolla, Missouri, October 2003.

УДК 621.311.001.57

## АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ НОРМАЛЬНОГО И АВАРИЙНОГО РЕЖИМОВ СЕТИ 6–220 кВ

Новожеев С.Р., Украинцев А.В.

ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Novozheev.sergey@yandex.ru , xelandr@mail.ru

Науч. рук. проф. Нагай В.И.

В работе предложен алгоритм автоматизации расчетов параметров нормальных и аварийных режимов продольно-поперечной несимметрии электрических сетей. Автоматизация формирования результатов моделирования в программном комплексе –

является частью исследования. Значительную часть рассматриваемой работы составляет формализация обработки большого объема данных по видам повреждений и их мест возникновения.

**Ключевые слова:** электрические сети, автоматизация, модель, массивы данных, подпрограмма, таблица, форма – представление, визуализация.

Математическое моделирование является одним из видов теоретического исследования и в данном случае режимов продольно-поперечной несимметрии (обрывы, обрывы с короткими замыканиями, короткие замыкания) электрических сетей. Правильно сформированная модель позволяет получать достоверные параметры ее работы и открывает перед исследователями множество путей дальнейших работ.

Предложенная модель участка электрической сети 110 кВ (см. рисунок 1) была выполнена в среде Matlab/Simulink при помощи имитационных блоков и блоков моделирования аварийных режимов. Благодаря возможности детальной настройки блоков математическая модель имитирует сеть, близкую к реальной [1].

В модели было принято решение формирования аварийных режимов цепочкой: т. е. каждый новый аварийный режим начинается сразу после предыдущего (см. рисунок 2). Данное решение продиктовано необходимостью получения большого объема расчетов без внесения изменений в параметры сети. Данный метод значительно увеличивает время расчетов, но позволяет на выходе получить необходимые параметры во всех требуемых режимах. В данном случае было смоделировано 190 различных режимов и получены на выходе интересующие параметры: величины модуля и аргументы сопротивлений ( $Z_{\text{междуфазный}}$ ,  $\varphi_{Z_{\text{междуфазный}}}$ ), представленные в виде двух массивов размерностью (438005 x 4) каждый.

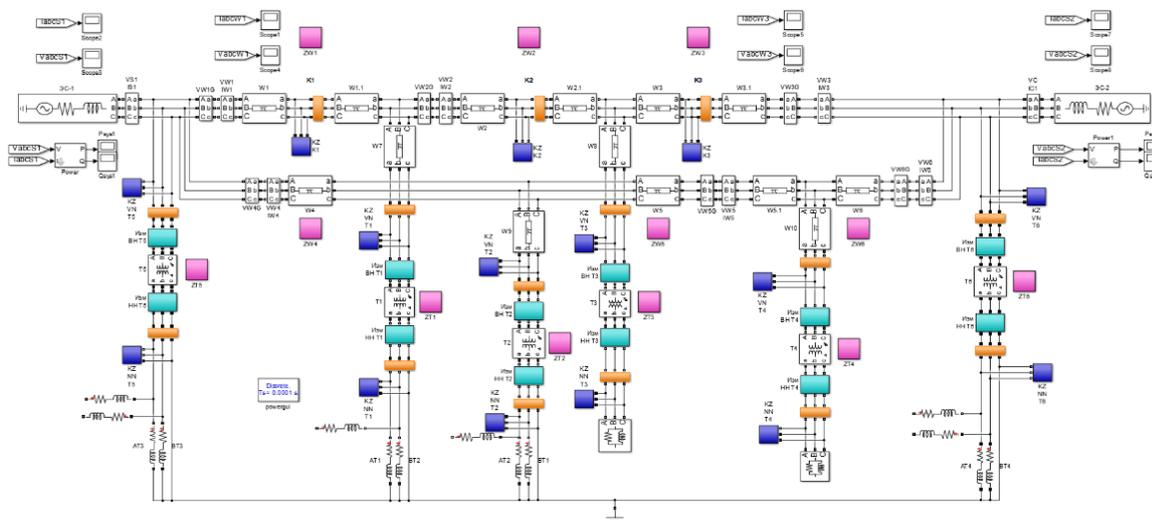


Рис. 2. Модель сети с продольно-поперечной несимметрией

НР	6,8 6,9	НР	10 10	НР	14 14	НР	17 17	НР	20 21	НР	24 24	НР	27 27	НР
Каб К2	№33 7 7,1	Каб К3	№49 10 11	Каб ВН Т1	№65 14 14	Каб ВН Т2	№81 17 17	Каб ВН Т3	№97 21 21	Каб ВН Т4	№113 24 24	Каб ВН Т5	№129 27 28	Каб ВН Т6
Кбс К2	№34 7,2 7,3	Кбс К3	№50 11 11	Кбс ВН Т1	№66 14 14	Кбс ВН Т2	№82 17 18	Кбс ВН Т3	№98 21 21	Кбс ВН Т4	№114 24 24	Кбс ВН Т5	№130 28 28	Кбс ВН Т6
Кса К2	№35 7,4 7,5	Кса К3	№51 11 11	Кса ВН Т1	№67 14 14	Кса ВН Т2	№83 18 18	Кса ВН Т3	№99 21 21	Кса ВН Т4	№115 24 24	Кса ВН Т5	№131 28 28	Кса ВН Т6
Каб К2	№36 7,6 7,7	Каб К3	№52 11 11	Каб ВН Т1	№68 14 15	Каб ВН Т2	№84 18 18	Каб ВН Т3	№100 21 21	Каб ВН Т4	№116 25 25	Каб ВН Т5	№132 28 28	Каб ВН Т6
Кбс К2	№37 7,8 7,9	Кбс К3	№53 11 11	Кбс ВН Т1	№69 15 15	Кбс ВН Т2	№85 18 18	Кбс ВН Т3	№101 22 22	Кбс ВН Т4	№117 25 25	Кбс ВН Т5	№133 28 28	Кбс ВН Т6
Кса К2	№38 8 8,1	Кса К3	№54 11 12	Кса ВН Т1	№70 15 15	Кса ВН Т2	№86 18 18	Кса ВН Т3	№102 22 22	Кса ВН Т4	№118 25 25	Кса ВН Т5	№134 28 29	Кса ВН Т6
Кабг К2	№39 8,2 8,3	Кабг К3	№55 12 12	Кабг ВН Т1	№71 15 15	Кабг ВН Т2	№87 18 19	Кабг ВН Т3	№103 22 22	Кабг ВН Т4	№119 25 25	Кабг ВН Т5	№135 29 29	Кабг ВН Т6
Квсг К2	№40 8,4 8,5	Квсг К3	№56 12 12	Квсг ВН Т1	№72 15 15	Квсг ВН Т2	№88 19 19	Квсг ВН Т3	№104 22 22	Квсг ВН Т4	№120 26 26	Квсг ВН Т5	№136 29 29	Квсг ВН Т6
Ксаг К2	№41 8,6 8,7	Ксаг К3	№57 12 12	Ксаг ВН Т1	№73 15 16	Ксаг ВН Т2	№89 19 19	Ксаг ВН Т3	№105 22 22	Ксаг ВН Т4	№121 26 26	Ксаг ВН Т5	№137 29 29	Ксаг ВН Т6
Кабс К2	№42 8,8 8,9	Кабс К3	№58 12 12	Кабс ВН Т1	№74 16 16	Кабс ВН Т2	№90 19 19	Кабс ВН Т3	№106 22 23	Кабс ВН Т4	№122 26 26	Кабс ВН Т5	№138 29 29	Кабс ВН Т6
Обрыв А на W2	№43 9 9,1	Обрыв А на W3	№59 12 13	Обрыв А на ВН Т1	№75 16 16	Обрыв А на ВН Т2	№91 19 19	Обрыв А на ВН Т3	№107 23 23	Обрыв А на ВН Т4	№123 26 26	Обрыв А на ВН Т5	№139 29 30	Обрыв А на ВН Т6
Обрыв В на W2	№44 9,2 9,3	Обрыв В на W3	№60 13 13	Обрыв В на ВН Т1	№76 16 16	Обрыв В на ВН Т2	№92 20 20	Обрыв В на ВН Т3	№108 23 23	Обрыв В на ВН Т4	№124 26 26	Обрыв В на ВН Т5	№140 30 30	Обрыв В на ВН Т6
Обрыв С на W2	№45 9,4 9,5	Обрыв С на W3	№61 13 13	Обрыв С на ВН Т1	№77 16 16	Обрыв С на ВН Т2	№93 20 20	Обрыв С на ВН Т3	№109 23 23	Обрыв С на ВН Т4	№125 26 26	Обрыв С на ВН Т5	№141 30 30	Обрыв С на ВН Т6
Сетевое А на W2	№46 9,6 9,7	Сетевое А на W3	№62 13 13	Сетевое А на ВН Т1	№78 16 17	Сетевое А на ВН Т2	№94 20 20	Сетевое А на ВН Т3	№110 23 23	Сетевое А на ВН Т4	№126 27 27	Сетевое А на ВН Т5	№142 30 30	Сетевое А на ВН Т6
Сетевое В на W2	№47 9,8 9,9	Сетевое В на W3	№63 13 13	Сетевое В на ВН Т1	№79 17 17	Сетевое В на ВН Т2	№95 20 20	Сетевое В на ВН Т3	№111 23 24	Сетевое В на ВН Т4	№127 27 27	Сетевое В на ВН Т5	№143 30 30	Сетевое В на ВН Т6
Сетевое С на W2	№48 10 10	Сетевое С на W3	№64 13 14	Сетевое С на ВН Т1	№80 17 17	Сетевое С на ВН Т2	№96 20 20	Сетевое С на ВН Т3	№112 24 24	Сетевое С на ВН Т4	№128 27 27	Сетевое С на ВН Т5	№144 30 31	Сетевое С на ВН Т6

Рис. 2. Порядок и временной интервал различных аварийных режимов

В связи с необходимостью дальнейшей обработки было принято решение об автоматизации расчетов с применением других программных комплексов. Для автоматического отбора необходимых данных и формирования более удобного массива был написан специальный макрос в Microsoft Excel. Далее в той же программе выбранные данные автоматически заносятся в новые таблицы уже для ручной обработки их значений. Распределение в данных таблицах ведется как по месту повреждения, так и по его виду.

Microsoft Excel позволяет автоматически формировать таблицу из отобранных вручную данных для экспорта в программную среду OriginLab. Особенностью является необходимость одномерного массива для улучшенного функционала визуализации (см. рисунок 3). При построении графика из одномерной таблицы появляется возможность самостоятельно выбирать отображение необходимых точек на плоскости рисунка. Данная функция позволяет исследователю значительно качественней классифицировать повреждения и находить новые информационные признаки.

Таким образом, представленные методы автоматизации значительно расширяют функционал исследователя, наделяя его большими инструментами для анализа полученных данных, а также значительно ускоряет процесс расчетов и первичной обработки огромного объема данных без участия человека. В будущем данный подход позволит исследовать параметры режимов сложных моделей электрических сетей.

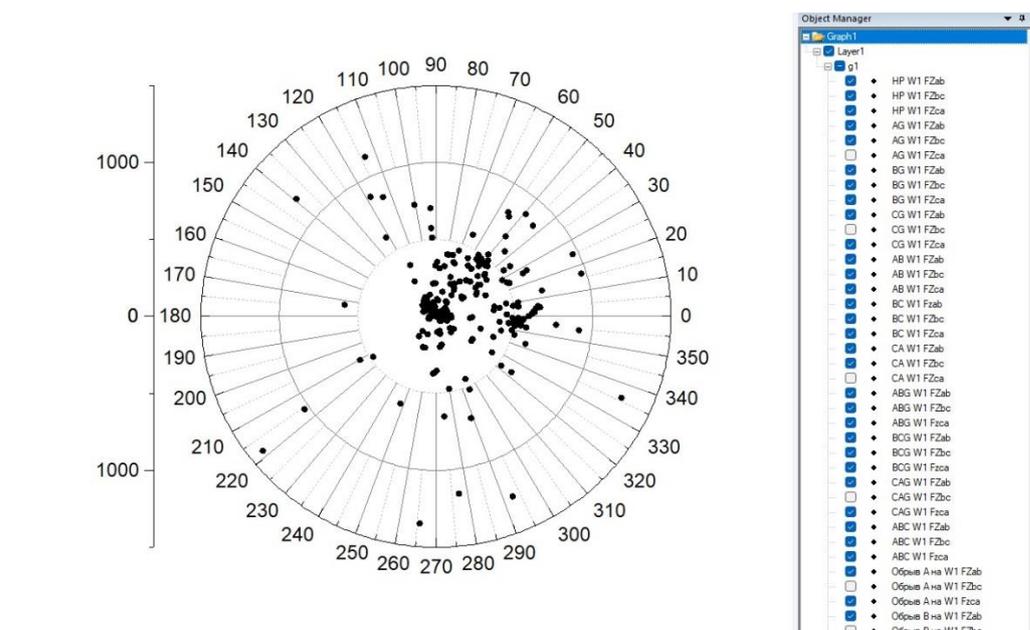


Рис. 3. Визуализация междуфазных сопротивлений с возможностью поточечного отображения

### Источники

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Simulink и SimPowerSystems. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008–288 с.

УДК 621.311.001.57

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ С ПРОДОЛЬНО – ПОПЕРЕЧНОЙ НЕСИММЕТРИЕЙ В СЕТЯХ 6–220 кВ

Новожеев С.Р., Украинцев А.В.

ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Novozheev.sergey@yandex.ru , xelandr@mail.ru

Науч. рук. проф. Нагай В.И.

В работе предложена математическая модель участка сети с воздушными линиями 110-220 кВ, питающими сети тяговой нагрузки, выполненная в среде Matlab/Simulink. Составными частями модели являются блоки моделирования электроэнергетического оборудования с соответствующими характеристиками. Измерительные блоки формируют массивы данных о параметрах работы сети в различных режимах для дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** электрические сети напряжением, электрические сети, математическая модель, продольная-поперечная несимметрия, тяговая нагрузка.

Электроэнергосистема является очень сложным и многофакторным механизмом. Первостепенная задача электроэнергетической системы – надежное питание потребителей электроэнергией в соответствии с установленными ГОСТами. Существенное влияние на надежность работы электроэнергетических систем оказывает как надежность высоковольтного оборудования, систем релейной защиты и автоматики (РЗА), так и многообразие режимов его режимов работы, в том числе в нормальных допустимых режимах, так и в аварийных режимах. В частности, в нашей стране очень развиты железные дороги, так что их влияние непосредственно сказывается на работе энергосистемы в большей части нашей страны [1].

Режим работы сети с продольно – поперечной несимметрией является одним из опасных режимов для энергосистемы. Опасность заключается в возможных перенапряжениях, протекании сверхтоков, а также в негативном влиянии несимметричных токов на чувствительные органы релейной защиты и автоматики.

Для анализа протекающих в энергосистеме процессов было выполнено моделирование участка сети с тяговой и общепромышленной нагрузкой в среде Matlab/Simulink [2]. Общий вид модели представлен на рисунке 1. Исследование режимов работы такой сети и выявление новых информационных признаков различных аварийных режимов, в частности продольно-поперечной несимметрии, позволяет улучшать качество проектирования и наладки защит, возможность качественного выбора и улучшения показателей оборудования, разработки новых методик работы для обеспечения требуемых показателей.

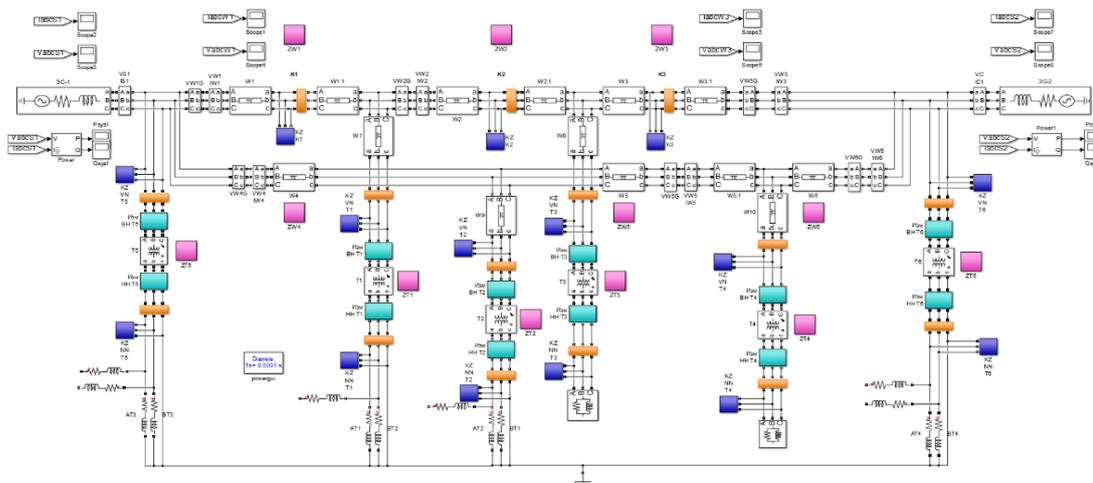


Рис. 3. Модель сети с продольно-поперечной несимметрией

Моделирование продольно поперечной несимметрии (рис. 1) было выполнено при помощи имитации сетевого замыкания на стороне

высокого напряжения трансформатора ТЗ тяговой подстанции. Процесс протекания замыкания начинается с обрыва фазы с переходом в короткое замыкание на землю с одной стороны обрыва.

Программная среда Simulink позволяет рассчитывать большое количество параметров работы сети в различных режимах. Блоки измерений (см. рисунок 2) формируют массив междуфазных сопротивлений, что в дальнейшем используется для обработки полученных данных и выполнения годографов междуфазных сопротивлений. Данные преобразования возможно выполнить в самой среде, но для удобства обработки результатов исследований необходима визуализация совершенно другими способами.

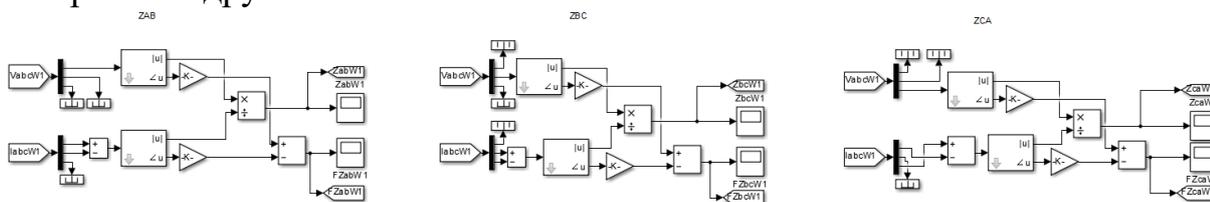


Рис. 2. Блоки измерений междуфазных сопротивлений

Для обработки большого числа параметров массив из Matlab переносится в Microsoft Excel, где при помощи специального макроса выполняется его упрощение до удобных для дальнейшего анализа размеров. Далее данные переносятся в специальную таблицу, что позволяет видоизменить массив в удобную для исследователя таблицу с подробным разбиением по месту и виду повреждений.

Дальнейший подробный анализ и визуализация выполняется в программе OriginLab. Туда переносится измененный массив с рассчитанными значениями, в необходимом формате. Программа формирует график в полярной системе координат (см. рисунок 3), что привычно для построения областей работы дистанционных органов релейной защиты.

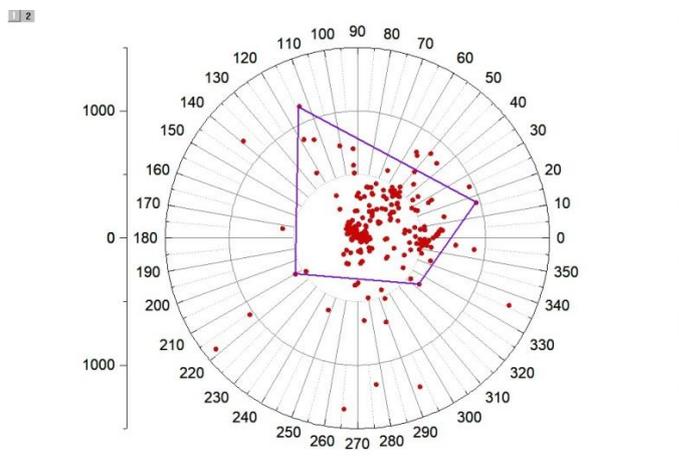


Рис. 3. Построение области срабатывания органа сопротивления в OriginLab

Рассмотренное представление результатов моделирования отличается тем, что полученная информация о целом ряде различных режимов представляется в удобной форме в одном массиве, что положительно сказывается на анализе и выявлении новых информационных признаков. Результатом обработки по определенным информационным признакам были выявлены точки для построения областей срабатывания органов дистанционной защиты.

### **Источники**

1. Сопов В.И, Щуров Н.И.. Электрические нагрузки систем тягового электроснабжения: монография. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 171 с.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, Simulink и SimPowerSystems. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008– 288 с.: ил.

УДК 621.316.925.1

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА РЕЗЕРВА**

Рахматуллин С.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

samatrakhmatullin@gmail.com

Науч. рук. доц. Мустафин Р.Г.

В настоящей работе с помощью программного комплекса DigSILENT PowerFactory предпринята попытка компьютерного моделирования работы устройства автоматического ввода резерва. Модель АВР применена к модели типовой схемы распределительного устройства 6 кВ, в результате чего осуществлен ее соответствующий расчет в установившемся режиме.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, РЗА, АВР, РУ, компьютерное моделирование, расчет схем.

Автоматически ввод резерва (АВР) является важнейшим способом защиты в электроэнергетической отрасли и предназначается для обеспечения бесперебойной работы электрических сетей. В системах электроснабжения оборудование АВР осуществляет автоматическое подключение к электросетям резервных источников питания при возникновении аварийных процессов, нарушающих нормальную работу основного электропитания. Принцип работы АВР можно рассмотреть

более детально, если обратиться к его логической схеме, представленной в [1]. Так, в случае уменьшения значений напряжения или его отсутствия по причине прекращения питания, оборудование АВР начинает проверку наличия необходимых показателей разности электрических потенциалов на другой секции шин. При наличии в последней достаточного уровня напряжения, реализуется команда на отключение вводного выключателя. После успешного отключения осуществляется процесс включения секционного выключателя.

Как можно заметить, реализация функции АВР весьма проста, однако, несмотря на это, в настоящее время в отечественной научной литературе практически отсутствуют примеры компьютерного моделирования работы устройств АВР, что обуславливает актуальность написания настоящей работы.

В качестве программного обеспечения для осуществления цифрового моделирования выбран компьютерно-прикладной комплекс DigSILENT PowerFactory, предназначенный для различных задач проектировщиков и иных специалистов электроэнергетической отрасли, в том числе работающих в направлении релейной защиты и противоаварийной автоматики. Программа позволяет анализировать не только работу систем генерации и передачи электроэнергии, но и ее распределения, а также потребления. Более того, функциональные возможности обозначенного компьютерного продукта охватывают различные области энергетики, начиная от контроля, диагностики и тестирования вспомогательных электронных элементов, заканчивая мониторингом нагрузки крупных комплексов силового оборудования и возможностью моделирования работы систем ВИЭ [2].

Начальным этапом моделирования работы АВР является создание составной модели его устройства с помощью встроенных в программу логических блоков (см. рисунок 1).

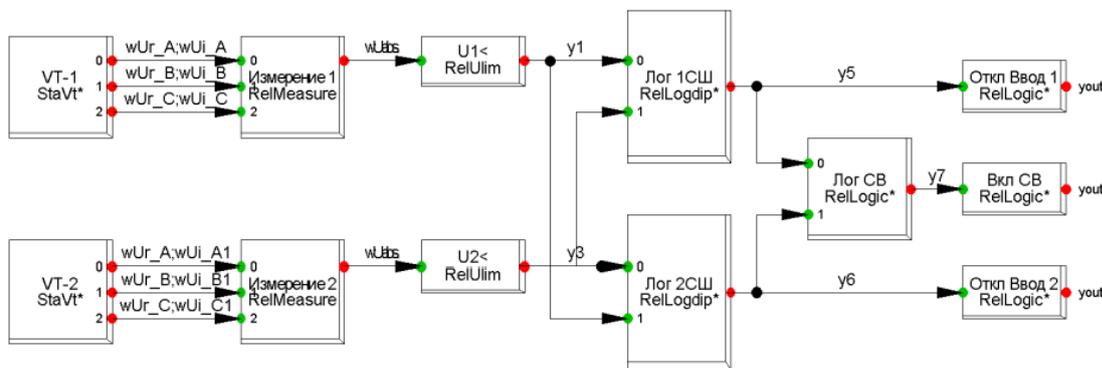


Рис. 1. Модель АВР, созданная на базе логических блоков DigSILENT PowerFactory

Из рисунка 1 видно, что работа модели базируется на выполнении четырех шагов: с трансформатора напряжения  $U_{\text{Л}}$  поступает на блок «Измерение»; после обработки величины напряжения оно направляется на специальный релейный блок, в котором вырабатывается выходной сигнал; если значение напряжения достигает уставки, то на выходе получается «логическая единица», а иначе выдается «логический ноль»; далее сигналы передаются на логические блоки, предназначенные для формирования команд на отключение выключателей.

Заключительным этапом моделирования является применение полученной модели АВР к модели распределительного устройства (РУ). В качестве примера здесь применяется типовое исполнение РУ 6 кВ с двумя источниками питания, выключателями в количестве пять штук, двумя ТН, двумя нагрузками и одиночной секционированной системой шин. Расчет схемы в установившемся режиме с напряжением  $U_{\text{ном}}$  представлен на рисунке 2.

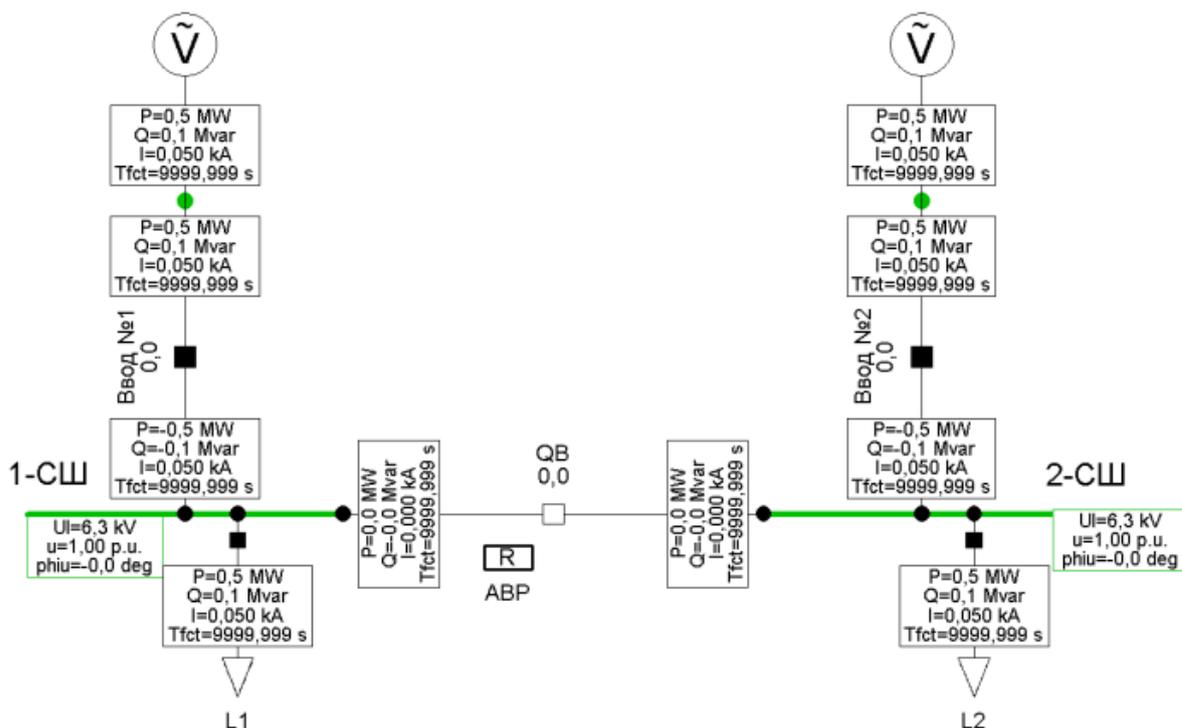


Рис. 2. Модель схемы РУ 6 кВ

После реализованных мероприятий возможно выполнение расчета схемы в статическом и динамическом режимах. Таким образом, предложенная модель устройства АВР с пуском по напряжению может быть полезна при выявлении параметров срабатывания защит в моделируемых аварийных ситуациях на различных участках энергосистемы страны.

## Источники

1. Орлов Д.А. Автоматический ввод резерва. Принцип работы АВР // Развитие инструментов управления научной деятельностью: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. / Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2017. – С. 100–102.

2. Bohre A., Roy B. Over current protection of distribution system with impact of solar and wind generation using DIgSilent power factory / A. Bohre, B. Roy // International Journal of Engineering, Science and Technology. 2022. – № 3. – P. 122–131.

УДК 621.316.925.1

## УЛУЧШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАМЕРА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Семенов М.Н.

Филиал АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань, Россия

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

maxim.snt@inbox.ru

Науч. рук. проф. Гайсин А.Ф.

В данном тезисе показаны способы улучшения точности замера первой ступени дистанционной защиты от коротких замыканий на землю в линиях электропередачи 110-220 кВ. Были учтены влияние взаимоиндукции параллельных линий электропередачи и подпитка током нулевой последовательности отпаечных подстанций на защищаемой линии на замер сопротивления, что требует дополнительных мер для лучшей точности замера. Замеры сопротивления производились в программном комплексе PSCAD и ПВК «АРУ РЗА».

**Ключевые слова:** дистанционная защита, замыкания на землю, компенсация тока, взаимоиндукция

Основной защитой от коротких замыканий (КЗ) на землю является токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП), не учитывая основные защиты линий, как дифференциальную защиту линии, дифференциально-фазную и направленную высокочастотную защиты линии. Дистанционная защиты, которая применяется для защиты от междуфазных КЗ, имеет возможность чувствовать и КЗ на землю. Эта возможность была известна уже в середине XX века, но не получила распространение в нашей стране из-за сложной технической конструкции

данной защиты, но с внедрением микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) технические сложности отпадают.

Сложности с внедрением дистанционной защиты от всех видов КЗ могут возникнуть при выборе коэффициента компенсации, которые рассчитываются по удельным параметрам линии и служат для компенсации влияния составляющей нулевой последовательности тока, возникающие при КЗ на землю. Сам замер сопротивления будет выглядеть:

$$Z_{\phi 0} = \frac{U_{\phi}}{I_{\phi} + k \cdot I_0} \quad (1)$$

где  $Z_{\phi 0}$  – замер сопротивления;

$U_{\phi}$ ,  $I_{\phi}$  – фазные напряжение и ток в месте установки защиты;

$I_0$  – ток нулевой последовательности в месте повреждения;

$k$  – коэффициент компенсации нулевой последовательности, равный:

$$k = \frac{Z_0 - Z_1}{3 \cdot Z_1} \quad (2)$$

где  $Z_0$ ,  $Z_1$  – удельные значения сопротивления нулевой и прямой последовательности защищаемой линии.

При защите двухцепной или параллельной линии возникает сопротивление взаимной индукции, которое влияет на замер сопротивления и при использовании формулы 1 точность замера ухудшается и устройство релейной защиты (УРЗ) может сработать неселективно, отключив неповрежденные линии электропередачи. На точность замера так же может повлиять подпитка током нулевой последовательности от нейтралей заземленных трансформаторов, которые будут сидеть на отпаечных линиях. Эти два фактора: взаимная индукция и подпитка током, являются одним из основных ухудшающих условий для правильности работы дистанционной защиты от всех видов КЗ. Для изучения этих двух факторов и решения проблемы была построена математическая модель в программном комплексе PSCAD, показанная на рисунке 1.

Для анализа работы дистанционной защиты от коротких замыканий на землю была создана модель УРЗ, которая позволяла бы записывать замер сопротивления и сравнивать его с характеристикой дистанционной защиты (см. рисунок 2). Основными элементами защиты являются два блока: Signal Processing и Protection Scheme, отвечающие за подготовку сигналов тока и напряжения для терминала МУРЗ и логическую схему для работы защиты соответственно.

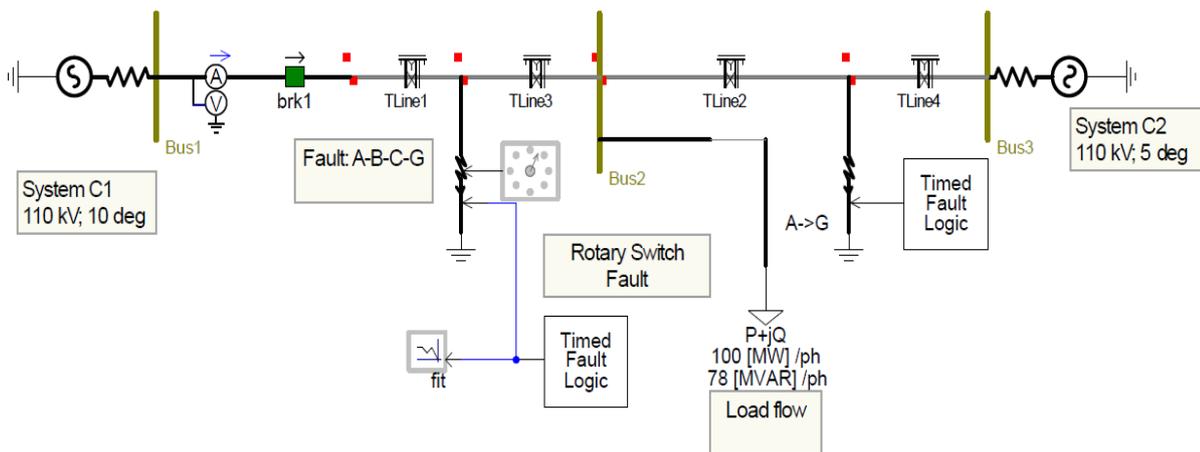


Рис. 1. Модель энергосистемы

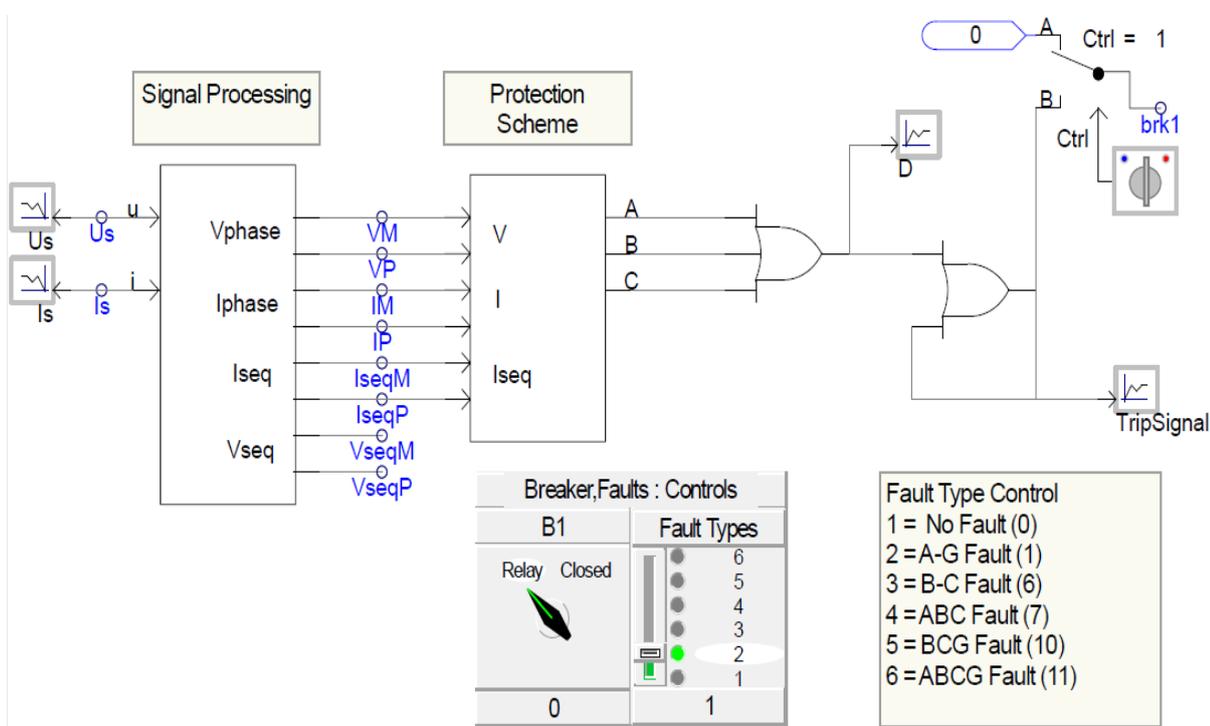


Рис.2. Модель дистанционной защиты

В ПВК «АРУ РЗА» была произведена проверка способов улучшения точности замера дистанционной защиты от коротких замыканий на землю, где высчитывалась чувствительность защиты с учетом коэффициента компенсации.

В процессе работы применялись следующие способы улучшения замера: использование тока нулевой последовательности параллельной незащищаемой линии и пересчет коэффициента компенсации с учетом схемно-режимных ситуаций. Применяемый способ для защиты линии зависит от топологии защищаемой линии.

## Источники

1. Фабрикант В.Л. Дистанционная защита. Усеб. пособие для вузов. – М.: Высш. Школа, 1978. – 215 с., ил.
2. Аржанников Е.А. Дистанционный принцип в релейной защите и автоматике линий при замыканиях на землю. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 177 с.
3. Циглер Г. Цифровая дистанционная защита: принципы и применение. – Перевод с англ. Под ред. Дьякова А.Ф. – М. Энергоиздат. 2005. – 322 с.
4. Дони Н.А., Малый А.П., Шурупов А.А. Учет влияния взаимоддукции параллельных линий на замер реле сопротивления. // Релейная защита и автоматизация, 2012. Издание: 2.
5. Микропроцессорное устройство защиты линий 110–220 кВ «Сириус-3-ЛВ-03». Техническое описание и руководство по эксплуатации. – М.: ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2007.

УДК 621.316.925.2

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Султанова Г.И, Гавриленко А.Н.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
g-sultanova98@mail.ru

В тезисе рассмотрен вариант организации автоматике ввода резерва, использующий адаптивное изменение параметров её срабатывания, позволяющий улучшить эффективность работы на основе измерения дополнительных величин на стороне нагрузки с передачей их по коммуникационным сетям на сторону АВР и расширяющий перспективы её использования в сетях с двигательной нагрузкой в качестве базовой.

**Ключевые слова:** релейная защита, распределительные сети, адаптивные параметры срабатывания, каналы связи, АВР.

Существенные изменения режимов и параметров распределительной сети, содержащей двигательную нагрузку приводит к значительным проблемам при создании эффективной релейной защиты и автоматике. Добавив дополнительные параметры работы нагрузки, можем улучшить работу релейной защиты и автоматике. Для совершенствования РЗА

можно использовать коммуникационные технологии для того, чтобы получать расширенную информацию о режимах распределительной сети.

В работах [1, 2] получены данные для построения эффективной защиты распределительной сети с электростанциями малой мощности. Показано, что наличие информации о параметрах предшествующего режима удалённых источников (систем) позволит значительно повысить эффективность дистанционной защиты (ДЗ) в сети с многосторонним питанием и предложена ДЗ с адаптивными параметрами срабатывания, с учетом параметров сети в узлах подключения двигателей [2].

В нашей работе рассмотрен вариант АВР с адаптивными параметрами срабатывания (рис. 1 и 2).

Несмотря на то, что современные каналы связи позволяют передавать большие потоки информации по оптоволоконным линиям, для передачи дополнительной информации не требуется высокой пропускной способности линии. В то же время, релейная защита и автоматика должны обладать достаточным быстродействием и новое устройство не должно его ограничивать. Поэтому поток дополнительных данных должен быть непрерывным.

Для передачи информации можно применить существующие протоколы (Modbus TCP или МЭК 61850). Измерения на стороне двигателя можно выполнять, например, с помощью РМУ (локальных устройств синхронизированных векторных измерений).

Для реализации устройства требуется установить измерительные органы (ИО1, ИО2...) на стороне двигательной нагрузки (по одному комплекту на каждый двигатель). От них информация будет передаваться к месту расположения АВР в устройство формирования адаптивных уставок (УФАУ), которое в свою очередь записывает уставки в блок АВР. Например, для формирования новой уставки по напряжению УФАУ с учетом включенных в работу вращающихся двигателей и параметров их текущего состояния вычисляет новую уставку и записывает ее в блок АВР. Это позволяет значительно снизить влияние подпитки от двигателя и повысить чувствительность уставки. Таким образом, для создания такого устройства требуется небольшая доработка АВР.

Возможно построение варианта алгоритма, в котором непрерывный поток данных от отключенного двигателя будет прекращен с выдачей соответствующей командой, которая изменит уставку. И так будет происходить, пока двигатель опять не будет запущен.

Модель описанного устройства мы выполнили в программном комплексе PSCAD и опробовали его работу (рис.1).

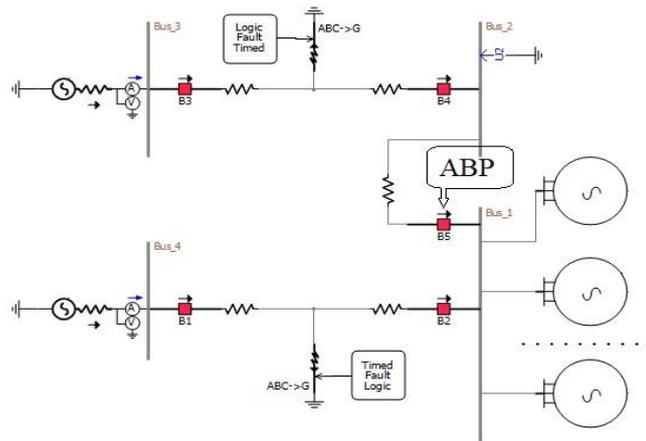


Рис. 1. Схема сети с устройством АВР на секционном выключателе с использованием программы PSCAD

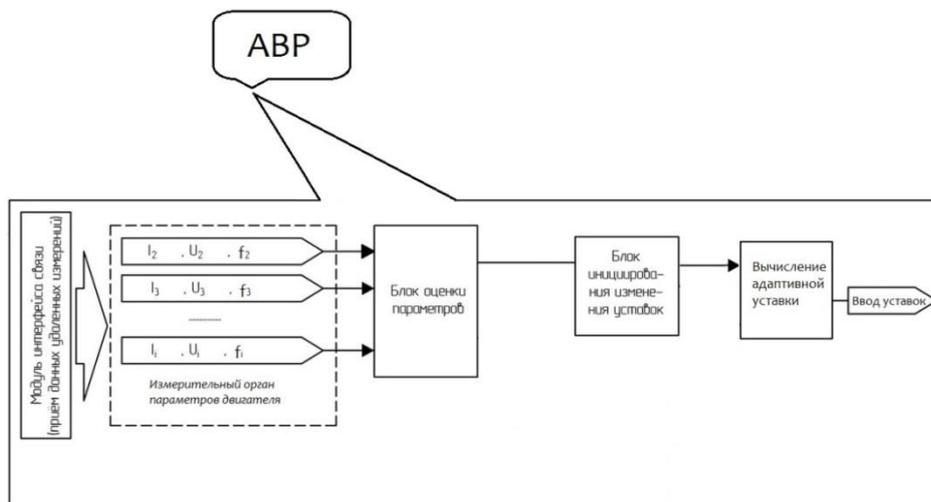


Рис. 2. Обобщённая схема определения адаптивных параметров срабатывания АВР

По цифровым каналам со стороны двигательной нагрузки на сторону релейной защиты и автоматики можно передавать дополнительную информацию в цифровом виде. Например, это может быть частота вращения либо величина тока питания двигателя, которые могут нести информацию о том, что данный двигатель в настоящее время находится в работе, а не отключен, и о величине его загрузки. Также это может быть и напряжение со стороны нагрузки. Обладание такой информацией позволяет гибко изменять уставку релейной защиты либо точнее определять потерю питающего напряжения на шинах для определения необходимости включения устройства автоматического ввода резерва. Причем, такой способ учета позволяет использовать измеренные величины в реальном времени, а не величины предыдущего режима. Из чего следует возможность более простого способа адаптации релейной защиты и автоматики.

Предложенный вариант АВР с адаптивными уставками позволяет повысить эффективность работы устройства за счет использования дополнительных параметров, передаваемых по коммуникационным сетям.

### **Источники**

1. Чершова В.О. Контроль устойчивости узлов двигательной нагрузки электрических сетей в режиме реального времени: дис. канд. техн. наук. Новосибирск, 2016.

2. Онисова О.А. Совершенствование релейной защиты электроэнергетических систем с малыми распределёнными электрическими станциями: дис. канд. техн. наук. Чебоксары, 2016.

УДК 621.316

## **РАЗВИТИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ НА ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Фаизов Н.Н.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

naris.faizov@yandex.ru

В тезисе рассмотрены перспективы внедрения современных устройств релейной защиты и автоматики. Построение подстанций с использованием моделей позволяет разрабатывать современные методики расчета установок, учитывающих особенности функционирования и эксплуатации новых цифровых устройств РЗА, проводить подготовку обслуживающего персонала. Основными целями компаний являются сокращение затрат и повышение надежности функционирования.

**Ключевые слова:** релейная защита, автоматика, устройство, подстанция, управление.

В современной энергетике тяжело представить электрическую подстанцию без устройств автоматики и релейной защиты. В течение последних 20-30 лет произошел переход от устаревших реле к цифровым устройства РЗА, которые способны обеспечить защиту и управление различных объектов сети [1].

Среди основных преимуществ данных устройств можно выделить: большие функциональные возможности, непрерывная диагностика и высокая точность. Стоит помнить, что это требует значительных затрат и квалифицированного персонала, обладающим необходимыми навыками.

Обращаясь к сведениям об эксплуатации устройств РЗА компаний ПАО «Россети» по данным на начало 2022 года, в работе находится около 2 миллионов устройств, из которых почти 80 % – электромеханические, 5 % – микроэлектронные, 15 % – микропроцессорные, что говорит о большом росте и тенденции. В целях развития надежности устройств РЗА производятся научно-исследовательские и конструкторские работы по автоматизации на этапе планирования и модернизации подстанции [2].

Модели релейной защиты и автоматики получили применение в широком спектре программных обеспечений, которые состоят из взаимодействующих подпрограмм, отображающих множество параметров: состояние выключателей, аварийной сигнализации и элементов управления [3].

Одной из главных характеристик программы модели подстанции и подпрограмм является имитация поведения автоматики при различных нерабочих режимах эксплуатации, например, короткое замыкание (КЗ), замыканий на землю, отказов выключателей, отсутствие питания. Результатом моделирования аварийных случаев является файл, содержащий в себе записи всех логических сигналов терминалов РЗА.

Основными целями компаний являются сокращение затрат и увеличение надёжности функционирования, а также переход оперативно-диспетчерского управления на полное автоматическое дистанционное объектами электрической сети 220 кВ и выше. Все эти цели достигаются созданием типовых решений в части РЗА и автоматических систем управления, а также программных комплексов автоматизации жизненного цикла. Таким образом, развитие пойдёт в сторону увеличения функционала и нахождения нескольких логических устройств в одном электронном устройстве. Опыт внедрения типовых шкафов показывает перспективность использования типизации. Нет проблем с проектированием, наладкой и последующей эксплуатацией. Не зафиксировано ни одного случая неправильной работы типовых шкафов РЗА [4,5].

Подводя итоги, можно сказать, что в настоящее время релейная защита приобретает все большее значение в связи с ростом мощностей электростанций и повышением напряжения электрических сетей. Кроме этого возникает постепенный переход релейной защиты и автоматики на микропроцессорную. Будущее совершенствование релейной защиты и автоматики будет происходить с использованием цифровой техники. Ее главным достоинством является возможность установки параметров, определяющих действие релейной защиты и автоматики в рабочем и аварийном режимах, с последующей передачей сведений на пункты диспетчерской и операторской связи.

## Источники

1. Басс Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем / Э.И. Басс, В.Г. Дорогунцев. – М.: МЭИ, 2002.
2. Кириленков В.С. О текущем состоянии и планах развития релейной защиты и автоматики в ДЗО ПАО «Россети». М.: ОАО Россеть, 2018. – 15 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <http://digitalsubstation.com/wpcontent/uploads/2018/12/Prezentatsiya-RZA-Kirilenkov.pdf>. (Дата обращения: 30.06.2022).
3. Дьяков А.Ф., Волошин А.А., Жуков А.В., Нудельман Г.С. Применение оптимизационных методов при создании функционально интегрированных систем релейной защиты и автоматики. Релейщик. № 1, 2016 г.
4. Концепция развития релейной защиты, автоматики [Электронный ресурс]. [https://rosseti.ru/investment/science/tech/doc/conception\\_rrz.pdf](https://rosseti.ru/investment/science/tech/doc/conception_rrz.pdf) (дата обращения: 03.07.22).
5. Хуан, Y.X. (2017) Анализ надежности системы релейной защиты в интеллектуальной подстанции. Мир телекоммуникаций, № 8, 177–178.

УДК 621-313.3

### **РАБОТА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА, СВЯЗАННЫХ С НАСЫЩЕНИЕМ МАГНИТОПРОВОДА ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ**

Фролов А.А.

Филиал АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ, г. Уфа, Россия  
[forollov.ant@yandex.ru](mailto:forollov.ant@yandex.ru)

Работа посвящена проблеме искажения вторичного тока измерительного трансформатора тока (ТТ) вследствие насыщения его магнитопровода в переходных процессах. В работе проанализированы современные методы борьбы с искажением вторичного тока, создана компьютерная модель, с помощью которой проанализирована работа ТТ в различных режимах.

**Ключевые слова:** насыщение, трансформатор тока, переходные процессы.

Проблеме насыщения ТТ и искажению вторичного тока в технической литературе уделено немалое внимание. Предложено большое количество методов смягчения влияния насыщения ТТ на кривую вторичного тока. Главная цель этих методов – определить и восстановить искаженный вторичный ток для корректного функционирования устройств РЗА в условиях насыщения ТТ.

В [1] разработана и верифицирована модель ТТ в среде Simulink на основе уравнений динамики перемагничивания Кадочникова, позволяющей с достаточной точностью моделировать как установившиеся режимы, так и переходные процессы с учётом влияния насыщения и остаточной намагниченности магнитопровода. В модели в качестве характеристики намагничивания используется не статическая петля гистерезиса, а средняя кривая намагничивания. Активные потери на гистерезис и вихревые токи учитываются постоянными активными сопротивлениями, подключенными параллельно ветви намагничивания. На основе проведённых исследований в [1] был разработан алгоритм мониторинга насыщения и остаточной намагниченности. По словам авторов, модель может быть использована для определения времени насыщения с учётом реальных характеристик электромагнитных ТТ, остаточной намагниченности и кратности тока КЗ. С использованием данной модели также можно производить проверку устойчивости работы различных алгоритмов РЗА при насыщении и остаточной намагниченности ТТ.

В [2] форму первичного тока восстанавливают путем получения мгновенного значения вторичного тока и тока намагничивания с учетом эффекта гистерезиса. Теоретические выкладки были экспериментально проверены авторами с помощью лабораторных испытаний, проведенных на различных типах ТТ.

Эффективный метод для подавления и предотвращения насыщения ТТ предлагается в [3], [4]. В этом методе управляемый резистор с электронной коммутацией с помощью IGBT-транзистора включается во вторичную цепь ТТ, создавая во вторичной обмотке поток, который противодействует изменяющемуся во времени потоку в первичной обмотке, связанному с затуханием постоянной составляющей тока КЗ.

Описанный авторами в [5] управляемый компенсатор предлагается подключать во вторичную цепь последовательно с реле. Устройство генерирует изменяющееся во времени напряжение для компенсации напряжения, возникающего на нагрузке ТТ, за счет чего магнитный поток ТТ остается практически постоянным и неискаженным во время переходных процессов. Устройство может точно компенсировать ток КЗ, пусковой ток и другие переходные токи.

Несмотря на то, что количество предложенных в литературе способов решения проблемы насыщения ТТ велико, на практике проблема все еще остается.

Любые переходные процессы, происходящие в электрических сетях, во многом зависят от его конструктивных особенностей. Для анализа процессов, связанных с насыщением магнитопровода ТТ, требуется

создать компьютерную модель, которая с достаточной точностью воспроизводила бы происходящие в ТТ процессы. Для создания такой модели необходимо учитывать, как нелинейные свойства магнитопровода и магнитные потоки, замыкающиеся в нем, так и магнитные потоки, замыкающиеся в немагнитной среде. При создании модели ТТ воспользуемся описанной в работах [6-9] методикой моделирования электрооборудования, содержащего магнитопровод с нелинейной характеристикой, с учетом конструктивных особенностей, доказавшей свою точность.

Для иллюстрации методики создания модели возьмём встроенный ТТ ТВ-110-I-600/5. Его конструкция представляет собой магнитопровод, на который равномерно намотана тороидальная вторичная обмотка. Для получения различных коэффициентов трансформации вторичная обмотка имеет несколько отпаек. Первичной обмоткой ТТ служит высоковольтный ввод выключателя или силового трансформатора. Трансформатор тока в разрезе и вид сверху показан на рис.1.

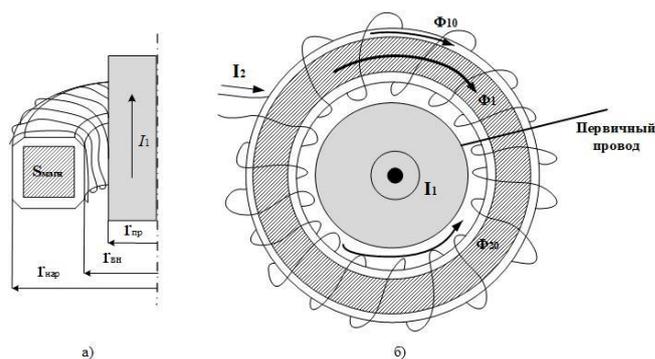


Рис. 1 – ТТ в разрезе (а) и вид сверху (б)

В магнитопроводе ТТ замыкаются три основных магнитных потока:  $\Phi_1$  – магнитный поток в магнитопроводе,  $\Phi_{10}$  – магнитный поток между магнитопроводом и вторичной обмоткой,  $\Phi_{20}$  – магнитный поток между первичной обмоткой (высоковольтный ввод) и магнитопроводом.

Соответствующая рис. 1 схема замещения магнитных цепей ТТ приведена на рис. 2 а) (сплошные линии). Обмотки ТТ замещены в виде соответствующих источников МДС  $F_1=i_1w_1$  и  $F_2=i_2w_2$ . Для моделирования переходных процессов в ТТ удобно привести схему замещения магнитных цепей к схеме замещения электрических цепей, используя принцип дуальности [10]. Магнитные сопротивления преобразуются к индуктивностям, а МДС – к источникам тока. Полученная таким образом схема замещения электрических цепей представлена на рис. 2 а) (пунктирные линии).

В схеме замещения электрических цепей магнитные сопротивления воздушных промежутков  $R_{10}$ ,  $R_{20}$  (рис. 2 а) представлены в виде индуктивностей  $L_{10}$  и  $L_{20}$  (рис. 2 б). Магнитопровод ТТ представлен нелинейной индуктивностью  $L_1$  на основании Вебер-Амперной характеристики, полученной от завода-изготовителя ТТ.

Для моделирования переходных процессов электрическая схема замещения ТТ была включена в специальный программный комплекс ATPDraw EMTP (Electromagnetic Transients Program) [11]. Для подключения ТТ к внешней сети 110 кВ источники тока заменены идеальными трансформаторами с соответствующими коэффициентами трансформации, равным отношениям числа витков 1:1 и 1:  $w_2$ . Описанная электрическая схема замещения ТТ с учетом сети 110 кВ представлена на рис. 2 б.

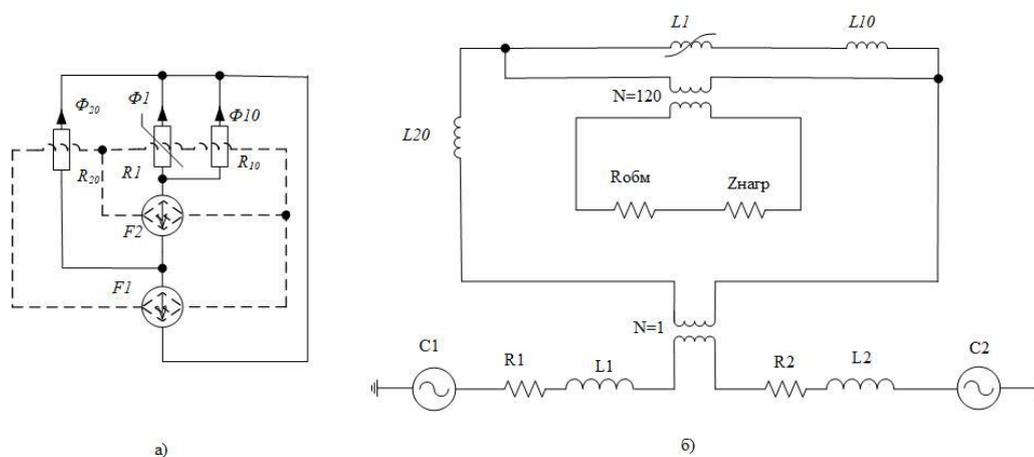


Рис. 2 – Схемы замещения трансформатора тока (а) и исследуемая модель ТТ (б)

Активное сопротивление постоянному току вторичной обмотки задано сопротивлением  $R_{обм}$ , нагрузка на вторичной обмотке – полным сопротивлением  $Z_{нагр}$ . Электрическая сеть высокого напряжения, в которую подключается ТТ, представлена двумя эквивалентными источниками ЭДС ( $E_1$ ,  $E_2$ ) и элементами  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , полученными по известным величинам токов КЗ на шинах энергообъекта, где установлен исследуемый ТТ.

Также данная модель ТТ была верифицирована в программном комплексе COMSOL Multiphysics. В данном программном комплексе задается геометрия модели (размеры магнитопровода), свойства материалов (кривая  $B(H)$  магнитопровода, обмоток). Для нашей модели физика процесса состоит в решении магнитной задачи, а именно в определении индукции в магнитопроводе и получении вторичного тока. Результаты моделирования показали, что в начальный момент времени кривая вторичного тока в разных программных комплексах идентична.

Но, когда наступает момент насыщения магнитопровода, кривые расходятся из-за разных методик расчета переходных процессов и задания нелинейного элемента (магнитопровода).

В переходном процессе фактическая предельная кратность первичного тока равна  $K_{расч} = I_{кз}/I_{ном}$ . Анализировалась работа трансформатора тока при токах КЗ 10 кА ( $K_{расч} = 0,66K_{ном}$ ), 15 кА ( $K_{расч} = K_{ном}$ ) и 30 кА ( $K_{расч} = 2K_{ном}$ ), которые могут возникнуть в месте установки исследуемого ТТ. Номинальная нагрузка принималась равной номинальной  $Z_{ном} = 2$  Ом, номинальная предельная кратность исследуемого ТТ  $K_{ном} = 25$ .

При токе КЗ 15 кА ( $K_{расч} = K_{ном}$ ) в момент максимума напряжения (первичный ток КЗ имеет синусоидальную форму, т. е. при номинальной кратности тока, искажения вторичного тока являются несущественными и ТТ работает в пределах 10 % погрешности (рис. 3). При токе КЗ большем номинальной предельной кратности ТТ кривая вторичного тока существенно искажена и ТТ работает за пределами 10 % погрешности.

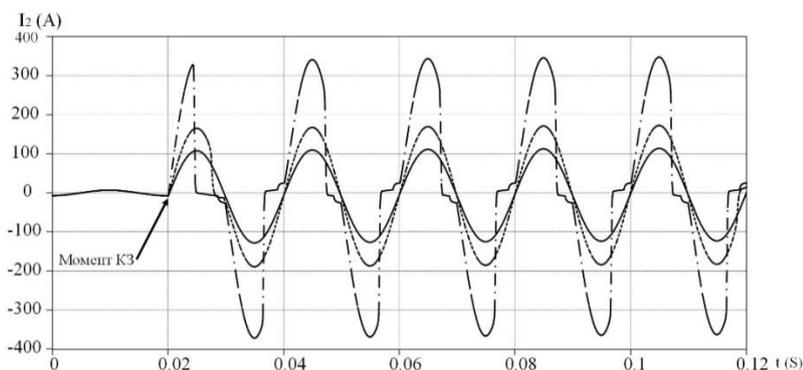


Рис. 3. Вторичный ток ТТ при КЗ в максимум напряжения: 10 кА (сплошная кривая), 15 кА (штрихованная кривая), 30 кА (штрихпунктирная кривая)

Таблица 1

Гармонический состав вторичных токов при КЗ в максимум напряжения

Ток КЗ $I_1$ , кА	RMS $I_{2(50 \text{ Гц})}$ , А	n гармоники										THD, %
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		$I_{2(n)}$ , А										
10	83,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	124,76	5,4	5	4,5	4	3,5	3	2,6	2,2	1,8	1,5	13
30	218,5	9,3	54,4	6,9	30,4	7,2	15,4	7,3	13	6,4	10,6	44,3

Далее рассмотрим возникновение КЗ в момент нуля напряжения (первичный ток КЗ имеет форму затухающей синусоиды). Нагрузка ТТ принимается равной номинальной. На рис. 4 приведена осциллограмма вторичного тока при различной величине тока КЗ.

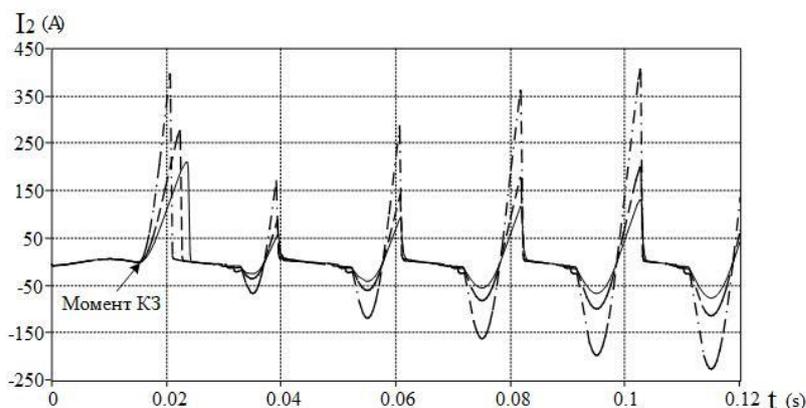


Рис. 4. Вторичный ток ТТ при КЗ в ноль напряжения: 10 кА (сплошная кривая), 15 кА (штрихованная кривая), 30 кА (штрихпунктирная кривая)

В таблице 2 приведен гармонический состав вторичных токов при КЗ в ноль напряжения, из которой можно сделать вывод, что наличие аperiodической составляющей в первичном токе КЗ приводит к существенному искажению вторичного тока даже для значений периодического тока ниже номинального. При всех принятых значениях тока КЗ исследуемый ТТ выходит за пределы 10 % погрешности.

Таблица 2

#### Гармонический состав вторичных токов при КЗ в ноль напряжения

Ток КЗ $I_1$ , кА	RMS $I_{2(50 \Gamma_{\text{н}})}$ , А	n гармоники										THD, %
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		$I_{2(n)}$ , А										
10	40,6	28	9,8	9,5	6,5	4,3	4,1	3,2	3,2	2,8	2,1	114,6
15	58,8	42	14,8	14,8	9	7,6	6,8	5	5,4	4,7	4,1	120
30	113,3	85	28,7	29,5	18,3	16,1	12,4	11	10,8	9	9,5	125,3

Таким образом, в работе приведены результаты исследования поведения ТТ в переходных процессах в условиях насыщения магнитопровода, полученные с помощью разработанной компьютерной модели. С использованием компьютерной модели ТТ получены осциллограммы вторичного тока при различных величинах токов КЗ.

При токе КЗ, соответствующем паспортной предельной кратности исследуемого ТТ, отсутствуют существенные искажения формы кривой вторичного тока. В случае превышения первичным током при КЗ паспортной предельной кратности, а также при наличии апериодической составляющей возникает существенное искажение формы вторичного тока ТТ, и ТТ работает за пределами 10 % погрешности.

По предложенной модели ТТ и анализа переходных процессов можно без арифметических вычислений судить о времени до насыщения ТТ.

### Источники

1. Евдаков А.Е., Яблоков А.А., Филатова Г.А. «Исследование имитационной модели электромагнитного трансформатора тока с учетом эффектов насыщения и остаточной намагниченности магнитопровода», Релейная защита и автоматизация. Научно-практическое издание УДК 621.317.31. От 3 сентября 2019 г. Стр.24-29.

2. N. Locci and C. Muscas, «A digital compensation method for improving current transformer accuracy», IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 4, pp. 1104–1109, Oct. 2000.

3. M. Davarpanah, M. Sanaye-Pasand, and R. Iravani, «A saturation suppression approach for the current transformer—Part I: Fundamental concepts and design», IEEE Trans. Power Del., vol. 28, no. 3, pp. 1928–1935, Jul.2013.

4. M. Davarpanah, M. Sanaye-Pasand, and R. Iravani, «A saturation suppression approach for the current transformer – Part II: Performance evaluation», IEEE Trans. Power Del., vol. 28, no. 3, pp. 1936–1943, Jul. 2013.

5. E. Hajipour, M. Vakilian, and M. Sanaye-Pasand, «Current-transformer saturation prevention using a controlled voltage-source compensator», IEEE Trans. Power Del., vol. 32, no. 2, pp. 1039–1048, Apr. 2017.

6. Евдокунин Г.А., Коршунов Е.В., Сеппинг Э.А., Ярвик Я.Я. Метод расчёта на ЭВМ электромагнитных переходных процессов в ферромагнитных устройствах с произвольной структурой магнитной и электрической цепей. Электротехника. № 2. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 72 с.

7. Arturi С.М. Transient simulation of a three phase five limb step-up transformer following an out-of-phase synchronization // IEEE Trans. Power Del. №1. 1991. – pp. 196-207.

8. Евдокунин Г.А., Дмитриев М.В. Моделирование переходных процессов в электрической сети, содержащей трансформаторы при учёте конфигурации их магнитной системы // Известия РАН. Сер. Энергетика. 2009. – № 2.

9. Зирка С.Е., Мороз Ю.И., Мороз Е.Ю., Евдокунин Г.А., Дмитриев М.В., Артури Ц.М. Принципы моделирования переходных процессов в трансформаторе с учётом топологии и свойств магнитопровода // Электротехника. 2013. № 1. – с. 16-24.

10. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. – 4-е изд. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2003. – 463 с.: ил.

УДК 621.315.1

## MONITORING AND DIAGNOSIS OF OVERHEAD POWER LINE WIRES BY NON-DESTRUCTIVE TESTING METHOD

Tikhonov I.V., Piskovatsky Y.V.  
Kazan State Power Engineering University  
tikhonovir@svep-rt.ru

The article describes a method for non-destructive testing of overhead power lines by introducing an optical fiber directly into a phase wire or ground wire. Variants of using an optical fiber as a sensor capable of distinguishing between changes in various quantities are presented.

**Keywords:** non-destructive testing, diagnostics, monitoring, optical fiber, wire testing, lightning protection cables testing, synergetic lines.

The use of fiber not only as a data transmission line, but also as a sensitive element in the monitoring system of overhead power lines, capable of detecting changes in certain quantities, is a technological breakthrough, since, in this case, the fiber optic line will be a combination of many point sensors.

This can be done using specialized devices with a laser source, which send pulses into the optical fiber and, using backscatter analysis, provide the ability to establish the magnitude of the impact along the entire line.

Types of monitoring devices:

1) DTS (Distributed Temperature Sensing) – temperature control device of an imported optical device, the mechanism of operation of which is based on Raman scattering and its value correction at the consumption temperature. The possibility of determining the temperature with an error of tenths of degrees is possible in the manufacture of optical fibers up to 100 km [1].

2) DSS (Distributed Strain Sensing) – fiber-optic strain monitoring device, the mechanism of action of which is based on Brillouin scattering and correction of its magnitude during fiber elongation. This method allows you to fix the fiber elongation with an accuracy of hundredths of a percent [2].

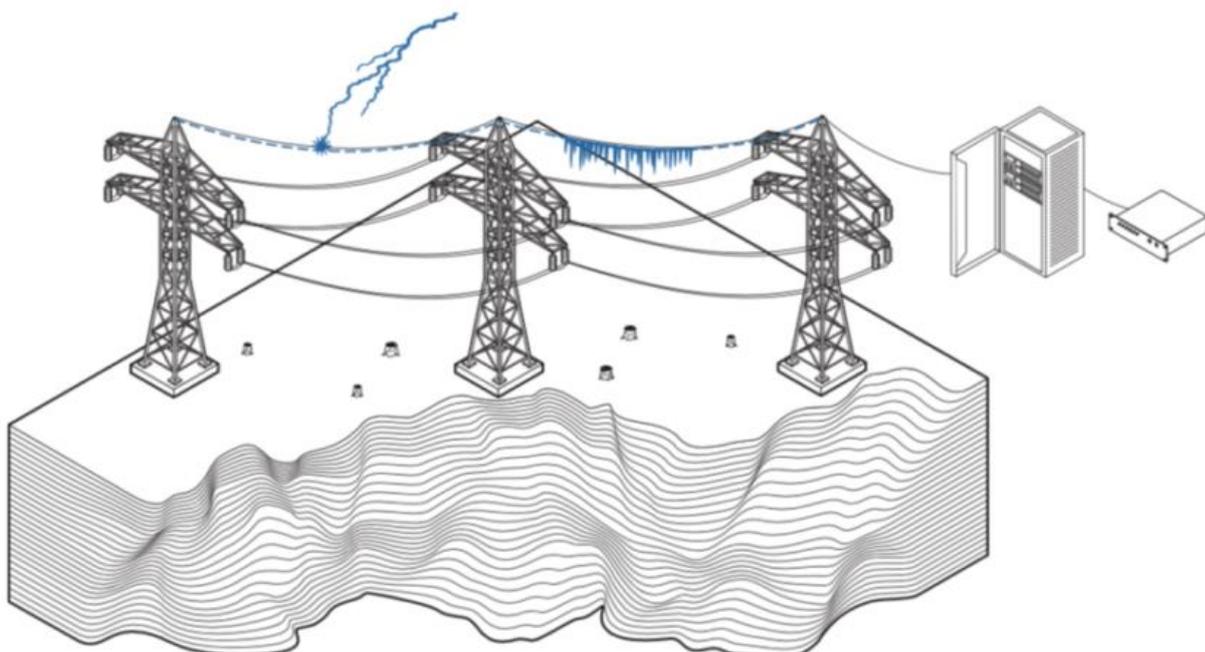
3) DAS (Distibuted Acoustic Sensing) – device for fiber-optic monitoring of acoustic signals, the mechanism of action of which is based on Rayleigh scattering and its correction for various vibroacoustic vibrations of the environment [3].

Table 1

Possible options for the use of systems for monitoring on overhead lines

№	Monitoring	System		
		DTS	DAS	DSS
1	Temperature control when floating ice on a ground wire	+	+	+
2	Live conductor temperature monitoring	+	+	+
3	Monitoring the condition of overhead line insulators	-	+	-
4	Lightning strike location detection	-	+	-
5	Detection of a short circuit on an overhead line	-	+	-
6	Activity detection near overhead lines	-	+	-
7	Control of the beginning of icing	-	-	+

Depending on the type of observation and the implementation of specific optical sensations, their applicability is possible as a temperature control when ice is floating on a ground wire, phase wire temperature, the beginning of icing, the state of overhead line insulators, as well as detecting the location of a lightning strike, a short circuit on an overhead line, activity near (see picture).



1. Options for distributed monitoring of overhead lines

The undoubted advantage of this method of monitoring is the fact that the fiber-optic line is essentially a set of many point sensors. The construction of overhead lines using optical fibers is quite promising and economically justified, since it allows solving three tasks at once: data transmission, digitalization and monitoring.

### **References**

1. Distributed Temperature Sensing [Electronic resource]. URL: <https://www.apsensing.com/technology/dts> (date of application 16.09.2022).
2. Distributed Strain Sensing [Electronic resource]. URL: <https://www.ofsoptics.com/oil-gas-dss/> (date of application 16.09.2022).
3. Distributed Acoustic Sensing [Electronic resource]. URL: <https://www.apsensing.com/technology/distributed-acoustic-sensing-das-dvs> (date of application 16.09.2022).

# ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА, КОММУНИКАЦИИ

УДК 32

## ПОЛИТИКА СОЦИАЛЬНОГО МАРКЕТИНГА В ЭНЕРГОКОМПАНИЯХ

Абзалова З.Р., Арзамасова А.Г.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
asaraf@mail.ru

Социальный маркетинг стал мощным инструментом управления, основанным на изучении потребительского поведения. Он является продуктом осуществления и планирования социальных изменений. Его роль заключается в том, чтобы ориентировать производство на спрос, а также создавать продукт (товар или услугу), отвечающий потребностям потребителей.

**Ключевые слова:** маркетинг, социальные сети, социальный маркетинг, реклама, блогер, энергокомпания.

Термин «социальный маркетинг» впервые появился в 80-х годах XX века для решения социальных проблем и обеспечения социального взаимодействия. Одно из первых определений было дано ему Ф.Котлером: «Социальный маркетинг – это понимание людей и такое общение с ними, которое приводит к усвоению новых точек зрения. Изменение их позиции заставляет их изменять свое собственное поведение, что влияет на решение социальной проблемы, в которой вы участвуете» [1]. По словам профессора Кристофера Эбнера, социальный маркетинг – это стратегия изменения поведения людей путем понимания их проблем и общения с ними. Таким образом, классический маркетинг сосредоточился на отдельных людях, чтобы изучить их поведение как потребителей, а также выявить потребительские модели.

Конец XX, начало XIX века ознаменован появлением социальных сетей и массовостью пользователей различного возрастного состава. Люди начинают общаться на расстоянии, слушать музыку, обмениваться документами, обмениваться фотографиями и изображениями и т. д. Использование социальных сетей открывает множество возможностей общения и познания. И появляются компании, которые начали использовать уникальные возможности – подавать и продавать рекламу в этих сетях.

Первое объявление было «простым» и традиционным. Но с развитием технологий меняются способы и возможности подачи рекламного продукта. Так появился маркетинг в социальных сетях и «социальный маркетинг».

Сегодня аудиторию социальных сетей можно сравнить с аудиторией телеканалов. Только 18 % обычных рекламных кампаний на телевидении приносят положительную отдачу от инвестиций. В то же время даже самая примитивная рекламная кампания в социальных сетях, проведенная на коленях, может копировать вложения [2]. Аудитория социальных сетей более активна и внимательна, чем телевизионная аудитория. Это связано с тем, что в социальных сетях взаимодействие происходит непосредственно с каждым пользователем, где учитываются его индивидуальные особенности, интересы и потребности.

Многие исследователи и простые обыватели считают, что предприятиям энергетики нет необходимости в использовании маркетинговых инструментов, так как они являются монополистами в сфере предоставляемых услуг. Но современные условия диктуют свои правила. И сегодня функции маркетинговых организаций берут на себя сбытовые структуры энергосберегающих организаций. Они контролируют, консультируют потребителей в сфере наиболее эффективного энергопотребления. В других отраслях маркетинг не берет на себя таких функций [3].

Традиционные инструменты маркетинга в социальных сетях и инструменты применяемые в сфере продвижения услуг энергетики включают в себя:

- создание и продвижение сообществ, включающее в себя привлечение пользователей, привлечение других сообществ, наполнение контента разъясняющей информацией;

- продвижение сообщества через мобильные приложения, упрощающие получение услуг и решение возникающих бытовых вопросов;

- продвижение контента с помощью рекламы в сообществе, таргетированной рекламы и т.д.;

- через интерактивные рекламные акции, привлекающие внимание пользователя, включающие в себя вебинары, общение с руководством, флешмобы и социальные опросы. Это неотъемлемая часть работы с целевой аудиторией, поскольку позволяет вызывать интерес у пользователей, взаимодействовать в режиме реального времени;

- вирусный, теневого маркетинг;

- создание специализированных приложений для упрощения контроля потребления услуги с целью экономии расходов потребителя [4];

- взаимная реклама и взаимное продвижение организаций и предприятий отрасли;

- доступ к рейтингам и топам;
- прямая реклама;
- оптимизация онлайн-ресурсов компании для социальных сетей (SMO) [5].

### **Источники**

Гаджиалиев К.М. Проблемы маркетинга. Логистика [Электронный ресурс]. URL: <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=3269> (Дата обращения: 26.09.2022г.)

Сафин Д. Турбо-реклама в социальных сетях [Текст] / Сафин Д. – М.: esocial.ru, 2019. – С. 48

Кирпичева М. А. Особенности маркетинга в электроэнергетике [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_43106722\\_36498696.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43106722_36498696.pdf) (Дата обращения: 26.09.2022г.)

Ломовцева А.В., Трофимова Т.В. Особенности маркетинга энергетических компаний [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-marketinga-energeticheskikh-kompaniy/viewer> (Дата обращения: 26.09.2022г.).

Мубаракшина Г.И., Арзамасова А.Г. Использование digital-маркетинга в продвижении юридических услуг // Тинчуринские чтения-2020. Энергетика и цифровая трансформация: международная молодежная научная конференция : в 3 т., Том 3. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 205-207.

УДК 338.2

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ИННОВАЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ РОССИИ**

Афанасьев М.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[mikhail.afanasev.98@inbox.ru](mailto:mikhail.afanasev.98@inbox.ru)  
Науч. рук. доц. Уразбахтина Л.Р.

В статье рассматриваются тенденции и особенности развития экономики инноваций в энергетике России. Выявлены основные нововведения в отрасли в условиях глобальных изменений. Рассмотрен экономический фактор внедрения,

изучены его угрозы и возможности. Предложены рекомендации для более эффективного использования инноваций с экономической и социальной сторон.

**Ключевые слова:** инновации, экономика инноваций, энергетика, капитал, кризис, инвестиции.

В связи с новыми глобальными вызовами для российской экономики необходим пересмотр приоритетных направлений развития экономики инноваций в энергетическом секторе.

В настоящее время на мировом энергетическом рынке сильная волатильность, из-за ситуации в мировом сообществе. Энергетический сектор Российской Федерации из года в год вносит огромный вклад в социально-экономическое развитие и национальную безопасность страны, поскольку так называемые «нефтегазовые доходы» формируют бюджет страны. Согласно данным экономической стратегии, вклад в ВВП страны энергетического сектора составляет 25% [1].

Энергетический сектор находится в сложном положении, с одной стороны, необходимо внедрять инновационные технологии и принципы зеленой энергетики, а с другой – перенастраивать большую часть экспортируемого объема на восток. На данном этапе инновационное развитие является единственным эффективным вариантом для технологического прогресса и повышения уровня жизни в стране. До 2022 года большее внимание среди инноваций в энергетике уделялось именно экоинновациям. Это направление инноваций характеризуется как любая форма инновации, которая способствует уменьшению воздействия промышленности и человека на окружающую среду, а также разработка товаров, процессов и систем с наименьшим использованием природных ресурсов и минимальными выбросами вредных веществ [2,4]. Возобновляемая энергетика в России с каждым годом развивается активнее, для достижения цели, при которой на солнечную и водоэнергетику будет приходиться выработка 1% энергии от всего объема производства к 2024 году, также для достижения этой цели была создана программа «Пять гигаватт» [3].

Анализ внедрения инноваций показывает, что технологическое развитие идет, однако более медленными темпами, чем в других развитых странах. Для России наиболее перспективными и потенциальными направлениями являются солнечная, водородная и ветровая энергетика.

В настоящий момент происходит пересмотр приоритетных направлений развития и инвестирования, с «зеленой экономики» и возобновляемых источников энергии смещается к построению новых рынков сбыта продукции, обновление логистики и создание новых

транспортных путей. В этом направлении экономика инноваций выполняет функции:

1. Создание нового рынка, новых условий для российских экспортеров энергоносителей, не зависимо от того, уже существовали ли связи с страной-импортером или нет.

2. Создание новых организаций отрасли, перерабатывающих заводов, логистических центров и путей.

Для поддержания экономики инноваций в отрасли предложены следующие рекомендации:

1. Повышение эффективности использования человеческого капитала.

2. Совершенствование законодательства, регулирующего сферу инновационной экономики.

3. Создания инвестиционного климата в направлении центров коммерциализации технологий и разработок.

4. Просвещение в области инновационной экономики среди специалистов и ученых, путем поддержки специфических научных форумов.

5. Создание и продвижение форсайт-проектов, дорожных карт инновационных проектов, объединяющих производителей и разработчиков.

В долгосрочной перспективе развитие экономики инноваций в отрасли в данной отрасли является единственным верным и эффективным путем [5]. Поддержка экономики инноваций способствует технологическому развитию отрасли и сокращению отставания от развитых стран, а также в перспективе – снижению углеродных выбросов в атмосферу. Заинтересованность в развитии экономики инноваций у государства поддерживает фактор обеспечения энергетической безопасности страны.

### **Источники**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Экономический портал. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.npkks.ru/fileadmin/f/documents/energ-strat-2035.pdf> (дата обращения: 19.09.2022).

2. Клементовичус Я.Я., Максимцев И.А., Сараханова Н.С. Предпосылки формирования низкоуглеродного тренда и его влияние на энергетический сектор // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. – 2022. – № 1(133). – с. 7–17.

3. Алишер Капланов: Пять гигаواتт возобновляемой энергетики – только начало. Экономический портал. [Электронный ресурс]. URL: <https://snob.ru/entry/179025/> (дата обращения: 18.09.2022).

4. Рогоцкая С. Об устойчивом развитии и эко-инновациях: новые возможности. Экономический портал. 2011. [Электронный ресурс]. URL: <https://newsland.com/user/4297700616/content/ob-ustoichivom-razviti-i-eko-innovatsiakh-novyevozmozhnosti/4162508> (дата обращения: 19.09.2022).

5. Мешков Иван Алексеевич. "Европейские топливно-энергетические транснациональные корпорации в России: инновационный аспект"// Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2020. – № 6 (13), – с. 84–102.

УДК 338.22.021.1

## **ESG ПРИНЦИПЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭНЕРГЕТИКУ**

Баймурзин А.Х.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Науч. рук. доц. Борисова О.В.

Концепция ESG на сегодняшний день является трендом развития энергетической отрасли России. Современные условия глобального климатического кризиса оказывает большое влияние на принятие новых вызовов, а также их успешное решение для обеспечения конкурентного преимущества. Внедрение принципов ESG в первую очередь связано с минимизацией оказываемого вреда на окружающую среду и предотвращения глобального потепления.

**Ключевые слова:** ESG, энергетика, окружающая среда, конкуренция.

Что из себя представляет аббревиатура ESG? Устойчивое развитие коммерческой деятельности компаний, строящееся из следующих принципов: ответственное отношение к окружающей среде (англ., E – environment); высокая социальная ответственность (англ., S – social); высокое качество корпоративного управления (англ., G – governance).

Впервые ESG термин ввел генеральный секретарь ООН Кофи Аннан. Его идея заключалась в том, чтобы крупные мировые компания включили эти принципы для борьбы с резким изменением климата. Прошло уже много лет, но популяризация в Россия данной стратегии еще не закрепилось, так как развитие ESG принципов в России наблюдается в параллели с традиционными принципами. [1, 2] По словам основателя «Тинькофф» Олега Тинькова тенденция инвестирования в компании,

придерживающиеся целей и задач устойчивого развития, будет только расти, в противном случае крупные инвестиционные фонды откажут в поддержке крупных компаний.

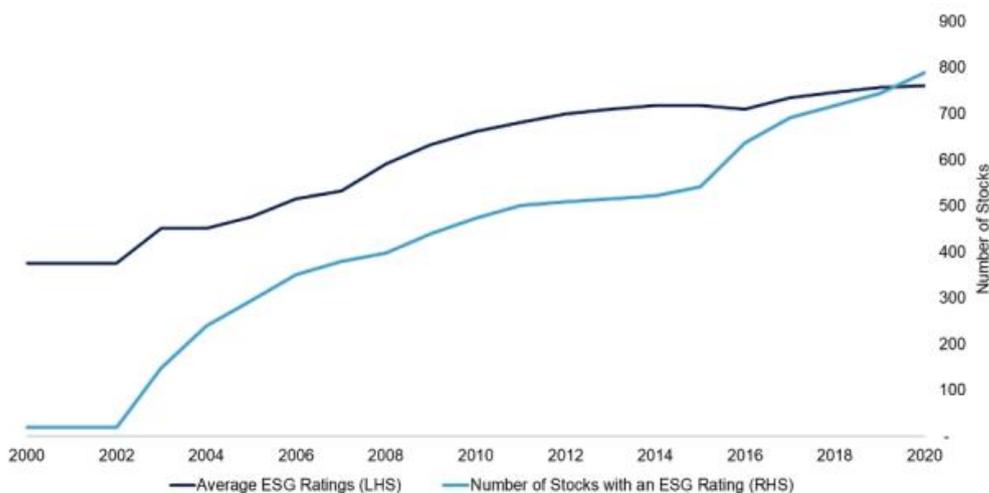


Рис. 1. Рост компаний с ESG-рейтингом

Для оптимизации представления факторов устойчивого развития в рамках ESG концепции, была представлена диаграмма поэлементно благодаря рейтинговому агентству RAEX. Были выделены риски отраслевых компаний и следующие индикаторы. (Рис. 2)

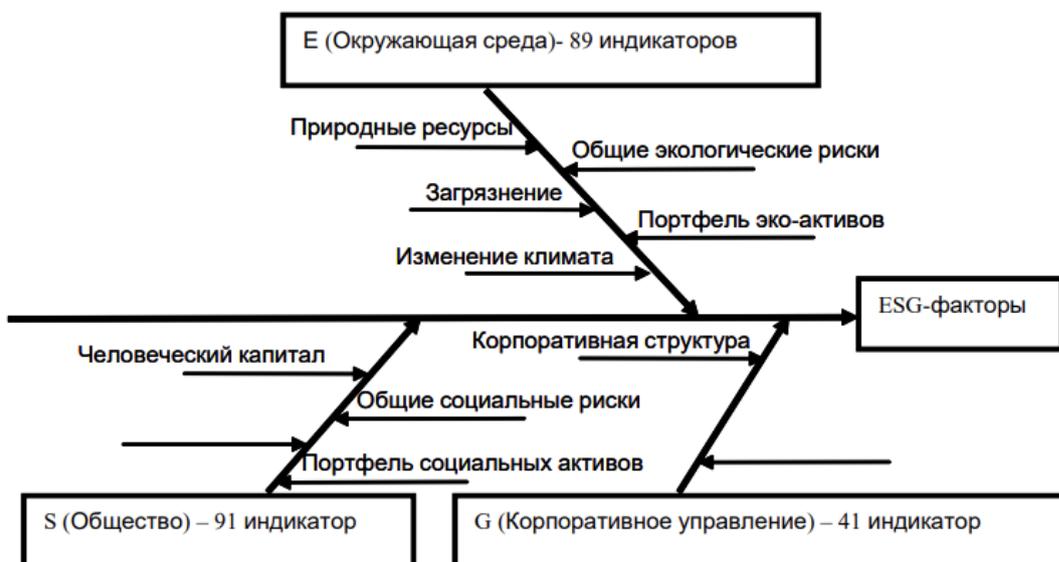


Рис. 2. Индикаторы ESG-концепции

Индикаторы помогают определить какой бизнес соответствует стандартам. Однозначно подхода к составлению рейтинга компаний нет,

зачастую рейтинговые компании анализируют открытые данные компании, но выставляют баллы по-разному. [3] Рассмотрим примеры соблюдения принципов крупными компаниями энергетического сектора нашей страны.

Экологический принцип – компания «Росатом» на протяжении долгого времени использовала устаревшие системы мониторинга, в последствии в атмосфере был замечен высокий уровень рутения-106. Поработав над своими ошибками, госкорпорация в последующие года активно занимается ликвидацией атомных подлодок, строит высокотехнологичные здания хранения радиоактивных отходов и парки ветрогенерации.

Социальный принцип – компания ПАО «НК Роснефть» разрабатывает большое количество программ развития социальной политики, такие как: усовершенствование социально-бытовых условий на предприятиях; жилищная программа корпоративной ипотеки; продвижение здорового образа жизни и широкие условия программ страхования; санитарно-курортное лечение и отдых сотрудников и их детей.

Управленческие принципы – в компания «ПАО «Новатэк» выстроена система корпоративного управления, соответствующая устойчивому развитию. Компания обеспечивает высокий уровень корпоративного управления за счет соблюдения следующих принципов: равное и справедливое отношение ко всем акционерам; прозрачность и своевременность при раскрытии информации; приверженность принципам устойчивого развития; противодействие коррупции и другие.

Каждая из компаний на сегодняшний день стремится придерживаться ESG принципов, но стоит соблюдать баланс между каждым из критериев в зависимости от сферы деятельности. Для энергетики особую роль играют экологические критерии, а также цели и задачи устойчивого развития, направленного на декарбонизацию и расширения использования ВИЭ. В результате, компании энергетического сектора имеющие высокий рейтинг ESG получают интенсивную поддержку крупных страховых и инвестиционных компаний, пенсионных и благотворительных фондов, в связи с чем становятся наиболее конкурентоспособными.

## **Источники**

1. Скоробогатько Е. Устойчивое развитие и ESG: новая эпоха управления // Digital. 2022. № 2. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivoe-razvitie-i-esg-novaya-epoha-upravleniya> (дата обращения: 13.09.2022).

2. Сафронов С.Б. ESG факторы – риски и возможности // Современные технологии управления. 2022. № 1 (97). [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/esg-factory-riski-i-vozmozhnosti> (дата обращения: 13.09.2022).

3. Петрова К.С. Корпоративное управление в контексте ESG // Инновации и инвестиции. 2022. № 7. [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/korporativnoe-upravlenie-v-kontekste-esg> (дата обращения: 13.09.2022).

УДК 33

## **ЦЕЛИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Барщевская В.М.

БНТУ, г. Минск, Беларусь

[vbarshchevskaya@bk.ru](mailto:vbarshchevskaya@bk.ru)

Науч. рук. ст. преп. Корсак Е.П.

Для любого государства целью является обеспечение безопасности во всех сферах его деятельности. Экономическая безопасность непосредственно связана с устойчивым развитием страны и является фактором, обеспечивающим рост её экономических показателей, делающим её конкурентоспособным на мировом рынке.

**Ключевые слова:** цели устойчивого развития, экономическая безопасность, социальное равенство, повышение экономического благосостояния

В 2015 году Генеральной ассамблеей ООН разработаны 17 целей устойчивого развития (далее - ЦУР), которые были названы в резолюции Генассамблеи «Повесткой дня на период до 2030 года». Конечный документ включает в себя 17 целей и 169 задач по их достижению [1]. На рисунке представлен перечень поставленных целей. Их осуществление призвано удовлетворять потребности настоящего поколения при этом сохраняя экологическую и экономическую безопасность для будущих поколений, обеспечивая для них социальное равенство. Все поставленные ЦУР можно разделить на 3 категории: связанные с сохранением экологии, обеспечением социального равенства и повышением экономического благосостояния. Эти категории взаимосвязаны и имеют непосредственное влияние друг на друга, поэтому предполагается, что для их достижения необходимо комплексное воздействие на каждую из них. Рациональное использование ресурсов, введение современных технологий во все сферы деятельности, создание равных условий вне зависимости от пола, расы

и нации – то, к чему стремиться современное общество. При должном подходе реализация ЦУР позволит повысить качество жизни населения параллельно с минимизацией экологических проблем.

### Sustainable Development Goals



Рис. 1. Цели устойчивого развития

Достижение поставленных целей является общей задачей всех стран ООН, что ведет к обмену полученным опытом по достижению ЦУР странами-участницами, их сотрудничеству. Глобальное партнерство в достижении ЦУР позволяет перенимать опыт более развитых государств и повышает конкурентоспособность страны на мировом рынке, что обеспечивает повышение её экономической безопасности. Экономическая безопасность государства представляет собой состояние экономики, при котором экономические показатели имеют тенденцию к росту, экономические потребности эффективно удовлетворяются, а экономические интересы защищены на национальном и международном уровнях.

В экономической сфере к факторам, определяющим уровень достижения ЦУР относятся:

- объем валового национального продукта;
- производительность труда;
- динамика структуры хозяйства;
- количество отходов, их переработка и использование.

В Республике Беларусь помимо общих ЦУР на их основании разработана Национальная стратегия устойчивого развития до 2035 года, которая более широко описывает шаги достижения ЦУР в стране.

Республика Беларусь заняла 34 место в рейтинге достижения ЦУР-2022 среди 163 стран и набрала 76 баллов из 100 возможных [2].

Выполнение ЦУР не имеет обязательного характера в юридическом плане, что снижает мотивацию к их осуществлению, но данные цели могут являться опорой при формировании государством плана устойчивого развития. Реализация целей требует больших денежных вложений, но их экономическая выгода после реализации покрывает расходы примерно в 2 раза.

### **Источники**

1. Основные сведения о целях устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sdgs.by/about/> (дата обращения 14.09.2022)

2. Цели устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://sdgs.by/news\\_events/news/d2f0343b28ab075.html](https://sdgs.by/news_events/news/d2f0343b28ab075.html) (дата обращения 14.09.2022).

УДК 658.18

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА-КЛАССИФИКАТОРА**

Васина А.Ю.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[anzhyan@yandex.ru](mailto:anzhyan@yandex.ru)

Науч. рук. доц. Зинуров В.Э.

В работе обоснована технико-экономическая целесообразность применения мультिवихревого устройства, применяемого для сепарации сред мелкой дисперсности на основе силикагеля. В результате исследования было проведено сравнение технических характеристик сепаратора-классификатора и трех его аналогов. В качестве параметров сравнения были выбраны: эффективность фракционирования, величина гидравлического сопротивления, а также экономия денежных средств, достигающейся за счет снижения годового потребления электроэнергии и др.

**Ключевые слова:** экономическая целесообразность, сепарация, мультिवихревое устройство, рентабельность

Внедрение инновационных разработок в существующую промышленную систему открывает новые возможности и перспективные

направления развития для промышленного сектора, однако применение таких технологий требует предварительного выполнения технико-экономического расчета, позволяющего определить экономическую рентабельность планируемого нововведения [1, 2]. Часто средства, вложенные в закупку оборудования и его наладку на предприятии, могут привести к отрицательному экономическому эффекту вследствие длительного срока окупаемости. Поэтому проведение грамотного расчета и предварительной оценки рентабельности при внедрении нового оборудования в технологическую линию остается важной задачей. Кроме того, актуальным вопросом остается обеспечение импортозамещения в результате осложнившейся геополитической обстановки [3].

На предприятиях-производителях мелкодисперсного материала на основе силикагеля для фракционирования сыпучих веществ применяют специальные устройства-классификаторы, в частности центробежного типа для частиц размером менее 50 мкм [4, 5]. Для каждого технологического процесса модель подбирается исходя из большой выборки параметров, например, режима работы линии, плотности и размера частиц в потоке и других [6, 7].

В качестве устройства фракционирования сыпучего материала на основе силикагеля был разработан сепаратор-классификатор, основным преимуществом которого является простота конструкции и эксплуатации.

Классификаторы, участвующие в общем сравнении, имеют одинаковый принцип действия, рабочие показатели и готовность к эксплуатации. Небольшие отличия, такие как конструктивные особенности и материалы деталей, не влияют на итог сравнительного анализа. Часть приводимых технических характеристик последних трех устройств, представленных в таблице, определены на основе реальных промышленных образцов. Остальные параметры сравнения были определены по среднему значению, взятому из литературного обзора. Вследствие того, что некоторой части технических параметров нет в открытом доступе или они представлены для других материалов, непосредственное сравнение не представляется возможным.

При проведении сравнительного анализа четырех моделей классификаторов можно выявить, что наиболее рентабельными оказались мультивихревой классификатор-сепаратор и классификатор № 2. Следует отметить, что мультивихревой классификатор, имеющий установленную мощность 0,138 кВт при условном расходе воздуха 200 м<sup>3</sup>/ч, отличился высокими показателями годовой экономии денежных средств, которая достигается путем снижения потребления электроэнергии, относительно

циклонного классификатора с потребляемой мощностью 5 кВт и потребляет примерно в 11 раз меньше электроэнергии относительно классификатора № 2, что указывает на конкурентоспособность данного устройства.

Таблица 1

Сравнение технико-экономических показателей мультивихревого классификатора-сепаратора с аналогами

№	Параметры	Мультивихр. классификатор-сепаратор	Класс-ор № 2	Циклон. класс-ор	Класс-ор № 4
1	Потребляемая мощность N, кВт	0,138	1,5	2-5	2,5
2	Годовое потребление электроэнергии N <sub>г</sub> , кВт·ч	1208,88	13140	17520-23800	21900
3	Годовая экономия денежных средств Э, тыс. руб./год	79	37	-	6,6
4	Крупность разделения, мкм	30-60	10-100	10-250	10-500
5	Эффективность классификации, %	80	80	80	80
6	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	200	2000	1000–7600	2000-2600
7	Гидравлическое сопротивление, Па	1487	1000-3000	2000-5000	1000-4000
8	Ориентировочная стоимость, тыс. руб.	54	400	450	300

**Источники**

1. Зинуров, В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покращными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2020. – № 12. – С. 50–59.

2. Покшиванова, О.П. Экономическая эффективность внедрения инновационного технологического оборудования // Журнал: Инновации. Наука. Образование. – 2020. – № 1. – С. 249–254.

3. Оборин, М.С. Экономическая безопасность промышленных предприятий в условиях цифровой экономики // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2022. – № 1. – С. 44–54.

4. Копытов Н.П. Решения в сфере электроэнергетики. Развитие в контексте цифровизации // Новости ЭлектроТехники. – 2019. – № 1 (115). – С. 32–33.

5. Зинуров, В.Э., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Моисеева К.С. Промышленные испытания фракционирования сыпучего материала в мультивихревом классификаторе-сепараторе // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 58–63.

6. Зинуров, В.Э., Дмитриев А.В., Сахибгареев Н.Ф., Латыпов Д.Н., Гарипов М.Г. Численное моделирование газодинамики в центробежном классификаторе // Вестник технологического университета. - 2021. – Т. 24. – № 12. – С. 128–132.

7. Зинуров, В.Э., Галимова А.Р., Никандрова М.В., Харьков В.В. Экономическая целесообразность внедрения классификатора с соосно расположенными трубами на катализаторном заводе // Развивая энергетическую повестку будущего. Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК. Санкт-Петербург. – 2021 – С. 127–131.

УДК 32

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА РОССИИ В КОНТЕКСТЕ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ

Воробьев А.Е.<sup>1</sup>, Арзамасова А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова», г. Грозный, Россия

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

fogel\_al@mail.ru, asaraf@mail.ru

На прошедшем, V Международном форуме «Российская энергетическая неделя», Президент РФ Путин В.В. отметил, что «Россия прочно входит в число лидеров мировой энергетики», т. к. является весьма значимым звеном в цепочке мирового производства и потребления энергии.

**Ключевые слова:** энергетическая политика, потребление энергии, электроэнергетика, экспорт электроэнергии.

Россия экспортирует электроэнергию в такие страны, как Норвегия, Финляндия, Литва, Китай, Казахстан, Монголия, Грузия, Азербайджан, Белоруссия, на территорию Южной Осетии, Абхазии и даже до последнего времени – на Украину. В результате в 2021 г. на экспорте электроэнергии Россия заработала 1,33 млрд. \$.

Кроме того, компания Росатом РФ, по заказу национальных правительств, строит 10 АЭС в зарубежных странах (рис. 1).



Рис. 1. Участие РФ в строительстве зарубежных АЭС (участие РФ в строительстве Хмельницкой АЭС приостановлено)

Такая значительная система российской электроэнергетики, где функционирует множество производственных объектов, зачастую функционирующих на существенном расстоянии, неизбежно испытывает влияние различных вызовов.

Так, ситуация сегодняшнего дня показала значительную уязвимость систем выработки и снабжения потребителей электроэнергией. Следовательно, первый вызов для электроэнергетики – это повышение надежности ее выработки и устойчивого снабжения потребителей [8, 9].

Второй вызов в области электроэнергии представляет собой постоянное повышение себестоимости производства электроэнергии (за счет роста цен на потребляемые материалы, прежде всего на органическое топливо – газ, уголь, мазут и т.д., и услуги – табл. 1, рис. 2), что выражается в повышении тарифов на электроэнергию.

## Себестоимость выработки электрической и тепловой электроэнергии

№	Затраты при комбинированной выработке 1 кВт·ч электроэнергии + 1,25 кВт·ч тепла, руб/кВт·ч			Затраты на покупку услуг при централизованном снабжении: 1 кВт·ч электроэнергии и 1 кВт·ч тепла, руб/кВт·ч	
	1	Природный газ	0,269 м <sup>3</sup> х 3,254 руб/м <sup>3</sup>	0,876	Электроэнергия
2	Моторное масло	0,0004 кг х 130 руб/кг	0,052	Тепло	0,67
3	Техобслуживание	0,2 руб.	0,2	<b>Итого затрат на покупку:</b>	<b>3,24 руб.</b>
<b>Итого затрат при выработке: 1,13 руб.</b>					

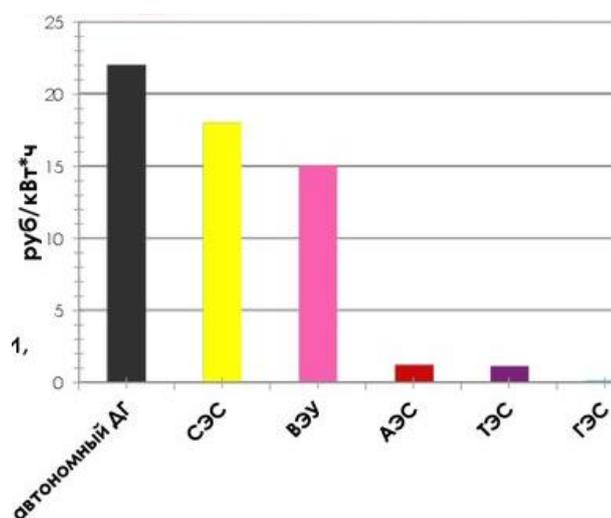


Рис. 2. Себестоимость 1 кВт\*ч электроэнергии

Третий вызов представляет собой технологические потери (от 2 до 7 % передаваемой электроэнергии). Данное обстоятельство обусловлено тем, что генерирующие компании зачастую расположены на приличном удалении от потребителя и эта удаленность порождает необходимость в транспортировке энергии (общая протяженность воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше РФ составляет 45,4 тыс. км). Протяженные линии электропередачи, повышающие и понижающие трансформаторы, все эти технологические элементы имеют свой КПД, и как бы не старались сетевые компании при транспортировке энергия неизбежно теряется.

Альтернативные источники производства электроэнергии пока еще не в состоянии полностью заменить традиционные генерации [3, 5, 10].

Рассмотренные вызовы можно решить на основе массового перехода энергетики на нанотехнологии, smart-(«умные»)-технологии, что обеспечит существенное увеличение эффективности производства и передачи электроэнергии [4]. Кроме того, необходимо кардинально изменить идеологию электроснабжения предприятий и личных хозяйств – от сосредоточенной к распределенной электроэнергетики [1,2,7]. Во-первых, электроснабжение должно быть похоже на сеть Интернет, когда выход одного устройства из работы не влияет общую работу системы. Во-вторых, сохранив массовое промышленное производство электроэнергии, необходимо начать осуществление её производство на местах потребления (когда каждый кирпич зданий и сооружений, каждый квадратный метр крыш, дорог и тротуаров и т. д. будет производить электроэнергию).

Перечисленный список проблем и решений не является исчерпывающим, для обсуждения, исследовательской деятельности и реализации в рамках вузовских проектов. Здесь имеется обширное поле деятельности для вузовской молодежи – от аспирантов до студентов, занимающихся проблемами энергетики [6].

### **Источники**

1. Воробьев А.Е., Воробьев К.А. Развитие «точечной» солнечной энергетики // Вестник АУНГ (Казахстан) №3 (51). 2019. – С. 55-68.

2. Воробьев А.Е., Воробьев К.А. Распределенная солнечная энергетика // Вестник евразийской науки. Т. 11. № 5. 2019. – С. 17.

3. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Джумагалиев Н.И. Пути развития солнечной энергетики и нанотехнологии // Труды XXVII Международной конференции «Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и на транспорте». – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2019. – С. 78-82.

4. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Мадаева М.З. Обоснование проектирования нанофабрик для нужд энергетики // Коллективная монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». Том X. Москва. – 2020.

5. Воробьев А.Е., Джимиева Р.Б. Перспективы энергетики и экологическая безопасность при сжигании горючих сланцев // Материалы Международной конференции «Ресурсно-экологические проблемы в XXI веке: инновационное недропользование, энергетика, экологическая безопасность и нанотехнологии». - Москва-Алушта, Крым. – М.: РУДН, 2009. – С. 210-212.

6. Воробьев А.Е., Мадаева М.З., Воробьев К.А. Возможности эффективного применения инновационных методик подготовки кадров по специальностям энергетики // Материалы республиканской научной конференции «Актуальные вопросы подготовки кадров по специальностям энергетики». Сумгаит (Азербайджан). Сумгаитский государственный университет. – 2019. – С. 6-13.

7. Воробьев А.Е., Мадаева М.З., Воробьев К.А., Хаджиев А.А. Будущее развитие «точечной» солнечной энергетики // В сборнике: Геоэнергетика - 2019 Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией М.Ш. Минцаева. – 2019. – С. 18-37.

8. Воробьев А.Е., Мадаева М.З., Хаджиев А.А. Будущее энергетики // В сборнике: Актуальные вопросы тепло- и электроэнергетики. Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Грозный, 2021. – С. 65-78.

9. Воробьев А.Е., Мадаева М.З., Хаджиев А.А. Развитие современных систем электроэнергетики // ИССЛЕДОВАТЕЛЬ ГОДА – 2022. Сборник статей II Международного научно-исследовательского конкурса (20 июня 2022 г.). – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2022. – С. 8-19.

10. Воробьев А.Е., Хаджиев А.А. Основные пути развития ветровой электроэнергетики в г. Грозном // Молодежный исследовательский потенциал: Сборник статей VI международного научно-исследовательского конкурса (13 июня 2022 г.). – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука». – 2022. – С. 141-152.

УДК 323.2

## **СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ**

Замалетдинова Л. Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Lilia384@mail.ru

Проведен анализ энергетической политики России: современные вызовы и перспективы развития. По утверждению автора мировое общество приблизилось к началу глобальных перемен в сфере добычи и использования энергоресурсов, а это тесно связано с переходом на альтернативные источники энергии и внедрением энергоэффективных технологий. С одной стороны, эти меры призваны снизить выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, с другой - представляют угрозу, в частности для России, из-за преимущественного развития нефте-и газодобывающих отраслей, которые играют значимую роль в формировании основы существующей инфраструктуры.

Автором проанализированы состояние и перспективы мировых энергетических рынков и прогноз их развития в будущем. В статье обоснована значимость повышения энергоэффективности в России. Привлечение инвестиций в модернизацию и повышение энергоэффективности может быть обеспечено за счёт следующих ключевых мер: развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ); разработка наиболее рентабельных нефтегазовых запасов и изменение стратегии экспорта.

**Ключевые слова:** энергетический рынок, турбулентность, рецессия экономики, энергетическая политика, возобновляемые источники энергии, энергоресурсы, электроэнергетическая отрасль, мировая политика.

Под влиянием различных событий, зачастую глобального масштаба, современный энергетический рынок несколько преобразился. По-прежнему оставаясь благоприятной средой для добычи и использования ископаемого топлива, энергетическая отрасль контролирует и предупреждает различные угрозы, связанные с нехваткой соответствующей продукции, к примеру, нефти.

Общая рыночная ситуация характеризуется турбулентностью, как правило, с помощью существенного колебания цен на рынке нефти, изменения личного потребления, ориентира на производство, основанного на возобновляемых источниках энергии, снижения экономической активности в целом. Введение жесткого карантина в странах мира, вследствие пандемии, уменьшило спрос на электроэнергию в промышленных целях и, одновременно, возобновило рост потребности со стороны населения из-за введения дистанционного обучения в образовательных учреждениях, необходимости организации трудовой деятельности сотрудников компаний в удаленном формате, а также использовании различных форм взаимодействия в режиме онлайн. Во многих странах возникла рецессия экономики, что способствовало увеличению внимания со стороны ведущих политических аппаратов.

Постковидный период реабилитации мировой энергетической структуры затронул сферу мирового ВВП, активно повышая его с -3,4 до 6 %. Падение спроса на энергоресурсы в 2021 году в энергетике составляло более 4 % [1].

Однако, потребность в поддержании стабильности экономики привела к значительному увеличению потребности в принятии комплексных мер по совершенствованию энергетической политики [2]. Мировой рынок захватила новая тенденция роста электроэнергии, основанная на возобновляемых источниках энергии.

По данным, представленным в виде таблицы, мы видим значительное снижение производства газа и нефти во всем мире. Увеличение

спроса на не возобновляемые виды топлива вместе с транспортировочными ограничениями привело к значительному дефициту ресурсов и высоким ценам на энергоносители. Из-за повышенной стоимости газа в Европе и доли в структуре генерации, составляющей около 20 %, основные оптовые цены на электроэнергию в 2021 году были в четыре раза выше, чем за прошедшие 6 лет. В связи с нестабильной ситуацией в мире, в сравнении с августом 2022 года, в сентябре наблюдалось снижение цены на газ, благодаря пополнению запасов сжиженного природного газа в странах Западной Европы. Основные поставки данного энергоресурса сократились после введения санкций в сторону Российской Федерации. [3, 4].

Таблица 1

Изменение производства энергии на основе ВИЭ в мире, тВ/ч

Вид энергии	2019/2020	2020/2021	2022
Солнечная энергия	153	145	150
Ветровая энергия	175	275	304
Биотопливо	40	72	81
Водород	114	140	156
Уголь	-437	476	503
Газ	-101	58	58
Ядерная энергия	-105	51	80
Нефть	-35	-19	-22

Предполагаемый рост выработки энергоресурсов на основе ВИЭ (в среднем на 8 % в год) вполне сможет обеспечить более 90 % спроса в течение данного периода. Помимо этого, ожидается прирост производства атомной энергии на 1% каждый год, соответствуя 4 % роста от мирового потребления.

В таком случае, рост спроса на электроэнергию и расширение мощностей возобновляемой энергетики, а также производство электроэнергии на основе не возобновляемого топлива останется на прежнем уровне. Угольная генерация претерпит изменение в виде сокращения объемов производства, однако существенной роли она играть не будет, поскольку поэтапный отказ от угля и снижение его конкурентоспособности в отличие от природного газа в США и Европе, будет компенсировано ростом в Китае и Индии.

В начале 2021 года руководство Китая заявило, что вынуждено контролировать производственные проекты электроэнергетики на основе угольных ресурсов и постепенно уменьшать их до 2030 года [3].

В России за последний год выработка электроэнергии выросла на 6,4 % по сравнению с предыдущим, когда как потребление электроэнергии возросло на 5,5 %. После снижения производства и потребления электрической энергии, были достигнуты максимальные за прошедшее десятилетие значения объемов выработки и составляли около 1130-1107 млрд кВт·ч. Предполагаемый рост спроса в электроэнергетической отрасли и усугубление износа оборудования в связи с санкциями, может привести к возобновлению инвестиционной активности. Рост ВИЭ в общем энергобалансе страны позволяет выявить тенденцию развития альтернативных источников энергии, как энергетической отрасли.

В 2021 году действующая программа поддержки ВИЭ была продлена до 2035 года. Электроэнергия от альтернативных источников энергии существенно снизила стоимость на энергетическом рынке Российской Федерации.

Массовая цифровизация; экономия ресурсов и уменьшение их потерь; возрастание объемов поставок электроэнергии и оборудования российских компаний на рынки других стран являются наиболее перспективными направлениями для развития российской энергетики.

Основной энергетической целью нашей страны на ближайшие 5 лет станет развитие сетевой инфраструктуры и генерирующих мощностей, обеспечение удовлетворения долгосрочного и среднесрочного спроса на электроэнергию и мощность, формирование стабильных и благоприятных условий для привлечения инвестиций в строительство объектов электроэнергетики. Одним из приоритетных направлений станет синхронизация работы энергосистем Сибири и Востока. Данная политика обеспечит следующие величины обмена мощностью в нормальной схеме между ОЭС Сибири и ОЭС Востока:

- 620 МВт из ОЭС Сибири в ОЭС Востока;
- 690 МВт из ОЭС Востока в ОЭС Сибири.

Основной акцент в виде технических решений по реконструкции и формированию единой энергосистемы с данными районами выработки поможет выработать противоаварийное управление для обмена мощностью:

- 350 МВт из ОЭС Сибири в ОЭС Востока;
- 450 МВт из ОЭС Востока в ОЭС Сибири.

В плане технических решений к уже реализованным проектам в виде Транссибирской магистрали и Восточного полигона-БАМ рекомендуется установка сооружений, направленных на повышение мощности линий электропередач [5].

Таким образом, мы выявили основные тенденции развития мировой энергетики на ближайшее будущее. Российская Федерация является одной из главных стран в данном направлении, выполняя поставки нефти и газа в другие страны. Кроме того, потребители электроэнергии стали больше интересоваться ВИЭ, как одним из самых дешевых производителей электрической энергии. Традиционная энергетика в нашей стране также не стоит на месте, так как запланированные на ближайшие 5 лет мероприятия будут являться основополагающими в увеличении мощностей и объединении систем ОЭС Востока и Сибири.

### **Источники**

1. Родионов, Д.Г. Основные тенденции на международном рынке энергоресурсов: факты и уроки пандемии COVID-19 / Д. Г. Родионов, Н.А. Кулагина, А.А. Лагутенков // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 2-2. – С. 244-250. – DOI 10.17513/vaael.2082.

2. Юсупова И.В., Селезнев Д.К., Арзамасова А.Г. Основные направления развития энергетики Республики Татарстан в контексте реализации стратегических и программных документов развития отрасли [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48206188> (дата обращения: 25.09.2022)

3. Итоги развития мировой электроэнергетики в 2021 году и перспективы на 2022-2024 гг. Цифровая энергетика [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://clck.ru/32AqzG> (дата обращения: 25.09.2022)

4. Финам [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.finam.ru/publications/item/draft-27092022-2022-09-27-11-53/> (дата обращения: 26.09.2022)

5. Приказ Министерства энергетики РФ от 28 февраля 2022 г. № 146 «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2022–2028 годы».

## **ТРУДНОСТИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ РОССИИ СТУДЕНТАМИ-БАКАЛАВРАМИ ФГБОУ ВО «КГЭУ» В ПРОЦЕССЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСТОРИЯ»**

Зиновьева Д.О., Хуторова Л.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Zinoveva.darina03@mail.ru, hutorovalyd@mail.ru

В данной статье анализируется опыт освоения студентами-бакалаврами инженерных направлений ФГБОУ ВО «КГЭУ» вопросов модернизации России в ходе изучения дисциплины «История». Авторы выделяют задачи и круг проблем, связанных с изучением данной темы, обозначают трудности организационного и познавательного характера у современной студенческой молодёжи.

**Ключевые слова:** история, модернизация России, soft skills, педагогические условия подготовки инженерных кадров.

Современные образовательные стандарты подготовки инженерных кадров подразумевают компетентностно-ориентированный подход. Наряду с профессиональными у студентов формируются и надпрофессиональные навыки (soft skills). Гуманитарные дисциплины, включенные в учебный план подготовки будущих инженеров, способствуют, в том числе, их формированию. Современные работодатели заинтересованы в привлечении креативных, нестандартно решающих проблемы и быстро адаптирующихся к новым условиям специалистов. Дисциплина «История» относится к базовым предметам, и получаемые в ходе её освоения знания и навыки способствуют формированию общекультурных компетенций, осознанию места и роли будущей деятельности в общественном развитии, умению аналитически мыслить, вести научную дискуссию. В результате изучения курса студенты должны научиться анализировать этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции. Постигая прошлое, студенты приходят к осознанию, что основы социокультурного, экономического и политического развития любого общества закладываются на предыдущих этапах его развития, инновации никогда не проявляются вне общества [1].

Авторами настоящей статьи предпринята попытка проанализировать, с какими трудностями встречаются студенты-бакалавры инженерных направлений ФГБОУ ВО «КГЭУ» в процессе решения основных задач

курса дисциплины «История (История России, всеобщая история)». Общая трудоёмкость освоения дисциплины составляет 3 зачётных единицы, всего 108 часов, из них – 38 академических часов отведено под лекционный курс, 18 часов – практические занятия. Содержательная часть курса дисциплины «История» базируется на показе отечественной истории в контексте всемирного исторического процесса. Модернизация - понятие, введённое М. Вебером, подразумевает трансформацию традиционного общества в общество современного типа. Сторонники теории модернизации представляют её как глобальный процесс, втягивающий в себя все народы мира. Настоящий период в рамках теории модернизации рассматривается как поздняя модерность, связанная с утверждением постмодернистской культурной парадигмы и постиндустриального типа общества на Западе [2]. Таким образом, одно из ключевых понятий - «модернизация» позволяет проследить хронологически длительный период от эпохи Нового времени до последней четверти XX в., а также в данной системе понятий охарактеризовать современные процессы. Обращение к феномену российской модернизации позволяет очертить перед студентами круг проблем. Во-первых, познакомить с дискуссиями в научной среде по поводу самого понятия, различными теоретическими подходами к анализу процесса модернизации; обозначить перед аудиторией ключевые понятия (промышленный переворот, индустриализация, урбанизация, электрификация и пр.) и их последствия. Во-вторых, охарактеризовать закономерности и особенности проведения модернизации в России. В-третьих, проследить влияние особенностей российской модернизации на внешнюю политику государства, взаимодействие России и стран Европы. В-четвёртых, выявить субъективно-личностный фактор и обратиться к роли выдающихся политиков, экономистов, учёных в российской модернизации. В учебном процессе применяются такие педагогические формы и приёмы обучения как дискуссия, кейс-задания, круглый стол. Опыт практических занятий позволяет обозначить ряд трудностей, с которыми сталкиваются студенты-бакалавры инженерных направлений, обучающиеся в КГЭУ. Мы сгруппировали выявленные трудности по познавательному и организа-ционному признакам. В плане организации можем отметить, что у многих студентов отсутствуют навыки самоподготовки, поиска нужного материала. Так, например, многие студенты отказываются работать с рекомендованными преподавателем источниками и литературой в пользу результатов введения искомых слов

в поисковую строку в интернет-браузерах. Эвристический круг проблем неоднороден и здесь мы можем говорить, например, о трудностях, связанных со спецификой работы с историческими материалами. Привычка и стереотипы клипового сознания у большинства студенческой молодёжи приводит к отказу от изучения историко-документальной основы прошлого в пользу готового медиа-продукта в пространстве интернет. Это ведёт к отказу самостоятельно выстроить логическую цепочку в пользу принятия некой матрицы или схемы с заданным ответом. Широкое распространение литературно-публицистических и политизированных мнений, оценок, «мифологизация» исторических событий и персон приводит к тому, что многие студенты затрудняются определить ключевые понятия «исторический факт» и «историческое событие» и путают их с мнениями, оценками и суждениями. Из поля зрения многих обучающихся «выпадает» субъективно-личностный фактор, и история представляется как некий массив «обезличенной» информации. Тогда как невозможно понять природу российских инноваций без понимания сути взглядов авторов реформ (Петра I, Екатерины II, Александра I, М.М. Сперанского, С.Ю. Витте, П.А. Столыпина и пр.).

Таким образом, мы можем сделать вывод, что историческое знание по вопросу модернизации в России в прошлом и настоящем даёт широкие педагогические возможности для студентов-бакалавров инженерных направлений для постижения природы и механизмов инноваций в культурно-историческом и геополитическом пространствах. В процессе преодоления трудностей познавательного и организационного характера у студентов формируются надпрофессиональные навыки (soft skills).

### **Источники**

1. Крадецкая С.В., Рафалюк О.Е. Проектирование реальности: место истории в техническом вузе (к постановке проблемы) [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24608> (дата обращения: 27.09.2022).

2. Скворцова Е.М. Проблемы модернизации России: опыт историко-экономического анализа // Гуманитарные науки. Вестник Финансового университета. – 2014. – № 4 (16). – С. 42-51.

## РОЛЬ МЕЖДУНАРОДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРАВА В РЕГУЛИРОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

Ибраева Г.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Gulnara-ibraeva@list.ru

В тезисе раскрывается значение международного права в регулировании правоотношений в сфере энергетики, а также роль международного энергетического права в обеспечении энергетической безопасности.

**Ключевые слова:** международное право, энергетика, международное энергетическое право, международные договоры в сфере энергетики.

Международное право, как основной инструмент международного сотрудничества и международной дипломатии, представляет собой систему правовых норм, регулирующих отношения между государствами, являясь не только юридическим, но и важным политическим и моральным фактором [1]. Сегодня в обострившихся политических условиях растет понимание роли международного права как «основного механизма противодействия угрозам энергетической безопасности» [2].

В 21 веке увеличился объем международного сотрудничества в сфере энергетики, основными акторами, которого являются: государства, международные организации, юридические лица, частные лица выступающие инвесторами или реализаторами межгосударственных энергетических проектов. Соответственно увеличился объем международных правовых норм, разработаны механизмы сотрудничества в различных сферах энергетики; созданы новые международные организации и формы международного сотрудничества (ФСЭГ, МЭФ и др.), возросло число споров, рассмотренных международными арбитражными органами в сфере энергетики.

Международное энергетическое право сегодня можно представить как совокупность международно-правовых норм, регулирующих такие общественные отношения как: исследование и разработка природных ресурсов (нефть, газ, уголь и т.д.); производство различных видов энергии; экспорт и импорт энергоресурсов; обеспечение транспортировки (трубопроводы, железнодорожные перевозки, танкер и др.); строительство и эксплуатация энергетических объектов, а также создание энергетических рынков сбыта [3]. При этом, важнейшей проблемой является отсутствие универсальных единых правовых норм, определяющих общие для всех государств правила в сфере энергетики.

Связь между развитием энергетики, международным энергетическим сотрудничеством и нормами международного права неразрывна. В последние годы отмечаются кардинальные изменения в мировой энергетике, развитие альтернативных источников энергии, использование новых цифровых технологий в энергетике [4], значимость обеспечения энергоэффективности, взаимозависимость развития энергетики с общим экономическим развитием государства, при этом необходимость защиты окружающей среды и обеспечения реализации прав человека в процессе энергетической деятельности. Все эти аспекты обязательно отражаются в современных международно-правовых актах в сфере энергетики.

Эффективное осуществление энергетической политики, развитие энергетической дипломатии [5], обеспечение энергетической безопасности любого государства сегодня невозможно без применения и совершенствования норм международного энергетического права, учитывающего изменения в энергетическом секторе. При этом необходимо учитывать, что международно-правовое регулирование сотрудничества государств в сфере энергетики развивается одновременно в многостороннем и двустороннем порядке.

В рамках многостороннего сотрудничества в сфере энергетики важное значение имеют не только международные договоры, но и решения органов региональных международных организаций, которые оказывают серьезное влияние на проведение единой энергетической политики, формирование региональных энергетических рынков, унификацию законодательства государств-партнеров [6]. Двусторонние международные договоры играют особую роль в установлении общих рамок и принципов сотрудничества, а также позволяют осуществлять различные совместные проекты в сфере энергетики (разведка, добыча, поставки и транспортировка энергоресурсов, строительство энергетических объектов, обмен информацией и др.) [3].

Региональные и двусторонние международные договоры являются основой формирования и развития международного энергетического права и его подотраслей (международного нефтяного права, международного газового права, международного атомного права, электроэнергетического права).

Таким образом, международное энергетическое право является основным регулятором правоотношений в сфере энергетики, при этом, для эффективного регулирования энергетического сотрудничества, также необходимо разработать механизмы оценки эффективности международных договоров в сфере энергетики, проанализировать, в какой степени они позволяют избегать риски, обеспечивать рентабельность проектов, долгосрочное присутствие на энергетических рынках.

## Источники

1. Колосов Ю.М. Международное право, внешняя политика и дипломатия. – М.: Междунар. отношения, 2005. – С. 26.
2. Гликман О.В. Международное энергетическое право в системе международного права //Международный правовой курьер. 2020. – № 1–2 (37–38), февраль – апрель. – С. 72–77.
3. Тункин Г.И. Теория международного права / Под общей ред. проф. Л. Н. Шестакова. – М.: Зерцало, 2000. – С. 258.
4. Капустин А.Я. Международный договор и международный правопорядок: некоторые концептуальные подходы / Авхадеев В.Р., Асташова В.С., Андриченко Л.В. и др. Договор как общеправовая ценность: Монография. – М.: ИЗИСП; Статут, 2018. – С. 26.
5. Жизнин С.З. Энергетическая дипломатия России: экономика, политика, практика». – М.: ООО «Ист Брук», 2005. – С. 153–432.
6. Юсупова И.В., Селезнев Д.К., Арзамасова А.Г. Основные направления развития энергетики Республики Татарстан в контексте реализации стратегических и программных документов развития отрасли [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48206188> (дата обращения: 18.09.2022)

УДК 378

## КОММУНИКАТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СТУДЕНЧЕСКОЙ ГРУППЫ

Иванова А.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ai804787@gmail.com

Науч. рук. доц. Завада Г.В.

В данной статье проанализирован коммуникативный компонент студенческой группы. Показаны основные показатели значимости студенческой группы, отмечен ключевой принцип формирования коммуникативного потенциала студенческой группы – принцип солидаризма.

**Ключевые слова:** студент, студенческая группа, коммуникативный потенциал, принцип солидаризма.

Одной из важнейших задач современного высшего образования является формирование у студентов компетенций совместной деятельности, умений работать в коллективе, взаимодействовать для решения

профессиональных задач. Для ее решения важно использовать как возможности образовательных технологий внутри учебного процесса, так и коммуникативный потенциал студенческой группы, в которую студенты включаются с первых дней своего пребывания в вузе.

Проанализировав научно-педагогическую литературу выявлены следующие особенности понятия коммуникативный потенциал. В основном это понятие используют применительно к личности, студенту или сотруднику [1, 2]. В то же время в работах, посвященных изучению корпоративной культуры, изучается потенциал группы. Выделяют различные элементы группового потенциала: работоспособность группы и ее квалификационный потенциал, лидерский и потенциал к развитию [3]. В контексте нашей работы рассмотрим составляющую группового потенциала, которую можно назвать «коммуникативный потенциал».

Корниенко В.И. отмечает, что наиболее значимым фактором формирования командной работы и объединения людей выступает коммуникация. Он выделяет ряд принципов командной коммуникации, в частности принцип коммуникационной диффузии, реализация которого проявляется в наличии разносторонних связей между участниками команды; принцип открытости коммуникации, наиболее значимый на этапе формирования команды и др. [4]. Значение отмеченных принципов велико и для студенческой группы.

Коммуникативный потенциал студенческой группы предполагает наличие у студенческой группы возможностей и способности к развитию и решение поставленных перед ней образовательных задач с помощью межличностных коммуникаций и взаимовыручки. Полноценное функционирование студенческой группы значительно повышает эффективность всего образовательного процесса в целом, и значительно способствует личностному росту студента [5]. Однако это возможно только при наличии:

- психологической совместимости студентов;
- общих ценностей, нравственных установок;
- навыков учебной деятельности у большинства участников группы;
- общения за пределами образовательного процесса;
- солидарности большинства членов группы при принятии коллективного решения.

Реализация принципа солидаризма предполагает, в свою очередь, доверие между членами коллектива, а также качества сопричастности и лояльности [6].

Подводя итог проведенному небольшому анализу отметим, что реализация коммуникативного потенциала создает наиболее благоприятные условия для личностного роста каждого участника студенческой группы.

### Источники

1. Барахович И.И. Коммуникативный потенциал личности: постижение смыслов. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.emissia.org/offline/2013/2072.htm> (дата обращения 29.09.2022).

2. Ивкина Ю.А. Развитие коммуникативного потенциала студентов технического вуза: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. пед. наук (13.00.08) / Ивкина Юлия Анатольевна; Магнитогорский государственный университет. – Магнитогорск, 2002. – 22 с.

3. Спивак В.А. Методология задействования группового потенциала, принятия коллективных решений и создания атмосферы творчества [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studme.org/51653/menedzhment/metodologiya\\_zadeystvovaniya\\_gruppovogo\\_potentsiala\\_prinyatiya\\_kollektivnyh\\_resheniy\\_sozdaniya\\_atmosfery](https://studme.org/51653/menedzhment/metodologiya_zadeystvovaniya_gruppovogo_potentsiala_prinyatiya_kollektivnyh_resheniy_sozdaniya_atmosfery) (дата обращения: 30.09.2022).

4. Корниенко В.И. Коммуникационный потенциал команд и пути его формирования // Коммуникология. – 2014. – № 5. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/kommunikatsionnyu-potentsial-komand-i-puti-ego-formirovaniya> (дата обращения: 01.10.2022).

5. Утлик Э.П. Студенческая группа: психологические факторы личностного и профессионального роста студентов // Инновации в образовании. – 2010. – № 7. – С. 75-87[Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15169255> (дата обращения: 01.10.2022)

6. Шиняева О. В., Емелин Д. В. Групповая солидарность студентов вузов: основные критерии и типы // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки. – 2022. – № 1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/grupnovaya-solidarnost-studentov-vuzov-osnovnye-kriterii-i-tipy> (дата обращения: 01.10.2022).

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Казиханов А.Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, России  
Aidankazihanov22@gmail.com  
Науч. рук. доц. Борисова О.В.

В данной статье рассматривается использование искусственного интеллекта для прогнозирования спроса и предложения на рынке возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, большие данные, прогнозирование, энергетика, возобновляемые источники энергии.

Энергетический сектор сталкивается со многими изменениями, которые повлияют на его рост и устойчивость, а возобновляемая энергия является мощным ресурсом для будущего глобального развития. В условиях изменения климата, истощения традиционных ресурсов и увеличения загрязнения, мир не может позволить себе растратить потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Основные преобразования в энергетическом секторе проводятся за счет более широкого использования технологий ВИЭ с переменным энергообеспечением, большими объемами данных, двунаправленным потоком энергии и необходимостью увеличения использования накопителей энергии.

Системы искусственного интеллекта (ИИ) способны изменять свое поведение без явного перепрограммирования, полагаясь только на опыт, полученный в результате наблюдения, сбора и анализа больших наборов данных. Они предлагают обзор процессов, а алгоритмы могут извлекать ценную информацию. Энергетические системы становятся все более и более сложными, данные все более сложными и большими, и, как следствие, ИИ должен поддерживать процесс принятия решений.

ИИ начнет существенно менять энергосистему по всему миру. Изменчивость ветровых условий или солнечного излучения начала беспокоить сетевых операторов, поскольку доля ВИЭ в их энергетических системах возрастает. В результате им нужны прогнозы погодных условий (ветер и солнце), чтобы заранее знать количество энергии, которое они подадут в сеть в следующий период. Вероятностное прогнозирование

нагрузки становится все более и более важным для планирования и эксплуатации энергетических систем, поскольку оно необходимо для хорошей работы энергосистемы и для оптимального управления потоками энергии, поступающими в системы возобновляемой энергии. Эффективное управление энергопотреблением в решающей степени зависит от прогноза нагрузки и возобновляемых источников энергии. Реальная энергосистема не была предназначена для работы с переменными источниками энергии или колебаниями нагрузки, как в случае ВИЭ. В настоящее время она меняется, поскольку все больше включает в себя возобновляемую энергию и новые интеллектуальные алгоритмы управления, производства, передачи и использования ВИЭ. Новые алгоритмы требуют меньше времени для вычислений и обладают большей точностью. Предлагается даже использовать гибридизацию двух или более алгоритмов для преодоления ограничений одного алгоритма.

Прогнозирование, моделирование и управленческие решения, основанные на глубоком анализе больших наборов данных, позволяют ИИ выявлять повторяющиеся, циклические модели и закономерности, выявлять несоответствия на этапах процессов, прогнозировать тенденции как для производства энергии, так и для спроса на энергию, снижать или устранять дисбаланс спроса и предложения, вызванный колебаниями ВИЭ, для предотвращения перебоев в подаче электроэнергии за счет оптимизации спроса и предложения в интеллектуальных сетях, повышения энергоэффективности и помощи в оптимизации энергосистемы экономически эффективным способом. Кроме того, он может принимать решения автономно на основе предыдущего опыта или на основе предыдущих человеческих решений (интегрированных в доступные данные) в сопоставимых или новых контекстах.

Использование ИИ поможет выйти за пределы традиционных факторов производства, ведущих к экономическому росту и, учитывая воздействие на окружающую среду и благосостояние, к экономическому развитию. Этот подход особенно очевиден в случае использования ИИ в секторе ВИЭ. ИИ изменит как используемые технологии, так и структуру спроса на рабочие места, что предполагает необходимость инвестиций в технический капитал и непрерывное обучение для перестройки производства и рынка труда с учетом нового характера процессов. С этой точки зрения рынок труда бросает новый вызов сектору ВИЭ, связанный с нехваткой навыков и рабочей силы. Как в случае инвестиций, так и на рынке труда развитые страны имеют преимущество, поскольку хорошо обеспечены высококвалифицированным населением.

## Источники

1. Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: ООО «АльянсПринт». – 2019. – 368 с.
2. Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Воропай Н.И. и др. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью. М.: ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС». – 2012. – 235 с.
3. Воропай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Известия РАН. Энергетика. – 2014. – № 1. – С. 64-73.

УДК 378

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УЧЕБНОЙ КОММУНИКАЦИИ СТУДЕНТОВ В ВУЗЕ

Курмашова А.Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
aliakurmashova@mail.ru  
Науч. рук. доц. Завада Г.В.

В данной статье представлены подходы к потенциалу сетевых социальных технологий для применения в образовательном процессе вуза. Указывается, что данные технологии способствуют развитию навыков учебной кооперации, являются инструментом формирования коллегиальной среды обучения. На основе анализа литературы обобщены достоинства применения сетевых технологий в образовательном процессе.

**Ключевые слова:** студент, сетевые социальные технологии, учебная коммуникация, образовательный процесс.

Согласно «Отчету по использованию социальных сетей, интернета в целом и e-commerce на начало 2021 г.» сетевыми социальными ресурсами пользуются 4,66 миллиарда человек (по сравнению с 2020 годом прирост пользователей составил 13 %), почти 7 часов в день пользователи пользуются Интернетом, для поиска информации, он-лайн покупок, коммуникации и игр [1]. Студенты, в основной массе, являются активными пользователем социальных сетей, прекрасно осведомленными об их возможностях и потенциале. Проблема введения этих возможностей в образование является актуальной, так как сам учебный процесс пока игнорирует системное применение сетевых социальных технологий (ССТ).

Изучение научно-педагогической литературы показывает, что образовательный процесс и наука уже накопили богатый опыт применения ССТ в обучении. Букаева А.А. и Магзумова А.Т. анализируют ССТ как педагогический инструмент эффективного обучения студентов, организации научной деятельности, применения для системы управления вузом [2]. В статье [3] представлен интересный опыт применения социальной сети «ВКонтакте» для оказания методической и информационной помощи при дипломном проектировании. Созданная автором группа показала позитивные результаты: охват 83 % студентов; до 780 просмотров в месяц; повышение качества оформления дипломной работы; обязательное наличие электронной версии дипломной работы и т. д. Ряд исследователей и практиков активно изучают и используют для реализации педагогического взаимодействия онлайн-платформы. Так, в [4] автор, Куликова Н.Ю., обстоятельно показывает опыт применения образовательной платформы при изучении определённого учебного материала в условиях сетевого взаимодействия. Есть интересный опыт применения ССТ в воспитательном процессе вуза, в частности при реализации программ патриотического и гражданского воспитания [5].

Многие исследователи подчеркивают, что ССТ способствуют развитию навыков учебной кооперации, являются инструментом формирования коллегальной среды обучения [6].

Мы также можем указать на несомненные достоинства применения ССТ в образовательном процессе вуза:

- бесплатный доступ и использование;
- оперативность распространения учебной информации;
- практически неограниченная возможность коммуникации с преподавателем;
- организация общения, как в индивидуальном порядке, так и группой любого количественного состава;
- возможность совместной работы, взаимообучения.

Кроме того, применение ССТ несет положительный эмоциональный заряд, так как они являются привычной средой для студента, по назначению и функционалу, не требуют адаптационного периода.

Учебная коммуникация студентов с помощью ССТ может осуществляться в различных формах:

С помощью учебных тематических форумов и чатов.

Каждый студент может дополнить учебный материал, создать свою страницу, поделиться своими размышлениями, опытом, знаниями, впечатлениями и т. п.

Осуществление взаимной оценки результатов студенческих работ.

Клименко О.А. указывает еще ряд преимуществ ССТ для организации учебных коммуникаций: обучение при помощи блогов, разработка совместных письменных сетевых проектов, интересна идея о возможностях организации клуба по интересам или учебного клуба, объединяющего студентов их разных регионов [7].

Подводя итог проведенному небольшому анализу можно отметить, что ССТ неотъемлемая часть не только повседневной жизни студента, но и его образовательного процесса. Даже если ССТ не включены в непосредственный процесс обучения – студенты постоянно используют их для самообразования, личностного роста. ССТ являются источниками мотивирующих примеров, самообучения, «скорой помощи» при изучении трудных вопросов программы.

### Источники

1. Отчет по использованию социальных сетей, интернета в целом и e-commerce на начало 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://сра.rip/stati/digital-2021/> (дата обращения 29.09.2022).

2. Букаева А. А., Магзумова А. Т. Использование социальных сетей в образовательном процессе // Инновации в науке. – 2015. – №2 (39). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-sotsialnyh-setey-v-obrazovatelnom-protssesse> (дата обращения: 30.09.2022).

3. Бондаренко С. Практическое использование социальных сетей в учебном процессе. [Электронный ресурс]. URL: <https://pedsovet.su/publ/164-1-0-6058> (дата обращения: 30.09.2022).

4. Куликова Н.Ю. Образовательная онлайн-платформа как фактор изучения интерактивных технологий обучения в условиях сетевого взаимодействия // Мир науки. Педагогика и психология. – 2020. – № 4. [Электронный ресурс]. URL: <https://mir-nauki.com/PDF/26PDMN420.pdf> (дата обращения: 30.09.2022).

5. Завада Г.В. Возможности использования социальных сетей в высшем образовании // Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании: материалы 20-й Всероссийской научно-практической конференции, 22-23 апреля 2015 г., г. Екатеринбург / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург, 2015. – Т. 1. – С. 241-244.

6. Карпенко М.П., Фокина В.Н., Семенова Т.Ю., Абрамова А.В. Социальная сеть – эффективный инструмент формирования коллегиальной среды обучения // Социология образования. – 2014. – № 7. – С. 16-26.

7. Клименко О.А. Социальные сети как средство обучения и взаимодействия участников образовательного процесса // Теория и практика образования в современном мире: материалы I Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2012 г.). – Т. 2. – Санкт-Петербург: Реноме, 2012. – С. 405-407. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/conf/red/archive/21/1799/> (дата обращения: 30.09.2022).

УДК 338.012

## УСТОЙЧИВАЯ ЭНЕРГЕТИКА: СУЩНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ

Лаптева Е.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[elezaveta.lapteva@yandex.ru](mailto:elezaveta.lapteva@yandex.ru)

Науч. рук. проф. Бурганов Р.А.

В статье рассмотрены основные проблемы перехода к устойчивой энергетике. Выявлены требования, предъявляемые мировой экономикой. Проведен анализ показателей устойчивого развития энергетике.

**Ключевые слова:** устойчивая энергетика, устойчивое развитие, экономика.

Одним из ключевых факторов устойчивого развития страны является устойчивая энергетика. Переход к ней предполагает внедрение и распространение множества различных новых технологий и значительную диверсификацию мирового энергетического баланса в сочетании с более эффективным применением углеводородов [3].

При изучении особенностей концепции устойчивого развития были выявлены требования, предъявляемые к устойчивой энергетике:

- 1) использование неисчерпаемых первичных энергоресурсов;
- 2) обеспечение сохранности окружающей среды (применение экологически чистых технологий и вторичных энергоносителей);
- 3) соразмерность развития энергетике с развитием экономики;
- 4) обеспечение энергопотребления не ниже определенного минимума;
- 5) скоординированность развития энергетике на национальном, региональном и глобальном уровнях [1].

К основным проблемам, стоящим на пути к устойчивой энергетике, относятся: обеспечение доступа к надежным и современным энергоресурсам, увеличение выбросов парниковых газов, низкий уровень экономического развития некоторых стран, энергетическая безопасность.

Международная статистика свидетельствует о том, что более 750 миллионов человек в настоящее время не имеют доступа к электричеству, а более 2,6 миллиарда населения мира готовят пищу с помощью древесины или древесного угля, которые загрязняют природную среду.

Рост уровня выбросов CO<sub>2</sub>, вызванный оживлением мировой экономики, превысил тенденцию прошлых лет (+1,9 %/год в период с 2000 по 2019 г.) и в 2021 г. составил 5,4 % [4]. Снижение выбросов парниковых газов возможно путем внедрения технологий улавливания, транспортировки и хранения CO<sub>2</sub>; улучшения изоляции зданий и тепловых сетей, ужесточения стандартов их строительства; установки теплосчетчиков и термостатов [3].

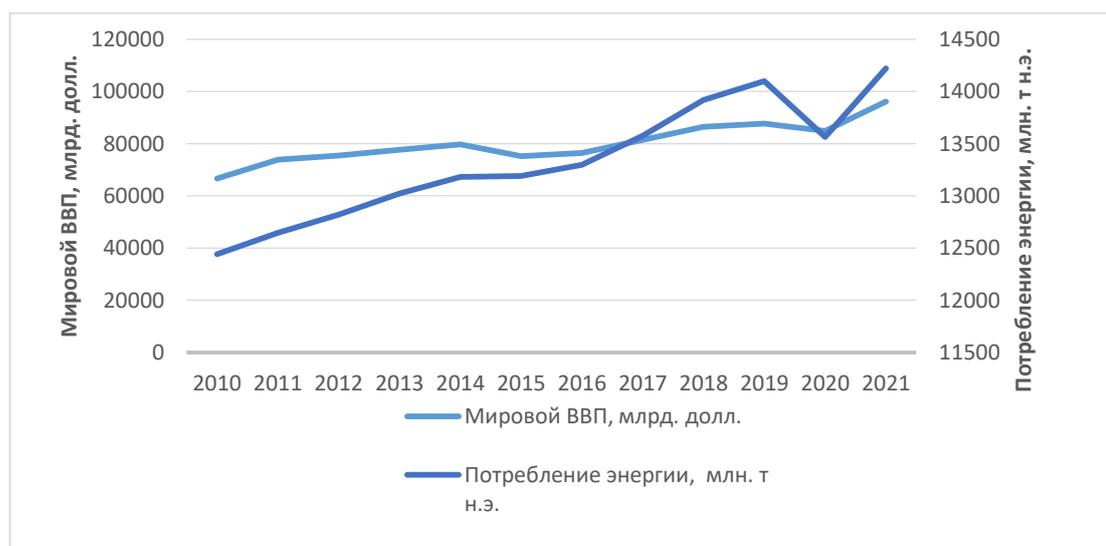
Уровень экономического развития характеризует такой показатель, как ВВП на душу населения. За последние 10 лет ВВП на душу населения в мире вырос с 10 544,9 до 12 262,9 долл. Самые высокие показатели на 2021 г. имеют Люксембург, Швейцария, Норвегия, Ирландия, самые низкие – Афганистан, Бурунди, Демократическая республика Конго, Центральная-Африканская республика. От значения показателя ВВП, в свою очередь, зависит, будет ли предоставлена возможность выделения средств на развитие энергетики. Высокие значения ВВП имеют США – 23 трлн долл., Китай – 17,7 трлн долл., Япония – 4,9 трлн долл., низкие – страны Африки [3].

Как мы видим, уровень развития экономики по миру сильно отличается, поэтому для сокращения разрыва развивающимся странам должна оказываться финансовая и техническая помощь со стороны развитых стран. Не последнюю роль играет восприимчивость отраслей экономики и сфер деятельности общества к возможным инновационным изменениям [2].

Взаимосвязь энергетики с экономикой отражают следующие показатели: удельное энергопотребление и энергоёмкость ВВП. В 2021 г. удельное энергопотребление в России составляет 5654 т н.э./тыс. чел, США – 6397 т н.э./тыс. чел, Китай – 2586 т н.э./тыс. чел, Япония – 3183 т н.э./тыс. чел, Германия – 3440 т н.э./тыс. чел. Энергоёмкость ВВП за этот же период в России – 0,46 т н.э./тыс. долл., США – 0,092 т н.э./тыс. долл., Китай – 0,21 т н.э./тыс. долл., Япония – 0,081 т н.э./тыс. долл., Германия – 0,068 т н.э./тыс. долл. Энергоёмкость ВВП в мире сократилась намного меньше, чем в предыдущие несколько лет (в среднем -1,5 %/год в период 2000–2019 гг., в 2021 г. на 1 %). Это вызвано ростом энергопотребления (+5 %), сопоставимым с увеличением ВВП (+6 %) [4].

Вопрос энергетической безопасности в мире сейчас крайне актуален. В связи с ситуацией на Украине, некоторые страны Европы отказались от поставок российского газа, в результате чего ощущают нехватку энергии. Согласно данным Евростата за 2021 год, около 31 миллиона европейцев живут в энергетической бедности и не могут поддерживать в своих домах нормальную температуру. Данную проблему можно решить только комплексом мер в пределах компетенции органов власти на национальном, региональном и местном уровнях. В долгосрочном плане в Европе собираются снижать зависимость от импортного топлива с помощью энергосбережения и увеличения доли собственных возобновляемых источников энергии в энергобалансе.

Изучение проблем энергетики, ее развития показало, что ключевая информация, определяющая доминантную часть современного развития, сосредоточена в анализе динамики ВВП и потребления энергии (см. рисунок). За период 2010–2021 гг. мировой ВВП увеличился на 44,3 %, что привело к увеличению потребления энергии на 14,3 % [4].



Динамика потребления энергии и ВВП в мире

Подводя итог вышесказанному, можно сказать, что переход к устойчивой энергетике, а также решение проблем, стоящих на его пути, должны осуществляться с учетом представленных требований.

### Источники

1) Беляев Л.С., Марченко О.В., Филиппов С.П. Энергетика и переход к устойчивому развитию // Известия Академии наук. Энергетика. – 1999. – № 5. – С. 43 – 53.

2) Бурганов Р.А. «Индустрия 4.0» как оболочка стратегического развития отрасли и фирмы // Russian Journal of Management. – 2017. – Т. 5. – № 2. – С. 165-169.

3) Локтионов В.И. Россия на пути к устойчивой энергетике // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2018. – Т. 14. – № 4. – С. 725 – 740.

4) The World Bank // [Electronic resource]. URL: <http://data.worldbank.org/> (date of access: 26.09.2022).

УДК 338.984

## РАССМОТРЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ СЕПАРАТОРА С ДВУТАВРОВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Моисеева К. С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

samasaka@yandex.ru

Науч. рук. доц. Попкова О.С.

В статье предложено сепарационное устройство с двутавровыми элементами для интенсификации сепарации мелкодисперсных частиц из газового потока на предприятиях энергетического сектора. Показаны наиболее важные факторы, которые влияют на эффективность внедрения сепаратора на промышленном предприятии. Получено, что разница между применением фильтров тонкой очистки и сепарационных устройств с двутавровыми элементами составляет около 240 тыс. руб. При этом экономическая эффективность сепаратора составила 25 %.

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, сепарационное устройство, мелкодисперсная пыль, сепаратор, пылеулавливающее устройство.

На многих предприятиях энергетической отрасли существует проблема улавливания частиц пыли, например, сажи. Крупно- и среднелдисперсные частицы успешно улавливаются гравитационными аппаратами. При размере частиц менее 20 мкм эффективность гравитационных аппаратов уменьшается практически до 0 %, что является существенной проблемой предприятий энергетической отрасли. Установка различных фильтров и аппаратов мокрой очистки не всегда возможна. Поэтому разработка новых простых механических аппаратов, способных улавливать мелкодисперсные частицы является актуальной задачей [1].

Для решения поставленной проблемы предлагается использовать сепаратор с двутавровыми элементами [2, 3]. За счет расположения множества рядов двутавровых элементов, заключенных в корпус произвольной формы, при движении запыленного газового потока внутри устройства возникают завихрения (рис. 1). При этом их диаметр очень мал, что позволяет получать высокие центробежные силы, которых достаточно для сепарации мелкодисперсных частиц из газа.

Важным аспектом внедрения сепарационного устройства является экономический [4]. В ходе литературного анализа и оценки влияния различных факторов на эффективность внедрения сепаратора на промышленном предприятии были выделены следующие: капитальные вложения (оборудование, монтажные работы, транспортные услуги и прочие услуги) и дисконтированный доход (ставка дисконтирования, доход от внедрения и себестоимость очистки).

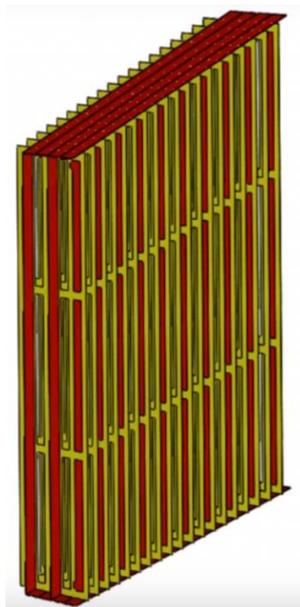


Рис. 1. Блок двутавровых элементов – основа сепаратора с двутавровыми элементами

К доходу от внедрения относятся увеличение срока службы дорогостоящих фильтров и поправочные коэффициенты (рис. 2).

На основе факторов, представленных на рисунке 2, был проведен сравнительный анализ использования фильтров тонкой очистки и сепарационных устройств с двутавровыми элементами. Эксплуатационный срок службы применялся равным 10 лет. В ходе расчета учитывались материальные затраты, амортизационные отчисления, накладные и прочие расходы [5].



Рис. 2. Ключевые факторы, влияющие на экономическую эффективность

В работе показано, что разница между применением фильтров тонкой очистки и сепарационных устройств с двутавровыми элементами составляет около 240 тыс. руб. При этом экономическая эффективность сепаратора составила 25 %.

### Источники

1. Дмитриев, А. В. Влияние конструктивного оформления элементов прямоугольного сепаратора на эффективность очистки газа от твердых частиц / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, О. С. Дмитриева, А. А. Галиев // Вестник технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 9. – С. 58-61.

2. Зинуров, В. Э. Исследование очистки газового потока от различных фракций пылевидных частиц сепаратором трапециевидной формы / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева, М. О. Уткин // Вестник технологического университета. - 2019. – Т. 22. – № 10. – С. 68-71.

3. Зинуров, В. Э. Улавливание мелкодисперсных капель из газового потока в сепарационном устройстве с двутавровыми элементами / В. Э. Зинуров, А. В. Дмитриев, О. С. Дмитриева // Промышленная энергетика. - 2020. - № 12. – С. 47-53. DOI: 10.34831/EP.2020.23.49.008

4. Зинуров, В. Э. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами / В. Э. Зинуров, А. Р. Галимова // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2020. – № 12. – С. 50-59. DOI 10.46554/1993-0453-2020-12-194-50-59

5. Zinurov, V. E. Economic Feasibility of Implementing Classifier with Coaxial Pipes at Catalyst Plant / V. E. Zinurov, A. R. Galimova, M. V. Nikandrova, V. V. Kharkov // International Scientific and Practical Conference «Young Engineers of the Fuel and Energy Complex: Developing the Energy Agenda of the Future» (EAF 2021). – Atlantis Press. – 2022. – V. 213. – P. 243-248. – DOI 10.2991/aer.k.220308.039

УДК 338.984

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕДРЕНИЯ МУЛЬТИВИХРЕВОГО СЕПАРАТОРА С ЭЛЕМЕНТАМИ КВАДРАТНОЙ ФОРМЫ**

Моисеева К.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

samasaka@yandex.ru

Науч. рук. доц. Попкова О.С., асс. Биккулов Р.Я.

В статье предложен мультिवихревой сепаратор с элементами квадратной формы, который предназначен для улавливания мелкодисперсных частиц. Его использование перед фильтрами тонкой очистки позволит увеличить их эксплуатационный срок службы. Также уловленный материал может быть использован повторно. В работе показано, что применение одного мультिवихревого сепаратора на предприятии позволяет сэкономить более 200 тыс. руб. в год.

**Ключевые слова:** мультिवихревой сепаратор, экономическая оценка, мелкодисперсные частицы, пыль, экономический эффект.

Повышение эффективности устройств для улавливания твердых частиц в энергетике является актуальной задачей. В большинстве случаев уловленный материал является ценным, который может быть использован повторно или в иных областях. Например, широко известно применение отходов тепловых электрических станций (ТЭС) – топливных зол и шлаков при производстве высокопрочных легких бетонов [1]. Важной задачей является разработка компактного и простого в использовании сепарационного устройства, способного улавливать частицы размером менее 20 мкм.

Для решения данной проблемы предлагается мультिवихревой сепаратор с элементами квадратной формы (см. рисунок). Принцип действия основан на возникновении множества вихрей в каналах между квадратными элементами [2]. При вращении возникают центробежные силы больших значений. Вследствие чего мелкодисперсные частицы отбрасываются к стенкам сепаратора и прилипают к ним [3]. Стоит

отметить, что данное устройство можно применять в любых воздуховодах, где необходимо улавливать мелкодисперсные частицы.



Рис.1. Полупромышленная модель мультивихревого сепарационного устройства

Особенностью устройства является компоновочная методика, позволяющая расположить сепарационные элементы квадратной формы относительно друг друга и проделать круглые отверстия таким образом, чтобы создавалась упорядоченная вихревая структура в сепарационной зоне, в которой движение вихрей поддерживается соседними вихрями в точках контакта. При этом диаметр возникающих вихрей очень мал, достигающий нескольких десятком миллиметров при рабочих скоростях до 10 м/с, что позволяет получить центробежные силы, значений которых достаточно для сепарации мелкодисперсных частиц размером до 10 мкм из газового потока, в отличии, например, от инерционных аппаратов грубой очистки – циклонов [4].

В предлагаемой конструкции мультивихревого сепаратора при необходимости возможно варьирование диаметров вихрей, следовательно, и значений центробежных сил, путем изменения ширины сепарационной зоны, расположения и размеров круглых отверстий.

С другой стороны, данное устройство может быть использовано в качестве предварительного аппарата перед фильтрами тонкой очистки. В работе проведен экономический расчёт расходов на закупку напольных и потолочных фильтров для улавливания мелкодисперсных частиц, а также на их утилизацию. В докладе показано, что стоимость фильтра размером 2×20 м составляет 18565,57 рублей. Однако расход потолочного фильтра, который необходим в месяц – 2×24 м. Следовательно, закупка потолочного фильтра требуемого размера для предприятия составляет 22278,69 рублей в месяц.

Стоимость закупаемых напольных фильтров размером 0,75×20 м составляет 3311,61 рублей, а его необходимый расход – 0,75×105 м. В месяц предприятие осуществляет 5 замен напольных фильтров. Таким образом, на закупку напольных фильтров требуемого размера предприятие расходует 86929,8 рублей в месяц.

По итогу, на закупку потолочных и напольных фильтров в месяц расходует 109208,5 рублей.

Известно, что отработанные фильтра собирают в контейнер и утилизируют общим количеством. Стоимость утилизации без их транспортировки в 2019 году за 16,6 т по цене 8643,87 руб./т составила 143488,2 рублей, в 2020 году 10,9 т по цене 9250 руб./т – 100825 рублей, а в 2021 году за 9,74 т по цене 9713 руб./т – 94604,62 рублей.

В результате проведенного расчета можно сделать вывод, что на эксплуатацию фильтров и их утилизацию предприятие осуществило расходы:

1. в 2019 году - 252696,7 рублей,
2. в 2020 году - 210033,5 рублей,
3. в 2021 году - 203813,12 рублей.

Таким образом, мультивихревой сепаратор с квадратными элементами может существенно снизить эксплуатационные затраты предприятий.

### **Источники**

1. Ефременко А.С., Халтаева Е.П. Применение золошлаковых отходов ТЭС при производстве высокопрочных легких бетонов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 8 (91). – С. 86-89.

2. Пат. 208304 Российская Федерация, МПК В04С 5/103. Мультивихревой сепаратор для очистки газов / Мадышев И.Н., Дмитриев А.В., Дмитриева О.С., Харьков В.В., Зинуров В.Э.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». – № 2021120725; заявл. 14.07.2021; опубл. 13.12.2021, Бюл. № 35. – 6 с.

3. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р., Биккулов Р.Я. Повышение энергоэффективности технологических линий по получению аэросила путем установки сепаратора с соосно расположенными трубами // Промышленная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 29-35.

4. Зинуров В.Э., Дмитриев А.В., Бадретдинова Г.Р., Биккулов Р.Я., Мадышев И.Н. Оценка энергетических затрат при улавливании мелкодисперсных частиц в сепараторе с соосно расположенными трубами // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25. – № 2. – С. 196-206.

УДК 330.342

## **ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Мубаракшина Р.Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
ruzilya.mubarakshina.01@mail.ru  
Науч. рук. доц. Филина О.В.

В тезисе описано влияние цифровой трансформации на деятельность предприятий, выделены основные характеристики цифровой экономики и проанализировано внедрение инновационных технологий в управления. Представлены примеры, в которых ключевую роль играют современные технологии. Рассмотрены недостатки цифровой экономики и их пути решения на сегодняшний день.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, предприятия, автоматизация, трансформация, управление.

Современный мир не стоит на месте, он постоянно совершенствуется, а вместе с ним и наши технологии. Новые открытия в различных областях создают основу для модернизации системы управления, анализа отдельных единиц и объектов. Стремительное развитие цифровых и информационных технологий привело к большим изменениям во всех ключевых сферах жизнедеятельности людей, в том числе и в экономике. На сегодняшний день, они являются важным фактором повышения конкурентоспособности, обеспечения роста качества жизни населения и так далее. Данные технологии открывают новые возможности и вносят изменения в макро- и микроэкономические процессы предприятий. Например, автоматизированная техника расчета больших данных и методы искусственного интеллекта находят применение в скоринговой системе банковских операций, а также внедрение системы автоматического управления позволяют снизить аварийность многих оборудования в энергетических предприятиях. [1] Мы можем заметить, как возникают новые модели и формы в экономике,

которые непосредственно оказывают влияние на дальнейшую деятельность любого предприятия. Например, цифровые услуги, передача данных через платформы, экономика совместного потребления. Данные технологии приобрели простой и эффективный характер работы, поэтому успешно применяются на предприятиях.

Целью нашего исследования является анализ влияния цифровой экономики на развитие энергетических предприятий.

В период перехода в Индустрию 4.0 основной задачей РФ является цифровизация многих отраслей промышленности. Процесс внедрения интеллектуальных информационных технологий требует затрат, связанных не только со временем, но и с изучением и подходом к реализации данных систем в работу предприятий. Это трудоемкий процесс, который в будущем станет основой для реализации других проектов.

Цифровая экономика представляет собой динамическое развитие, где увеличение количества цифровых процессов и их пользователей становится одним из двигателей во всех сферах управления. Применяя опыт зарубежных компаний, энергетические предприятия нацелены на автоматизацию и переход на цифровые технологии, что в сумме дадут положительный результат и прирост доходности. Это повлияет и на устойчивость развития предприятия.

Рассмотрим основные характеристики цифровой экономики:

- использование персонализированных сервисных систем;
- осуществление экономической деятельности через специальные цифровые платформы и экосистемы;
- глобализация и усиление конкурентной среды;
- повышение уровня социальности населения;
- прозрачность управления на предприятии и др. [2]

Как известно, одним из наиболее сложных технических объектов для управления являются энергетические комплексы. Они связывают множество технологических систем, которые включают в себя различные характеристики и принципы управления. Они взаимосвязаны друг с другом, поэтому работа одного может повлиять на остальные ее элементы. Несмотря на сложность работы, многие актуальные проблемы невозможно решить без перехода на новый этап управления, в котором используют инновационные и цифровые технологии.

Экономическая часть энергетических предприятий под влиянием этих изменений развивается и позволяет использовать новые мощности для достижения определенной цели. Внедряются различные усовершенствованные методы анализа финансовой деятельности, цифровые

платформы и программные продукты обеспечения для автоматизации управления. Освоение данных технологий помогает достигнуть определенных результатов в энергетических предприятиях. Увеличиваются и темпы объема генерируемых и обрабатываемых данных, которые повышают качество продукции и услуг. [3]

Кроме того, предприятия начали уделять особое внимание на нематериальные активы, которые на сегодняшний день являются главными драйверами эффективного развития [4]. Это тоже является одним из элементов цифровой экономики, которая присутствует и набирает положительные обороты среди различных компаний.

Однако цифровая экономика имеет не только положительные стороны, но и отрицательные. Мы выделили основные недостатки цифровой экономики в энергетических предприятиях:

- сокращение количества специалистов из-за появления многих новых технологий;
- отсутствие определенной квалификации и опыта работы с цифровыми технологиями;
- риск утечки важной информации, а также увеличение хакерской атаки;
- исчезновение на рынке труда многих профессий, специальностей;
- использование персональных данных для мошенничества и других запрещенных действий;

Данные проблемы существуют, но уже постепенно решаются с поддержкой государства, а именно реализацией проектов, грантов, предоставлением определенных льготных услуг. Государственная поддержка создает все необходимые условия для высокотехнологичного развития предприятий, укрепляет национальную экономику, внешнеэкономические связи и повышает качество жизни людей.

Таким образом, переход в цифровое общество непременно несет в себе изменения, которые влияют на деятельность всех отраслей жизнедеятельности, на общество в целом, на наше будущее. Развитие цифровой экономики может привести к кардинальным изменениям.

### **Источники**

1. Литовченко О.В. Цифровая экономика России и пути её развития // Вопросы устойчивого развития общества. – 2020. – № 2. – С. 98-108.
2. Стефанова Н.А. Основные тренды развития цифрового маркетинга // Вопросы устойчивого развития общества. – 2019. – № 1. – С. 96-99.
3. Семенистая Е.С., Леонова А.В. Подходы к решению задачи внедрения цифровой экономики (и цифровой энергетики в том числе)

в Российской Федерации // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4(51). – С. 141.

4. Юсупова И.В., Арзамасова А.Г., Селезнев Д.К. О реализации региональных составляющих национального проекта «цифровая экономика» в Республике Татарстан // Тинчуринские чтения-2020. Энергетика и цифровая трансформация: международная молодежная научная конференция: в 3 т., Том 3. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – С. 187-195.

УДК 338.45

## ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Мубаракшина Р.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ruzilya.mubarakshina.01@mail.ru

Науч. рук. доц. Валеева Ю.С.

В данной работе описана цифровая трансформация в энергетической отрасли, приведены ее ключевые элементы внедрения в различные предприятия. Проанализированы особенности цифровизации, основные факторы, а также области, которые открывают новые возможности развития современной энергетики. Показаны результаты, которые были достигнуты с помощью умных технологий. Представлены положительные и негативные характеристики цифровой трансформации.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, трансформация, умные технологии, производство, предприятия, научно-технический прогресс.

За несколько лет цифровая трансформация стала актуальной темой для многих промышленных предприятий. Она реализуется почти во всех сферах промышленности, включая пищевую и химическую, тепловую и энергетическую отрасль. Цифровая трансформация стала востребованным инструментом для реализации многих возможностей и перехода в постиндустриальное общество. Появление новых инновационных технологий, методов и повышение научно-технического прогресса повлияли на эффективность работы предприятий [1]. На сегодняшний день, цифровая трансформация создает условия для оптимального достижения цели, сокращения определенных издержек для производства продукции и увеличение прибыльности.

Целью исследования является анализ особенностей цифровой трансформации в энергетической отрасли.

Основным фактором успешной реализации такой трансформации является стратегический план, который используется для построения качественного управления, внедрения ESG- качеств и принципов, создающие основу для постоянного роста [2]. Одной из главных предпосылок цифровой трансформации стало активное взаимодействие нескольких отраслей между собой, а именно цифровое партнерство, позволяющее создавать и реализовывать продукт без больших затрат, а также быстро принимать решения в условиях меняющихся обстоятельств. Такие продукты привлекают потребителей и приносят положительный доход предпринимателям.

Энергетическая отрасль также стала ключевым элементом внедрения цифровых систем в производство. В рамках проекта уже создаются все необходимые условия, которые ведут к повышению цифровых компетенций среди работников предприятий. Государством реализуются стратегические программы, задача которых увеличить цифровизацию и разработать новый план дальнейшего развития с использованием инновационных технологий.

По некоторым прогнозам, цифровая трансформация через несколько лет поспособствует многим энергетическим предприятиям увеличить рост прибыльности примерно в 4 % в год. Рост будет достигнут за счет использования в процессе работы автоматизированных оборудований, усовершенствованных бизнес-процессов и т.д.

Для любой энергетической компании за счет перехода в цифровизацию открываются новые возможности в некоторых областях:

- управление жизненными циклами активов;
- оптимизация энергосети;
- персонализация электроэнергии;
- интегрированный подход к обслуживанию потребителей [3];

Также, цифровая трансформация может привести к появлению новых моделей с упором на экологическую составляющую и зеленую энергетику.

Применение умных технологий в режиме настоящего времени позволяют уже сейчас достичь определенных целей, а именно:

- уменьшить число внезапных аварий на предприятиях;
- повысить производительность;
- увеличить объемы производств;
- создать комфортные условия для работников предприятия [4];

Цифровая трансформация в энергетической отрасли является сложным процессом, которая требует немалых усилий. Она включает в себя не только положительные, но и негативно влияющие характеристики. Рассмотрим несколько основных проблем, которые являются препятствиями для цифровой трансформации.

1. Консервативная система управления. Многие предприятия сохраняют прежнюю форму управления, боясь перемен и рисков изменений.

2. Некомпетентность сотрудников производств. Переквалификация всех сотрудников требует не только затрат предприятий, но и потери времени для их подготовки к работе с цифровыми технологиями.

3. Угроза информационной безопасности. В век цифровых технологий персональная информация может быть украдена преступниками и использована против самого человека.

Таким образом, цифровая трансформация включает в себя множество задач, которые требуют особого внимания.

### **Источники**

1. Салько М. Г. Развитие инновационного потенциала цифровой трансформации предприятий топливно-энергетического комплекса // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. – 2021. – Т. 7. – № 2. – С. 200-218.

2. Основы цифровой экономики / Е. А. Деркачева, К. А. Карташов, Т. И. Козюбро [и др.]; Кубанский государственный технологический университет, Волгодонский инженерно-технический институт (филиал), Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», АНО «Международная ассоциация ученых, преподавателей и специалистов». – Краснодар: Индивидуальный предприниматель Кабанов Виктор Болеславович (Издательство "Новация"). – 2021. – С. 422.

3. Устойчивое развитие промышленности в условиях цифровой поляризации / Н. А. Симченко, Р. Р. Тимиргалеева, С. Ю. Цехла [и др.]. – Севастополь: Филиал МГУ в г. Севастополе. – 2022. – С. 242.

4. Проблемы и перспективы инновационного развития экономики в XXI веке: Материалы XX международной научно-практической конференции, Алушта, 14–19 сентября 2015 года. Алушта: ИП Семенова Е.А.. – 2015. – С.364.

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА

Мугинов А.М., Зинуров В.Э.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
awewerr@gmail.com, vadd\_93@mail.ru  
Науч. рук. доц. Дмитриев А. В.

В статье предложена конструкция сепарационного устройства – классификатора. Функция классификатора заключается в разделении твердых частиц с заданным граничным зерном, что может быть актуальным для предприятий энергетической отрасли. В частности, при добавлении различных присадок в топливо на тепловых электрических станциях. Для повышения эффективности данного процесса необходимо отсеивание наиболее крупных частиц. В статье представлен экономический эффект от внедрения классификатора.

**Ключевые слова:** классификатор, экономический эффект, разделение частиц, присадка.

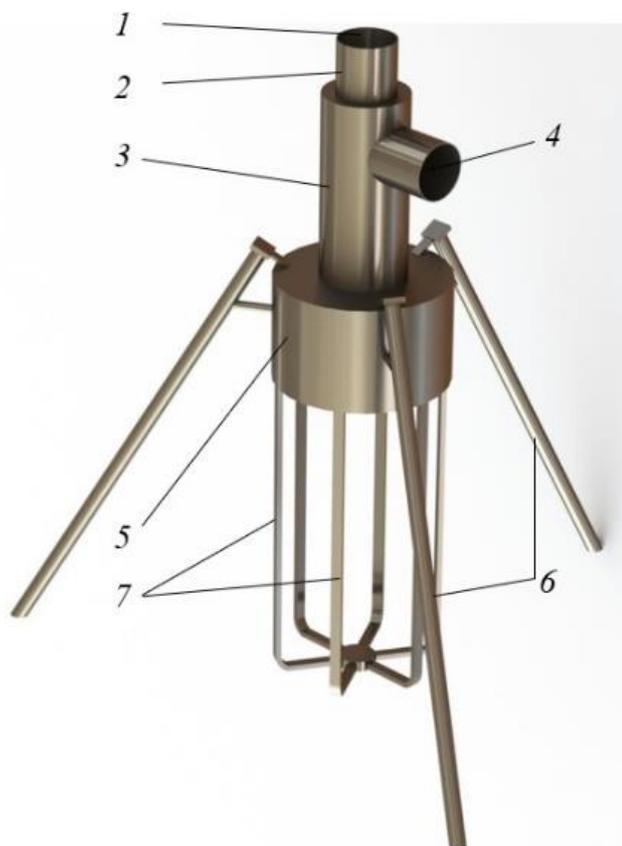
На нынешнем этапе развития экономики необходимо целесообразное внедрение новых инженерных разработок для повышения эффективности производства на предприятиях. Для успешной реализации мероприятий по внедрению новых аппаратов на энергетических, химических, нефтехимических и других предприятиях важной задачей является рассмотрение экономических аспектов [1, 2].

Предметом исследования является расчет экономической целесообразности внедрения классификатора с соосно расположенными трубами в производственную линию предприятия с минимальными затратами и с максимальной прибылью за счёт высокой эффективности классификатора [3].

Внешний вид классификатора с соосно расположенными трубами представлен на рисунке ниже [4, 5]. Функция классификатора заключается в разделении твердых частиц с заданным граничным зерном, что может быть актуальным для предприятий энергетической отрасли. В частности, при добавлении различных присадок в топливо на тепловых электрических станциях. Для повышения эффективности данного процесса необходимо отсеивание наиболее крупных частиц.

В ходе работы были рассчитаны основные затраты на внедрение классификатора с соосно расположенными трубами, которые включают в себя материальные затраты на изготовление классификатора, накладные

затраты, включающие в себя монтаж аппарата, установка классификатора, обустройство рабочих мест и помещений, и другие расходы. Были учтены расходы на обслуживание классификатора с соосно расположенными трубами, то есть затраты на ремонт аппарата, затраты на замену изношенных элементов. Были рассчитаны затраты на электроэнергию, учитывая мощность вентилятора технологической линии и предельно допустимый график технического обслуживания.



Цифровой двойник классификатора с соосно расположенными трубами: 1 – входной патрубком, 2 – внутренняя цилиндрическая труба, 3 – внешняя цилиндрическая труба, 4 – выходной патрубком, 5 – цилиндрическая часть, 6 – опоры, 7 – металлическая конструкция для съемной емкости

Экономическая эффективность интеграции оценивалась, основываясь на следующих экономических показателях: чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV – Net Present Value), индекс доходности (рентабельности) и дисконтированный срок окупаемости проекта. К тому же было учтено изменение ценности денежных средств с течением времени. Для этого был рассчитан коэффициент дисконтирования

Были рассчитаны коэффициенты абсолютной, текущей и промежуточной ликвидности предприятия.

Стоимость отдельных элементов классификатора и технологических операций

Элементы устройства	Кол-во, шт	Цена, руб./шт	Сумма, руб.
Внешняя цилиндрическая труба 159×5 мм стальная ГОСТ 8732-78	1	5 000	5 000
Внутренняя цилиндрическая труба 108×4 мм стальная ГОСТ 8732-78	1	4 000	4 000
Труба для цилиндрической части аппарата 325×8 мм стальная ГОСТ 8732-78	1	13 000	13 000
Лист металлический круглой формы для металлической конструкции 6 мм	1	1 500	1 500
Элементы для металлической конструкции	6	600	3 600
Опоры для классификатора	3	3 000	9 000
Съемная емкость	1	4 500	4 500
Металлическая шайба для межтрубного пространства	1	1 000	1 000
Технологическая операция	Стоимость, руб		
Резка металла	3 000		
Сварка	10 000		
Всего	53 600		

В итоге внедрение классификатора с соосно расположенными трубами дало предприятию прибыль от выполнения технического задания. Из-за того, что данная информация является конфиденциальной, примем, что финансовые потоки составляли около 70 000 руб. в месяц от применения 1 ед. классификатора. Срок окупаемости проекта по внедрению классификатора составил примерно 8 месяцев.

### Источники

1. Palo E., Iaquaniello G., Mosca L. Calculate the production costs of your own process // Catalysis, Green Chemistry and Sustainable Energy / ed. Basile A. et al. Elsevier, 2020. Vol. 179. P. 141–157.

2. Zinurov V., Dmitriev A., Kharkov V. Design of High-Efficiency Device for Gas Cleaning from Fine Solid Particles // Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering / ed. Radionov A.A., Gasiyarov V.R. Cham: Springer International Publishing, 2021. P. 378–385.

3. Singh S., Bakshi B.R. Chemical Engineering and Biogeochemical Cycles // Sustainability in the Design, Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes / ed. Ruiz-Mercado G., Cabezas Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes H.B.T.-S. in the D. Oxford: Elsevier. – 2016. – P. 275–294.

4. Зинуров В.Э., Галимова А.Р. Оценка экономической эффективности внедрения сепарационных устройств на предприятиях с покрасочными камерами // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2020. – № 12. – С. 50-59. DOI 10.46554/1993-0453-2020-12-194-50-59

5. Зинуров В.Э., Мадышев И.Н., Ивахненко А.Р., Петрова И.В. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами для разделения сыпучего материала на основе силикагеля // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 205-211. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.029>.

УДК 796:004:620.9

## **ТРЕНАЖЕРЫ-ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА КАК ЭЛЕМЕНТ «ЗЕЛЕНОГО МАРКЕТИНГА»**

Никифорович А.А., Зарипова Р.С.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
[zarim@rambler.ru](mailto:zarim@rambler.ru)

В настоящее время тема экологии становится популярной и актуальной. Одним из направлений является «зеленый маркетинг», целью которого является снижение антропогенной нагрузки на природу. Использование тренажеров-генераторов электроэнергии поможет не только сэкономить огромные суммы денежных средств на потребление энергии, но и принесёт пользу для природы.

**Ключевые слова:** тренажер, генератор, фитнес, сетевая компания, ТЭЦ, спорт, электричество, электромобили, экология, энергия, элемент питания.

Изучая работу компаний различных отраслей, большой интерес вызвала работа сетевой компании [1]. В частности, её станции быстрой зарядки электромобилей, использующие в своей работе электричество, поставляемое от станций ТЭЦ, которые в свою очередь работают на мазуте, природном газе и угле, а также их работа сопровождается вредными выбросами в атмосферу. Был поставлен вопрос – можно ли поставлять электричество более экологичным способом?

Решая этот вопрос, возникла следующая идея: использовать энтузиазм людей, которые занимаются в спортзалах [2]. На мировом рынке с 2013 года существуют тренажёры, которые преобразуют кинетическую энергию человека в электрическую [3]. Мы предлагаем сетевой компании сделать обычный фитнес-центр, но использовать в нём тренажёры, которые подключаются к станциям зарядки электромобилей (рис. 1). А клиентами зала станут люди, которых беспокоят проблемы окружающей среды и которые решат таким образом помочь природе и решить экологические задачи.

Проанализируем благоприятное влияние такого спорткомплекса на компанию по системе ESG. Рассматривая экологический сегмент, мы замечаем, что спорткомплекс является не только источником альтернативной энергии, но и центром для поддержки здоровья населения. Со стороны социального сегмента компании предлагается предоставлять своим сотрудникам абонемент на поход в такой фитнес-центр, тем самым предоставляя не только способ взаимодействия с коллегами вне работы, но и возможность развития тела [4].

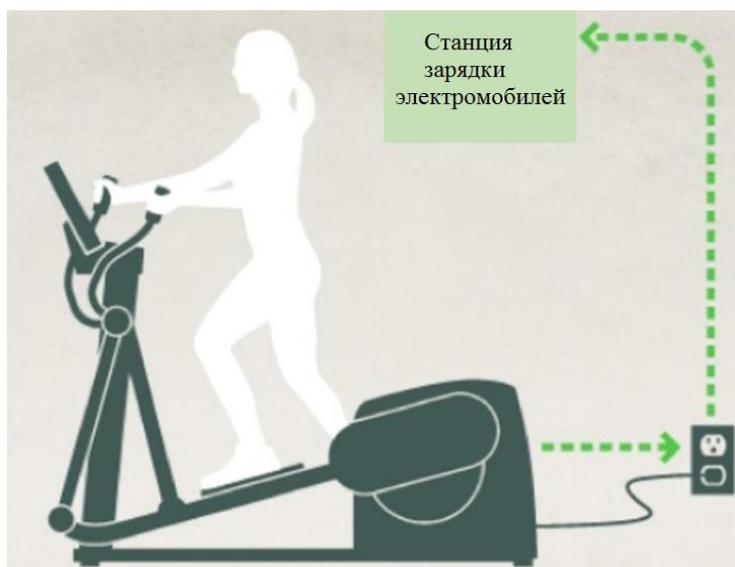


Рис.1. Тренажёры, подключающиеся к станциям зарядки электромобилей

Рассмотрим более подробно данный проект. Компания Sport Art уже разработала тренажёры, которые способны вырабатывать электричество. Сейчас в связи с санкциями цена на такие тренажёры порядком возросла [5]. Тем самым создались условия, когда необходимо разработать аналоги и запустить их в массовое производство [6]. Задумка такого фитнес-центра в том, что тренажёры, которые в нём находятся, подключаются к аккумуляторам, накапливающим электроэнергию. Эти аккумуляторы

подключены к станциям зарядки электромобилей. Таким образом человек может крутить педали на электротренажёре, а его кинетическая энергия будет накапливаться и через какое-то время поступать в электромобиль.

Перейдём на язык цифр. Тренажёр вырабатывает около 200 Ватт в час. В среднем тренажёр работает 8 часов в день. В фитнес-центре порядка 20 тренажеров. Популярный электромобиль Nissan Leaf требует для зарядки 40 кВт. Зал тренажёров вырабатывает 32 кВт в день. Уже сейчас в России количество электромобилей насчитывает 12290 штук. На каждые 100 км пути потребуется около 30 кВт/ч.

У данного проекта имеются положительные стороны. Энергия, вырабатываемая людьми будет накапливаться в аккумуляторах и поставляться в станции зарядки электромобилей, тем самым частично заменяя энергию, которую поставляют с ТЭЦ.

Таким образом, разработка не только увеличит ESG-показатели сетевой компании, но и положительно будет влиять на экологию и здоровье населения. Учитывая популяризацию электрозаправок и прогнозы на 2024 год, данный проект можно использовать не только в отношении одной компании.

### **Источники**

1. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Проблемы и перспективы внедрения информационных и управляющих систем для энергетических объектов / Сборник статей XX Всероссийской студенческой научно-практической конференции Нижневартковского государственного университета. 2018. – С. 147-149.

2. Никитина У.О., Зарипова Р.С. Влияние гаджетов на физическую активность студентов / *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2019. Т. 11. № 3-2. – С. 50-53.

3. Басаргин В.Я., Зарипова Р.С., Пырнова О.А. Влияние цифровых технологий на урбанизацию / Цифровая культура открытых городов: материалы Международной научно-практической конференции. Екатеринбург. 2018. – С. 13-15.

4. Асадуллина А.Д., Зарипова Р.С. Автоматизация учета услуг санаторно-оздоровительного комплекса в условиях цифровизации / *Наука Красноярья*. 2019. Т. 8. № 5-3. – С. 18-22.

5. Антипова Т.С., Зарипова Р.С. Основные направления импортозамещения в сфере информационных технологий в условиях санкций / *Инновационное развитие экономики. Будущее России:*

материалы и доклады VI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2019. – С. 142-145.

6. Зарипова Р.С., Алемасов Е.П. Применение алгоритмов и программных приложений в спорте / Физическая культура, спорт, туризм: наука, образование, информационные технологии: материалы Всероссийской с международным участием заочной научно-практической конференции. Казань, 2022. – С. 486-490.

УДК 620

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рыдзевская А.Д.  
БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь  
alina-rydzevskaya@mail.ru  
Науч. рук. ст. преп. Корсак Е.П.

В тезисе рассматривается трактовка понятия энергетической безопасности, а также определение влияния на обеспечение энергетической безопасности таких факторов, как энергетическая нестабильность и энергетическая зависимость.

**Ключевые слова:** энергетическая безопасность, энергетическая нестабильность, энергетическая зависимость, энергия.

На протяжении всей истории стратегические ресурсы обеспечивали динамичное развитие государства, иначе говоря, его существование и безопасность. Энергетическая безопасность играет решающую роль в определении уровня и качества жизни людей, проведении активной внешней и внутренней политики и обеспечении общей национальной безопасности.

Понятие «энергетическая безопасность» относится к способности страны обеспечивать адекватное, доступное и непрерывное снабжение энергией для последовательного и бесперебойного использования энергии бытовыми потребителями, а также в военных и промышленных целях. Энергетическая безопасность также связана с нынешними и будущими потребностями в энергии и гарантирует, что у потребителей никогда не возникнет дефицита энергии, несмотря на критические ситуации, такие как политическая нестабильность и экономический кризис [1].

Среди различных доступных типов или форм энергии, таких как солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная энергия, энергия водорода, энергия биомассы, энергия приливов, энергия волн и т. д.,

гидроэлектроэнергия и энергия ископаемого топлива, включая уголь, нефть и природный газ, играют важную роль в повседневной жизнедеятельности людей и крайне важны с точки зрения энергетической безопасности в современный период.

Ядерная энергия также считается идентичной многими странами, но безопасность использования ядерной энергии все еще является предметом споров, особенно в контексте отходов, которые она производит, и вопросов безопасности эксплуатации.

Концепция и вопросы энергетической безопасности обычно обсуждаются наравне с концепцией энергетической зависимости. Энергетическая зависимость относится к расчету доли потребления энергии, приводящей к зависимости от импортируемой энергии.

В конце концов, страны с низким потреблением энергии и низкой энергетической зависимостью имеют возможность достичь энергетической безопасности. Россия и Канада считаются энергетически обеспеченными странами, потому что у них есть избыток энергии, в то время как США страдают от энергетической нестабильности. Однако крупнейшими производителями невозобновляемой энергии в мире являются Россия, Китай и США.

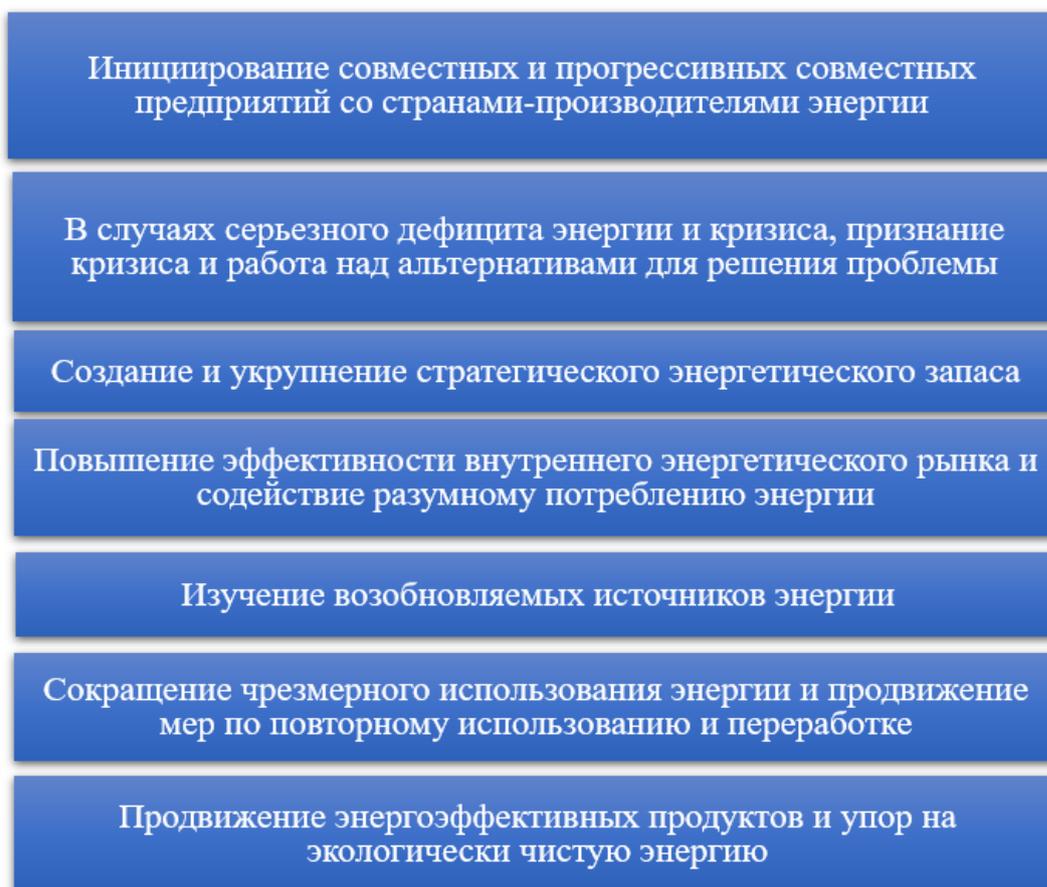
Страны с дефицитом энергии в конечном итоге сталкиваются с последствиями неадекватного энергоснабжения для бытового и промышленного использования, а также нехватки энергии для военных целей. Это в конечном итоге приводит к уязвимости с точки зрения расходования больших доходов на импорт энергии. Энергетическая нестабильность также влияет на другие сегменты, такие как здравоохранение, образование, сельское хозяйство и развитие страны, что приводит к непостоянности и хаосу среди ее граждан [1].

Основные факторы, ответственные за энергетическую нестабильность:

1. Отсутствие или меньшая доступность энергоснабжения.
2. Плохая экономика, ведущая к снижению спроса на энергию.
3. Дефицит энергии на мировом рынке влияет на импорт.
4. Правительственные постановления и двусторонние отношения.
5. Политическая нестабильность энергодобывающих стран.
6. Атака на инфраструктуру энергоснабжения.
7. Природные катаклизмы и терроризм.

Согласно различным систематическим исследованиям, статистика показывает, что современное использование энергии в мире в три раза превышает производство или поставку энергии, что приводит к хаосу

среди потребителей и конфликтам между странами [2]. Были предприняты многочисленные усилия, чтобы найти подходящие пути и альтернативы для решения проблем энергетической безопасности, и на рисунке приведены некоторые из возможных мер по эффективному обеспечению энергетической безопасности:



Меры по эффективному обеспечению энергетической безопасности

Необходимо отметить, что в современном мире, ориентированном на дальнейшую глобализацию и интеграцию, энергобезопасность во многом зависит от того, как выстроятся отношения между государствами и в какой мере совместные усилия позволят решить проблемы энергетической безопасности.

### **Источники**

1. Корсак, Е. П. Формирование системы угроз энергетической безопасности Республики Беларусь / Е. П. Корсак // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 388-398.

2. Рыдзевская, А. Д. Энергетическая безопасность в Контексте изменения климата и устойчивого развития / А. Д. Рыдзевская, В. В. Пирогова; науч. рук. Е. П. Корсак // Современные тенденции в развитии экономики энергетики: сборник материалов II Международной научно-практической конференции, 3 декабря 2021 г. / редкол.: Е. Г. Пономаренко (пред.) [и др.]. – Минск: БНТУ. – 2022. – С. 160.

УДК 332.02

## **О СОСТОЯНИИ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

Селезнев Д.К.<sup>1</sup>, Арзамасова А.Г.<sup>2</sup>, Юсупова И.В.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КХТИ», г. Казань, Россия

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

bigbossutrininos229@gmail.com, asaraf@mail.ru, selez2009.li@yandex.ru

Кадровое обеспечение предприятий промышленности в условиях конкурентной борьбы за трудовые ресурсы (или дефицита на рынке труда) приобретает особую остроту и значимость. Потенциал развития рынка труда во многом определяет система подготовки кадров. Согласно прогнозу потребности отраслей экономики Республики Татарстан, в подготовке по образовательным программам высшего и среднего профессионального образования кадровая потребность до 2028 года составит более 70 тысяч человек, в том числе специалистов со средним профессиональным образованием – более 51 тысяч человек, с высшим образованием – более 19 тысяч человек [1]. На территории Республики Татарстан функционирует 45 образовательных организаций высшего образования, 98 профессиональных образовательных организаций. Контингент студентов составляет более 213 тысяч человек [2]. Система профессионального образования Республики Татарстан работает на удовлетворение кадровых потребностей региона, ее задача – в полной мере соответствовать этим потребностям.

**Ключевые слова:** трудовые ресурсы, кадровый потенциал, рынок труда, система подготовки кадров, Республика Татарстан.

По данным исследований, проведенных Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по РТ, в среднем за апрель-июнь 2022 года численность рабочей силы Татарстана в возрасте 15 лет и старше составила 2026,8 тыс. человек, из них 1978,2 тыс. человек

были заняты в экономике и 48,6 тыс. человек или 2,4 % от численности рабочей силы не имели занятия, но активно его искали (в соответствии с методологией Международной Организации Труда они классифицируются как безработные) [3].

На начало 2022 года численность зарегистрированных безработных в Республике Татарстан составляла 11,4 тыс. человек [4]. Уровень регистрируемой безработицы составил 0,56 процента от численности рабочей силы республики (на 01.01.2021 – 1,9 процента) [5].

В составе безработных преобладает численность женщин (порядка 65 процентов), доля жителей, проживающих в сельской местности, составляет около 24 процентов, доля граждан предпенсионного возраста составляет порядка 20 процентов.

60 процентов учреждений высшего образования и 66 процентов профессиональных образовательных организаций ведут подготовку кадров для отрасли промышленности, на текущую дату – это более 92 тысяч студентов. Ежегодно учреждения профессионального образования выпускают более 45 тысяч студентов, из которых порядка 20 тысяч – для обеспечения потребностей промышленности. Вместе с тем к 2025 году планируется увеличение количества выпускников инженерно-технических специальностей на 35 процентов.

Значительная роль в обеспечении экономики Республики Татарстан кадрами отведена образовательным организациям высшего образования. Для эффективной интеграции образования и промышленности в Республике Татарстан успешна практика функционирования базовых кафедр вузов на предприятиях - функционируют 122 базовые кафедры.

Деятельность базовых кафедр осуществляется на основании договора о создании базовой кафедры между образовательной организацией и организацией – локализацией кафедры и направлена на:

- укрепление государственно-корпоративного партнерства в области подготовки специалистов;

- обеспечение высокого уровня и качества подготовки кадров, количественного состава кадров, соответствующего потребностям работодателей;

- интеграцию образования и производства, привлечение дополнительных источников финансирования для обновления материально-технической базы, объединение усилий в подготовке кадров.

Работодатели, предусматривающие привлечение иностранных работников, в соответствии с «Алгоритм действий по привлечению

в экономику Российской Федерации иностранных граждан, утвержденный протоколом заседания Оперативного штаба по предупреждению завоза и распространения новой коронавирусной инфекции на территории Российской Федерации от 9 сентября 2021 года № 19 кв» [6] размещают заявки о потребности в привлечении иностранных работников в единой цифровой платформе «Работа в России» (далее – Портал «Работа в России»).

Также в целях закрытия потребности работодателей в кадрах ежегодно организуется более 300 ярмарок вакансий и учебных рабочих мест.

Таким образом, в Республике Татарстан выстроена логичная, целостная, системная подготовка кадров, ориентированная на потребности рынка труда.

### **Источники**

1. Потребность работодателей в подготовке квалифицированных рабочих и специалистов [Электронный ресурс]. <https://mtsz.tatarstan.ru/potrebnost-rabotodateley-v-podgotovke.htm> (дата обращения: 10.09.22).

2. Отчет о деятельности исполнительных органов государственной власти Республики Татарстан за 2021 год [Электронный ресурс]. [https://gossov.tatarstan.ru/file/gossov/docs/other\\_20786.pdf](https://gossov.tatarstan.ru/file/gossov/docs/other_20786.pdf) (дата обращения: 10.09.22).

3. Татарстан входит в топ-пять регионов с наименьшим уровнем безработицы [Электронный ресурс]. <https://mtsz.tatarstan.ru/index.htm/news/2110401.htm> (дата обращения: 08.09.22).

4. Динамика численности безработных в Республике Татарстан на 01.10.2022 г. [Электронный ресурс]. [https://mtsz.tatarstan.ru/dinamika-chislennosti-zaregistrovannih.htm?pub\\_id=3397248](https://mtsz.tatarstan.ru/dinamika-chislennosti-zaregistrovannih.htm?pub_id=3397248) (дата обращения: 10.09.22).

5. Динамика численности зарегистрированных безработных и уровня безработицы [Электронный ресурс]. <https://mtsz.tatarstan.ru/dinamika-chislennosti-zaregistrovannih.htm> (дата обращения: 10.09.22).

6. Алгоритм действий по привлечению в экономику Российской Федерации иностранных граждан [Электронный ресурс]. <https://base.garant.ru/402855928/> (дата обращения: 10.09.22).

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АГЛОМЕРАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН С ПОЗИЦИИ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Селезнев Д.К.<sup>1</sup>, Арзамасова А.Г.<sup>2</sup>, Юсупова И.В.<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КХТИ», г. Казань, Россия

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

bigbossutrinos229@gmail.com, asaraf@mail.ru, selez2009.li@yandex.ru

**Аннотация.** Актуальность вопросов формирования и развития российских городских агломераций обусловлена тем, что в настоящее время практически во всех развитых странах агломерации стали ведущими формами территориальной организации и расселения. Городская агломерация дает новые возможности для развития входящих в нее поселений вне рамок административно-территориальных границ, для повышения эффективности использования трудового потенциала, повышения качества жизни населения, возникает эффект синергии. Вместе с тем, существует ряд ограничений, которые в настоящее время препятствуют полному раскрытию потенциала развития агломераций.

**Ключевые слова:** транспортная инфраструктура, пространственное развитие, инфраструктурные ограничения, агломерации, развитие агломераций.

Согласно Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года основой для обеспечения устойчивых транспортных связей между субъектами Российской Федерации, перспективными центрами экономического роста, а также для внешне-экономических связей является опорная транспортная сеть Российской Федерации совокупность магистральных путей сообщения и транспортных узлов. Формирование опорной транспортной сети Российской Федерации является необходимым условием решения стратегических задач развития и достижения национальных целей развития Российской Федерации, предусмотренных Указами Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» и от 21 июля 2020 года № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», целей национальных проектов «Безопасные и качественные автомобильные дороги», «Транспортная часть комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года», решения задач пространственного

развития Российской Федерации. Важным элементом опорной транспортной сети Российской Федерации и транспортной системы Российской Федерации в целом является опорная сеть автомобильных дорог Российской Федерации, формирование и развитие которой будет способствовать ликвидации инфраструктурных ограничений федерального и регионального значения, и, тем самым – росту транспортной обеспеченности территорий, экономическому развитию территорий, улучшению условий жизни населения (в три этапа: базовый – 2021 год; расширенный - до 2024 года, прогрессивный - до 2035 года).[1]

По информации Министерства транспорта Российской Федерации, по итогам формирования титульных списков автомобильных дорог, входящих в опорную сеть автомобильных дорог Российской Федерации (далее – опорная сеть автомобильных дорог), в соответствии с проектом Транспортной стратегии в редакции Указов Президента Российской Федерации от 19 июля 2018 года № 444; от 21 июля 2020 года № 474 и в соответствии с прогнозом на период до 2035 года и критериями включения автомобильных дорог в опорную сеть в её состав вошли 138 тыс. км автомобильных дорог, из них более 75 тыс. км - автомобильные дороги регионального значения и порядка 63 тыс. км - федерального значения. Перечни автомобильных дорог опорной сети сформированы во всех субъектах Российской Федерации. В рамках развития опорной сети планируется включение в неё в период до 2024 года дорожной сети 105 городских агломераций, приведение которых в нормативное транспортно-эксплуатационное состояние предусмотрено национальным проектом «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [2]. Реализация проектов развития опорной сети также обеспечит доступ к новым территориям для жилищного и промышленного строительства, оптимизацию маршрутов и снижение загруженности дорог, улучшение транспортной доступности ключевых точек входа международных транспортных коридоров.

В настоящее время, в соответствии с критериями отнесения автомобильных дорог к опорной сети в неё включены автодорожные обходы многих городов, в том числе обходы городов: Абакан, Калуга, Кемерово, Нальчик, Нижний Новгород, Одинцово, Пятигорск, Тюмень, Чебоксары. Кроме того, продолжается строительство обходов городов Владикавказ, Волгоград, Калининград, Нижнекамск, Набережные Челны, Тольятти. Строительство автодорожных обходов позволит разгрузить города от транзита, обеспечит новые возможности для жилищного строительства. Другим важным вопросом для развития инфраструктуры

субъектов Российской Федерации и муниципальных образований является развитие железных дорог. Этот вопрос особенно актуален для субъектов Российской Федерации, входящих в состав Дальневосточного федерального округа, где отмечается недостаточная провозная и пропускная способность железных дорог. Это является одним из основных факторов, сдерживающих развитие экономик указанных регионов.

Отмечаются следующие актуальные вопросы, требующие решения, и задачи в области развития инфраструктуры субъектов Российской Федерации и муниципальных образований во взаимосвязи с опорной сетью автомобильных дорог Российской Федерации:

1) необходимость совершенствования организационно-правовых механизмов обеспечения взаимной согласованности проектов по развитию транспортной и энергетической инфраструктуры, разрабатываемых на федеральном, региональном и муниципальном уровнях, с мероприятиями по комплексному развитию территорий субъектов Российской Федерации;

2) необходимость проработки вопроса об осуществлении на основе единых принципов и нормативов мероприятий по содержанию и развитию автомобильных дорог опорной сети;

3) необходимость совершенствования законодательного обеспечения взаимодействия органов публичной власти при реализации национальных проектов на местном уровне, предусматривая, в частности, полномочия федеральных и региональных органов государственной власти на осуществление мониторинга и контроля реализации мероприятий, осуществляемых в рамках национальных проектов на местном уровне;

4) необходимость обеспечения своевременной разработки стратегий социально-экономического развития макрорегионов как одного из ключевых условий планирования среднесрочного и долгосрочного развития инфраструктуры субъектов Российской Федерации и муниципальных образований;

5) необходимость совершенствования механизмов учета общественного мнения и обратной связи между гражданами, общественными объединениями и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, ответственными за развитие автомобильных дорог и дорожной деятельности.

Существенным фактором, затрудняющим создание и модернизацию приоритетных объектов инфраструктуры в субъектах Российской Федерации, является недостаточная бюджетная обеспеченность значительной части субъектов Российской Федерации, в том числе

с учетом предусмотренных объемов средств федерального бюджета на предоставление инфраструктурных бюджетных кредитов в 2021 году и на период 2022 - 2024 годов, что свидетельствует о необходимости разработки на федеральном уровне дополнительных мер, направленных на уменьшение дисбалансов бюджетной обеспеченности регионов.

Наиболее финансово-затратное направление развития агломераций – это развитие их общественной инфраструктуры. В настоящее время эффективному функционированию агломераций Республики Татарстан препятствует рассинхронизация планов жилищного строительства и создания общественной инфраструктуры муниципальных образований, входящих в агломерации, что влечёт за собой дисбаланс развития территорий, в том числе увеличение нагрузки на социальную, инженерную и транспортную инфраструктуру [3].

Основные коридоры, формирующие агломерационные процессы в г. Казани, состоят из 4 выездов из существующих 10. Это Горьковское шоссе, Дербышки, Мамадышский тракт, Оренбургский тракт. На данных выездах формируется 76 % от суточной нагрузки (265 000 авт./сут.) и 62 % от транспортной нагрузки в час пик (20 150 авт./час.) [4].

Для уменьшения нагрузки на уличную дорожную сеть города Казани от автомобильного пассажирского транспорта планируется реализация проекта «Организация кольцевого железнодорожного сообщения в городе Казани». Общая протяженность кольца составит 48 км и соединит 17 остановочных пунктов, в том числе два новых остановочных пункта: «Абжалилова» и «Торфяная». Принято решение о поэтапной реализации проекта. Первым этапом планируется организовать строительство третьего главного пути на участке станций Юдино – Дербышки (9,3 км.) и съезда в районе станции Новое Аракчино (2,5 км.). Ориентировочная стоимость реализации первого этапа проекта – 4,7 млрд. рублей. На сегодняшний день проектная документация первого этапа проекта находится в стадии прохождения ведомственной экспертизы в ОАО «РЖД» [5].

В связи с изложенным, предлагается:

- 1) рассмотреть вопрос о подготовке предложений о совершенствовании законодательного обеспечения взаимодействия органов публичной власти при реализации национальных проектов на местном уровне;

- 2) при разработке проектов стратегий социально-экономического развития Российской Федерации макрорегионов закрепить в них задачи и целевые показатели для оценки динамики и промежуточных результатов

решения задач по ликвидации инфраструктурных ограничений федерального, регионального (межмуниципального) и муниципального значения;

3) рассмотреть вопрос о взаимоувязке мероприятий по развитию опорной транспортной сети Российской Федерации с мероприятиями по созданию обеспечивающей инфраструктуры для туристских объектов;

4) рассмотреть вопрос о подготовке методических рекомендаций по учёту планов по развитию опорной транспортной сети Российской Федерации при разработке документов стратегического планирования субъектов Российской Федерации;

5) проработать вопрос о правовых механизмах обеспечения возможности заключения концессионного соглашения с двумя концедентами одновременно в целях создания объектов транспортной и иной инфраструктуры субъектов Российской Федерации и муниципальных образований.

### **Источники**

1. Юсупова И.В., Арзамасова А.Г., Селезнев Д.К. Актуальная повестка развития зарядной инфраструктуры для транспортных средств с электродвигателями в России // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2022. – № 3(66). – С. 123-136.

2. О развитии инфраструктуры субъектов Российской Федерации и муниципальных образований, по территориям которых проходят опорные магистрали [Электронный ресурс]. <http://council.gov.ru/activity/activities/roundtables/131074/> (дата обращения: 05.09.22).

3. Юсупова И.В., Шинкевич А.И., Арзамасова А.Г. О моделях управления развитием территорий агломераций // Экономический вестник Республики Татарстан. – 2022. – № 1. – С. 12-17.

4. О результатах деятельности дорожно-транспортного комплекса Республики Татарстан в 2021 году и задачах на 2022 год [Электронный ресурс].

[https://mindortrans.tatarstan.ru/file/mindortrans/File/%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%8B\(1\).pdf](https://mindortrans.tatarstan.ru/file/mindortrans/File/%D1%82%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%8B(1).pdf) (дата обращения: 05.09.22).

5. Итоги работы дорожно-транспортного комплекса Республики Татарстан за 2021 год и задачи на 2022 год. Казань 2022г., стр 38.

## «ЗЕЛЕНАЯ» ПОВЕСТКА В ЭНЕРГЕТИКЕ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Урванцев К.Д.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Krasavchikkonstantin222@gmail.com  
Науч. рук. доц. Януш О.Б.

В тезисе предложено описание антагонистических направлений в развитии энергетики – тренд на ESG – экологию, социальную политику и корпоративное управление, с одной стороны, и развитие традиционной энергетики – с другой. Автором высказывается мысль о том, что «зеленая энергетическая волна» в ближайшие годы не вытеснит всех производителей нефти и газа; в ее основе лежат инструменты лоббирования и политические факторы.

**Ключевые слова:** энергетический кризис, «зеленая» энергетика, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), ископаемое топливо, прогнозы.

Энергетический кризис 2021 г. стал шоком для многих стран, которые забыли, что энергетическая безопасность касается всех важнейших сфер общественной жизни (экономики, национальной безопасности, охраны окружающей среды и общественного здравоохранения). Энергоносители являются также самым востребованным товаром в мире, а их стоимость сказывается на ценах на все остальное. Стабильные цены и поставки энергоресурсов играют ключевую роль в глобальной экономической конкурентоспособности. От динамики цен на энергоресурсы и их наличия или дефицита существенно зависит рост национальных экономик.

Одной из ключевых причин наблюдаемого энергетического кризиса, по мнению обозревателя газеты Forbes А. Коэн, является «высокомерная» политика стран ЕС и желание любой ценой перейти на «зеленую» энергетику. Этот и многие другие эксперты выражают обеспокоенность по поводу поспешного перехода Европы от традиционных источников энергии (прежде всего, газа и угля) к ВИЭ [1]. Несмотря на то, что в непосредственной близости от Европейского континента (в Восточном Средиземноморье) были обнаружены новые крупные месторождения природного газа, европейские лидеры уступили давлению активистов природоохранных движений и не стали серьезно рассматривать возможность их разработки. Из-за закрытия атомных электростанций во многих европейских странах после аварии на АЭС «Фукусима» (например, в ФРГ – почти полностью) доля в энергобалансе ЕС этого надежного

и стабильного источника чистой энергии резко сократилась [2]. Генеральный план Европы по углеродной нейтральности подтолкнул государства – члены ЕС не заключать долгосрочных соглашений о поставках энергоносителей и перейти к краткосрочному ценообразованию. В результате нефть и газ стали более дорогостоящими для энергокомпаний и других потребителей, которые теперь ищут источники топлива [2]. Особенно сильно противоречия между требованиями экологичности и эффективности энергетики сказываются на функционировании предприятий коммунальной сферы. Поскольку европейские правительства требуют увеличения доли «зеленой» энергии в структуре энергопотребления, коммунальным предприятиям не разрешается выбирать наиболее экономически выгодные виды топлива. Кроме того, они должны поддерживать сеть всегда находящихся наготове резервных мощностей, работающих на ископаемом топливе – для обеспечения стабильного электроснабжения и предотвращения отключений электроэнергии. Поддержание этой резервной системы, которая простаивает, когда светит солнце и дует ветер, естественно, стоит больших денег.

Пандемия коронавируса обострила споры о необходимости и целесообразности скорейшей замены ископаемого топлива ВИЭ, а падение в первой половине 2020 г. спроса на нефть и газ породило множество прогнозов о том, что эра углеводородов заканчивается. Например, в прогнозе французской компании Total утверждается, что потребление нефти начнет падать уже в конце текущего десятилетия, а британская BP ожидает сокращения спроса после 2040 г. [3, 4, 5]. Однако каким образом человечество сможет в обозримой перспективе отказаться от нефти и газа, если до сих пор не решены технические и социально-экономические вопросы, связанные с таким переходом? Многие технологии «зеленой» энергетики находятся на стадии опытных образцов, до сих пор не созданы мощные и недорогие накопители энергии. Изыскания в этой области ведутся, но решения пока не найдены. Переход к «зеленой» энергетике активно лоббируется Евросоюзом и США. Вместе с тем в настоящее время 85 % мирового энергобаланса и 75 % в странах ЕС приходится на углеводороды. А для одного миллиарда человек на земле основным источником тепла и топливом для приготовления пищи остаются дрова [3, 4, 5]. Отмеченная тенденция, возможно, когда-нибудь и поменяется, но рассчитывать на то, что «зеленая энергетическая волна» в ближайшие годы вытеснит всех производителей нефти и газа, не приходится. Некоторый спад спроса на ископаемые энергоресурсы в 2020 «ковидном» году является результатом форс-мажорных обстоятельств и рассматривать его как тенденцию некорректно. Более того, пандемия неожиданно показала мировому сообществу вероятное

будущее без углеводородов – без полетов на самолетах и поездок на автомобилях. Как оказалось, жить без нефти и газа человечество пока не может.

### **Источники**

1. Green Energy -An Introduction January 2015; In book: Energy Science and Technology Opportunities and Challenges (pp.316-340); Edition: 1; Chapter: 12; Publisher: Stadium Press LLC, USA; Editors: Dr. Ram Prasad, Dr. Shivakumar, Dr. Umesh Chandra Sharma.

2. Белов А. Чем вызван энергетический кризис в ЕС и чего ждать США // Regnum. Foreign Policy. – 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/news/3390603.html> (дата обращения: 06.11.2022).

3. Тихонов С. Глава РЭА: РФ нет смысла ускоренно отказываться от ископаемого сырья // Российская газета. – 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2021/11/26/glava-rea-rf-netsmysla-uskorenno-otkazyvatsia-ot-iskopaемого-syria.html> (дата обращения: 27.10.2022).

4. Тихонов С. Куда ветер дует? Сможет ли «зеленая» энергетика победить нефть и газ // Российская газета. – 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2021/02/08/smozhet-li-zelenaia-energetika-pobedit-neft-i-gaz.html> (дата обращения: 30.10.2022).

5. Тихонов С. Поддержка возобновляемой энергетике до 2035 года составит 350 млрд рублей // Российская газета. – 2021. –[Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2021/03/23/podderzhkavozobnovliaemoj-energetiki-do-2035-goda-sostavit-350-mlrd-rublej.html> (дата обращения: 03.11.2022).

6. Ивановский Б.Г. Проблемы и перспективы перехода к «зеленой» энергетике: опыт разных стран мира // Энергетические и социальные проблемы России. – 2022. - № 1. – С. 58 – 78.

УДК 338.12

## **ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТРАСЛИ**

Хазиева А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[hazievaalsu6@gmail.com](mailto:hazievaalsu6@gmail.com)

Науч. рук. проф. Бурганов Р.А

В тезисе доклада будет рассмотрено влияние информационных технологий на энергетический комплекс в целом, о возможности повышения энергетической

эффективности за счет внедрения инновационной политики, а также последствия, к которым это может привести.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, энергетические ресурсы, оптимизация, конкурентоспособность, энергосбережение, информационные технологии, окупаемость ресурсов, потребление ресурсов.

Энергетический комплекс всегда играл важную роль в жизнеобеспечении населения Земли, но с течением времени стали возникать проблемы связанные с расточительным использованием энергоресурсов и повышением цен на них. Это обусловлено невозобновляемостью топливно-энергетических ресурсов, отсутствием альтернативы для них, а также с рисками в ходе их транспортировки и производства. Возникает необходимость пересмотреть политику потребления и расчета энергетических ресурсов промышленными предприятиями, поэтому для обеспечения максимального функционирования этого процесса при минимальных затратах используется показатель экономического роста – энергетическая эффективность.

Под понятием энергетическая эффективность подразумевают целесообразное использование энергоресурсов в ходе осуществления хозяйственной деятельности благодаря использованию наименьшего количества энергии при существующем уровне энергообеспечения. Этот показатель используется также для оценки технологического процесса, чтобы рассчитать потребления или потери энергетических ресурсов. Повышение энергоэффективности- показатель снижения производственных затрат, который сказывается на прибыли компании-производителя. Для ее осуществления проводят комплекс мероприятий по энергосбережению.

Энергосбережение - осуществление комплекса организационных, правовых, производственных, научных, технических, экономических и других мер, которые направлены на разумное использование и экономное потребление ТЭР и вовлечение в производство возобновляемых источников энергии, но на современном этапе развития общества появилась возможность с помощью информационных технологий контролировать энергообеспечение.

Информационный процесс, осуществляемый в энергетическом комплексе, позволяет просчитывать и прогнозировать энергопотребление на отдельных этапах производства; эффективно организовать, разработать, систематизировать и проанализировать внедрение энергосберегающих технологий в производство через разработку и внедрения программ по энергосбережению, улучшению энергетической эффективности

и контроль над развитием энергетической инфраструктуры. То есть для сотрудников энергогенерирующих предприятий проведение расчетов оплаты отпущенной энергии, учет проведенных оплат, расходы на функционирование оборудования и так далее производятся значительно проще, быстрее и точнее. Кроме того, процесс выплаты заработной платы сотрудникам становится не только прозрачным, но и простым, так как появляется возможность перехода на современные формы расчетов.

На сегодняшний день существует множество видов программного обеспечения, применяемых в энергетике, некоторые из них:

1. SCADA. Это телеметрическая система, осуществляющая дистанционный мониторинг нескольких параметров. Программа позволяет увидеть все, что происходит на удаленной станции с помощью диспетчерского контроля и сбора данных. Оператор получает возможность видеть и анализировать, полученную информацию, связанную с обслуживанием и оптимизацией, регулировать рабочие характеристики управляющей системы, а также управлять активами при этом, оставаясь в диспетчерской

2. Censore-Monitoring. Данное программное обеспечение в сфере энергетики позволяет собирать, хранить, обрабатывать, отображать и распределять информацию, а также дает возможность пользователям просмотреть состояние отчетов, графиков и диаграмм.

3. Прогнозирование потребления электросистемами энергии в краткосрочном периоде и тому подобное.

Аппаратное обеспечение. К ним относятся информационные носители, операционные системы, входящие в состав систем или сети электрические, механические, электронные устройства, высокотехнологичные и качественные устройства, не требующие большого финансирования.

Положительные свойства внедрения информационных технологий в энергетику для повышения эффективности заключаются в необходимости модернизации предприятий ТЭК, которые приведут не только к повышению энергосбережения, а значит и эффективности, но к существенным улучшениям организационной системы и контроля за предприятиями, что в конечном итоге делает его перспективным.

Существует также отрицательная сторона внедрения информационных технологий в энергетику для повышения эффективности, которая заключается в том, что на начальных этапах процесс внедрения весьма трудоемкий, а также требующий некоторых затрат. Установка необходимого оборудования и для мониторинга за деятельностью предприятия

требует времени, кроме того этот процесс скажется на кадровой системе, что может привести к сокращению сотрудников.

Таким образом, внедрение информационных технологий – это энергетический комплекс является большим шагом на пути его развития. Для осуществления энергосберегательного подхода необходима качественная система контроля над энергоемкостью, которая не может быть достигнута традиционными методами. Поэтому информатизация способна решить многие организационные, технические, технологические проблемы, возникающие в ходе производства энергии. Их использование

позволяет увеличить эффективность организации производства ТЭК, а значит, делает их конкурентоспособными.

### **Источники**

1.Бурганов, Р. А. Управленческая экономика: учебное пособие / Р.А. Бурганов. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 190 с. + Доп. материалы. — (Высшее образование: Магистратура). [Электронный ресурс] URL: <https://znanium.com/catalog/product/1047151> (дата обращения: 19.09.2022)

2.Energy intensity. Global Energy Statistical Yearbook 2021. – [Электронный ресурс] URL: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-energy-intensity-gdp-data.html> (дата обращения 18.09.2022)

3.Recaldea A.A., Alvarez-Alvaradoa M.S. Design optimization for reliability improvement in microgrids with wind – tidal – photovoltaic generation // Electric Power SystemsResearch. 2020. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.sciencedirect.com/science> (дата обращения 18.09.2022).

УДК 621.311

## **ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММ ДЕЙСТВИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Храмова И.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[ira.khramova99@mail.ru](mailto:ira.khramova99@mail.ru)

Науч. рук. проф. Бурганов Р.А.

Целью данной работы является изучение особенностей фактора эффективного управления программ действий в энергетике выраженного в повышении энергоэффективности. Объектом изучения является фактор эффективного управления программ действий в энергетике – фактор энергоэффективности. Обоснована актуальность и высокий интерес к данной области программ действий в сфере

энергетике. В рамках изучения данного вопроса по теме были использованы такие методы как анализ данных полученных из актуальных источников и синтез новых данных на основе этого анализа. Отдельно описаны этапы реализации программ действий и особенности их менеджмента с учетом особенностей энергетического рынка и специфических свойств энергии в качестве товара.

**Ключевые слова:** энергетика, менеджмент, эффективность, программ действий, энергоэффективность, проект, энергоноситель.

Энергетика является ключевой отраслью, формирующей ресурсы не только для коммунально-бытового сектора потребителей, но и для остальных отраслей промышленности. При этом, несмотря на обильный опыт использования энергетических объектов и их инфраструктуры, важной задачей является качественное и результативное правление проектами в данной области. Данная потребность вызвана стремительным развитием науки, техники и технологий требующих современных подходов к управлению и менеджменту в условиях современного бурно меняющегося уровня развития науки в целом. Таким образом, выявление ключевых факторов эффективности управления проектами в энергетике является актуальным вопросом как для энергетической, так и для всех остальных отраслей народного хозяйства по причине неразрывной связи их с текущим состоянием энергетики [1].

Производство энергетических ресурсов, так или иначе, сопряжено с конвертацией энергии из одного вида в другой, наиболее предпочтительный и удобный для использования его конечным потребителем. Как известно любой процесс конвертации сопряжен с потерями энергии, кроме того, зачастую в процессе транспортировки, хранения и корректировки свойств энергии или энергоносителя так же теряется часть энергии, оптимизация всех этих процессов с сопутствующим снижением доли потерь энергии является основным направлением последних лет, которое принято называть энергоэффективностью. Таким образом, одним из основных факторов эффективности и инструментов реализации эффективного управления проектами в энергетике является развитие в области энергоэффективности. Факторы, отражающие уровень энергосбережения, – оснащенность приборами учета энергоресурсов, потери в распределительных сетях, экономия от мероприятий по энергосбережению и др. Рассмотрим для примера факторы, отражающие уровень энергосбережения тепловой энергии. Фактор «Уровень потерь тепловой энергии» может оцениваться на основе индикаторов «Доля потерь тепловой энергии (отношение показателя «Потери тепловой энергии, тыс. Гкал» к показателю

«Отпущено тепловой энергии потребителям, тыс. Гкал») и «Потери тепловой энергии на 1 км тепловых сетей» (отношение показателя «Потери тепловой энергии, тыс. Гкал» к показателю «Протяженность тепловых и паровых сетей в двухтрубном исчислении, тыс. км»).

По своей структуре программы направленные на энергосбережение могут быть различными, как правило, это сложные, комплексные мероприятия, включающие в себя несколько этапов [2].

Некоторые из этих этапов являются обязательными для успешного достижения главной цели проекта, среди таких можно выделить основной начальный этап реализации проекта по энергоэффективности – энергоаудит. Данный этап подразумевает максимально информативное энергетическое обследование с целью выявления наиболее уязвимых мест требующих особого внимания в процессе реализации основной части проекта. Следующим ключевым этапом выступает разработка энергоэффективной модели в части рассматриваемой проблемы с учетом всех данных полученных в рамках энергоаудита. Данный этап является наиболее важным, ответственным и трудоемким, поскольку от его верности напрямую зависит результативность всего проекта. Далее переходят к этапу непосредственной реализации проекта, согласно разработанной модели. На данном этапе осуществляется изучение соответствующей документации, выполнение комплексного анализа и дальнейшего выстраивания деятельности предприятия путем организации технологических и административных процессов таким образом, чтобы обеспечить необходимый результат – эффективную работу объекта энергетики или, другими словами, его энергоэффективность.

Так же стоит отметить, что управление программ действий в энергетике имеет свои особенности по сравнению с традиционным подходом к менеджменту. В первую очередь это вызвано специфичностью такого ресурса как энергия, поскольку энергия не поддается эффективному накоплению и ее производство, транспортировку и потребление необходимо осуществлять здесь и сейчас. При этом количество произведенной энергии, превышающей потребление в настоящий момент фактически «выбрасывается» как в случае с электрической и тепловой энергией. Но, и нельзя допустить недостатка энергии, поскольку дефицит того или иного энергетического ресурса потребует отключения части потребителей, что является недопустимым для некоторых из них. Кроме того, нарушение стабильности работы энергетических объектов может вывести из строя как коммуникации, так и объекты энергетических потребителей из строя. Что особенно актуально в условиях климата Российской Федерации.

В конечном счете все нарушения в сфере работы электрических сетей и устройств отрицательно влияют на максимизацию прибыли [3].

Таким образом, можно утверждать, что одним из главных факторов эффективного управления программ действий в энергетике является обеспечение выбора перспективного направления, одним из которых является энергосбережение, поэтапный подход к реализации программ действий и ориентированный на результат качественный менеджмент.

### **Источники**

1. Жильцов С.А. и др. Оценка возможности применения гибких методов управления проектами в строительстве объектов энергетики //Экономика и предпринимательство. – 2019. – №. 8. – С. 604-607.

2. Коготкова И.З., Сороко Г.Я. Экспортный потенциал управления проектами энергетического сектора российской экономики //Приоритетные и перспективные направления научно-технического развития Российской Федерации. – 2021. – С. 35-38.

3. Бурганов Р.А. Энергопотребительская теория фирмы: монография. Москва: Проспект, 2021. – 96с.

УДК 621.396

### ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ ESP-01 В ДИСТАНЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р., Гимадиев А.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

alvkgeu@mail.ru, niaz-galimullin@mail.ru, azat.gimadiev.99@mail.ru

Беспроводные технологии представляют собой информационные технологии, осуществляющие передачу информации между несколькими точками, не используя проводной связи. Это могут быть различные оптические излучения или радиоволны. В работе представлен обзор WI-FI модуля ESP-01, его функциональные возможности, а также перспективы применения в дистанционных системах управления.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть WI-FI, микроконтроллер, дистанционные системы управления.

Современные управляющие беспроводные микропроцессорные системы становятся все более востребованными в силу своей высокой энергоэффективности. Микропроцессорные средства, беспроводные технологии активно внедряются и применяются во всех сферах нашего современного общества [1, 2, 3].

Все современные промышленные, жилищно-хозяйственные объекты оборудованы беспроводными сетями WI-FI. WI-FI представляет собой стандартное беспроводное подключение LAN, осуществляющее коммуникацию разных устройств базы IEEE802.11. Скорость передачи информации по этому подключению может достигать до 300 Мбит/с. Для того чтобы использовать данный метод связи необходим источник информации и приемник.

В качестве приемника информации может выступать WI-FI модуль ESP-01, схема которого представлена на рисунке 1. Основой данного модуля служит чипсет ESP8266EX. Помимо него, плата включает в себя микросхему flash-памяти объемом 2 Мб, кварцевый резонатор и дорожную антенну. ESP-01 изначально настроен на работу с помощью AT-команд по протоколу UART [4].

Ниже рассмотрены возможности применения модуля ESP-01 в управлении реле. Система дистанционного управления реле на основе модуля ESP-01 представляет собой систему управления многоканальным реле с применением беспроводных технологий.

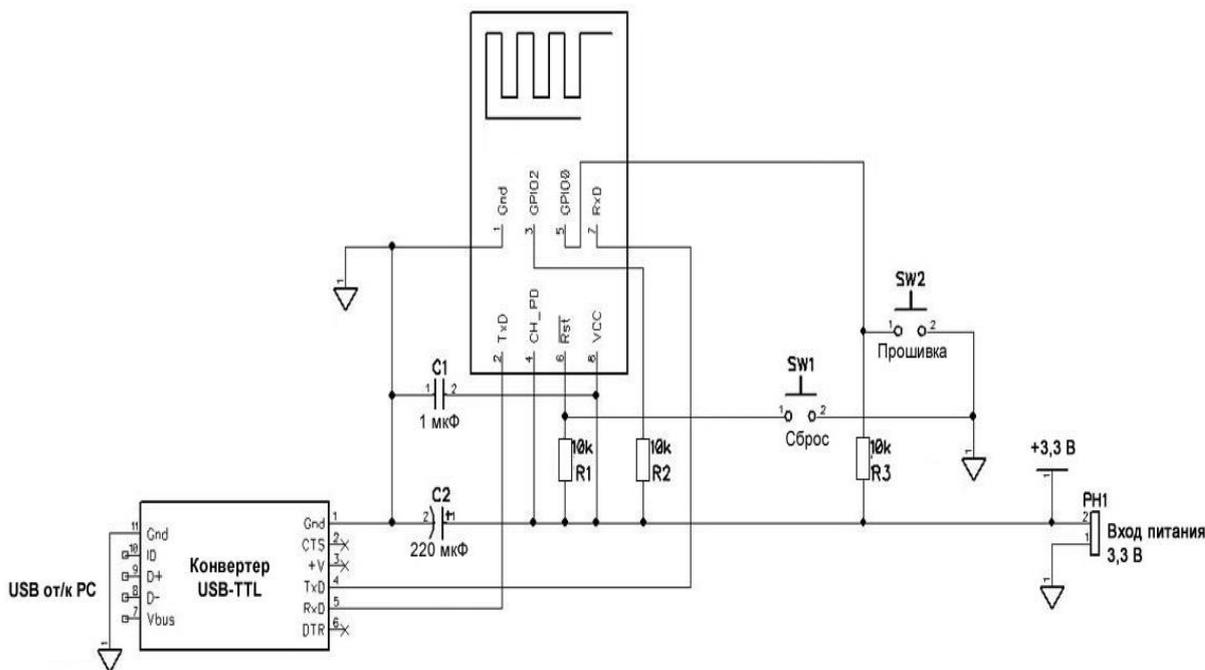


Рис. 1. Электрическая схема модуля ESP-01

Предлагаемая разработка устройства дистанционного управления реализована на платформе Arduino Mega 2560 с использованием модуля ESP-01[4]. Wi-Fi модуль ESP-01 выполняет функции приемника Wi-Fi сигнала со смартфона и функции последующей передачи информации на Arduino. Микроконтроллерное устройство Arduino Mega 2560 обрабатывает информацию с модуля ESP-01, а также управляет режимами работы реле. Модуль Реле 8-Chanl 3.3V Rely Module JQS-3FE-S-Z находит применение в качестве управляемого устройства. Пульт дистанционного управления реализует смартфон. Для данных целей подойдет любой смартфон, поддерживающий Wi-Fi 802.11 b/g/n. На рисунке 2 изображена структурная схема дистанционного устройства управления реле на базе модуля ESP-01.

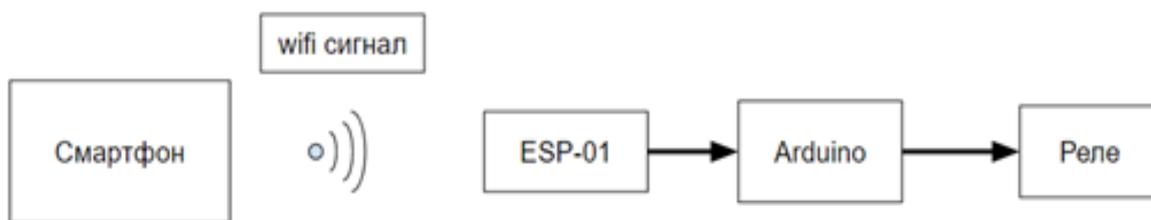


Рис. 2. Структурная схема системы дистанционного управления реле на базе модуля ESP-01

Программное обеспечение управления реле разработано в интегрированной среде разработки Arduino Mega 2560 IDE, на языке программирования C++. Для программирования дистанционного управления используется платформа Blynk. Основное ее назначение – создание доступной платформы для беспроводного управления электронными устройствами со смартфона.

В дальнейшем, разработанную систему дистанционного управления предполагается подготовить к внедрению в учебный процесс кафедры промышленной электроники и светотехники КГЭУ.

### Источники

1. Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р. Возможности режима широтно-импульсной модуляции в дистанционных системах управления. // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 12-й Всерос. научн.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. – С. 489–491.

2. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 2. – С. 117-127.

3. Non-contact methods for high-voltage insulation equipment diagnosis during operation / D. A. Ivanov, M. F. Sadykov, D. A. Yaroslavsky [et al.] // Energies. – 2021. – Vol. 14. – No 18. – DOI 10.3390/en14185670.

4. Белов А.В. Управление модулем Arduino по Wi-Fi с мобильных устройств. СПб.: Наука и Техника, 2020. – 496 с.

5. Проблемы, перспективы применения и методика расчета нормированной стоимости накопления электрической энергии / В.Д. Мельников, Г.Б. Нестеренко, Д.Е. Лебедев [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 4(44). – С. 30-36.

6. Секретарев, Ю.А. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов / Ю.А. Секретарев, В.М. Левин // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 4(44). – С. 55-63.

7. Виноградов, А.В. Потребности и задачи реализации проектов распределённой энергетики в агрохолдингах / А.В. Виноградов, А.Н. Васильев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 3(43). – С. 13-23.

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРОВ И SCADA-СИСТЕМ

Беляков К.Ю.

ЗАО «НИЦ «Инкомсистем», г. Казань, Россия

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

belyakov.kamil@mail.ru

Науч. рук. доц. Владимиров О.В.

В тезисе рассматривается предлагаемая схема электроснабжения с применением цифровых технологий, а именно применение программируемого логического контроллера (ПЛК) в связке со SCADA-системой для возможности дистанционного управления и мониторинга системы.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, ПЛК, SCADA, OPC.

В настоящий момент экономика России претерпевает масштабные реформы в виде внедрения цифровых технологий во многие сферы. Это также коснулось и электроэнергетического сектора.

Таким образом, на смену традиционным трансформаторным подстанциям приходят цифровые подстанции (ЦПС), аналоговые датчики заменяются на цифровые, а приборы учета с аналоговым принципом измерения заменяются на электронные приборы учета с цифровыми интерфейсами связи для дальнейшей интеграции на верхние уровни систем электроснабжения, например, SCADA, MES и ERP системы.

Рассматриваемая в данном тезисе система является открытой, распределенной с трехуровневой иерархической структурой (см. рисунок) [1, 4]:

нижний уровень (нулевой): исполнительные устройства и датчики;

средний уровень (первый): ПЛК, модули ввода/вывода с возможностью обмена данными по Fieldbus-сетям (Modbus, Profibus, CANbus и т.д.). Стоит отметить, что ПЛК собирает и обрабатывает информацию, затем реализует алгоритмы автоматического регулирования и программно-логического управления, защищает и блокирует процессы, а также обменивается данными с вышестоящим уровнем и реализует команды вышестоящего уровня;

верхний уровень (второй): автоматизированные рабочие места (АРМ) с установленными SCADA-пакетами и/или HMI панели, OPC-сервер. OPC (аббр. от англ. Open Platform Communications, ранее англ. OLE for Process

Control) – это набор программных технологий, которые предоставляют единый интерфейс для управления различными устройствами и обмена данными. OPC – это клиент-серверная технология. Программное обеспечение (ПО) сервера через специальные драйверы по полевым шинам выдает информацию при запросе от клиента. А программное обеспечение OPC клиента, как правило, уже встроено в программную оболочку SCADA системы и уже готово для работы с OPC сервером. Производителям SCADA систем достаточно реализовать поддержку OPC-клиента для того, чтобы была возможность устанавливать связь между различными устройствами, которые имеют свои собственные протоколы общения, а производителям устройств – добавить реализацию OPC сервера, чтобы быть уверенным, что их устройства смогут взаимодействовать с любыми SCADA системами.



Структура системы электроснабжения с применением ПЛК и SCADA системы

Рассмотренная система позволит:

1. Снизить количество шкафного оборудования, в следствие чего повышается надежность всей системы, так как исключаются промежуточные слабые звенья. Также дополнительное увеличение параметра надежности вносит применение электронных устройств, а именно твердотельных (ТТ) реле вместо традиционных электромагнитных (ЭМ), так как интенсивность отказов у реле  $16,5 \cdot 10^{-6}$  1/час, а у транзисторов,

из которых состоят твердотельные,  $10 \cdot 10^{-6}$ , из чего вероятность безотказной работы в течении 16000 часов эксплуатации будет равна:

$$P_{\text{ТТ}} = e^{-0,16} = 0,852 = 85,2\%$$

$$P_{\text{ЭМ}} = e^{-0,264} = 0,768 = 76,8\%$$

2. Уменьшить ручной труд по снятию показаний с приборов учета, так все параметры передаются по цифровым каналам связи на ПЛК с дальнейшей передачей их на верхний уровень автоматизированной системы управления;

3. Снизить капитальные затраты на систему, ее модернизацию, техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) за счет уменьшения количества обслуживаемого оборудования, а также внедрение более надежного ПЛК в замену традиционным реле, что, в свою очередь, снижает количество используемой кабельной продукции

### Источники

1. Большев В. Е., Виноградов А. В. Перспективные коммуникационные технологии для автоматизации сетей электроснабжения // Вестник КГЭУ. 2019. № 2 (42). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnyye-kommunikatsionnye-tehnologii-dlya-avtomatizatsii-setey-elektrosnabzheniya> (дата обращения: 03.05.2022).

2. Дубков, И. С. Решение практических задач на базе технологии интернета вещей: учебное пособие / И. С. Дубков, П. С. Сташевский, И. Н. Яковина. — Новосибирск: НГТУ, 2017. — 80 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/118206> (дата обращения: 29.05.2021).

3. Стушкина Наталья Алексеевна, Силайчев Сергей Павлович Применение информационных технологий для создания Интеллектуальных сетей электроснабжения сельских потребителей // Агроинженерия. 2017. № 5 (81). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-informatsionnyh-tehnologiy-dlya-sozdaniya-intellektualnyh-setey-elektrosnabzheniya-selskih-potrebiteley> (дата обращения: 03.05.2022).

4. Yurui Hu Development and Realization of Electrical Automation Control System // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. – 2143. № 1. – P. 1-6.

## ГЕНЕРИРУЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ В ИЗОЛИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Бончук И.А.

Филиал АО «СО ЕЭС» Балтийское РДУ, г. Калининград, Россия

ilyabonchuk@mail.ru

Мероприятия, связанные со строительством новых генерирующих мощностей, являются экономически затратными, из-за чего задача снижения выработки паркового ресурса генерирующего оборудования в изолированных энергосистемах России является актуальной. Решить данную задачу можно путем выбора оптимального состава включенного генерирующего оборудования и режима его работы. Но при этом необходимо соблюдать ряд условий: обеспечение нормативных требований по резервам активной мощности, наработка генерирующего оборудования, экономическая составляющая генерирующего оборудования (КПД) и прочее. Основные результаты полученные при решении данной задачи приведены в работе.

**Ключевые слова:** изолированная энергосистема, парковый ресурс, резервы, оптимизация, экономический эффект.

В изолированных энергосистемах (ЭС) России парковый ресурс газотурбинных установок (ГТУ) будет выработан через 10-15 лет [1]. Связано это с особенностями данных ЭС: в покрытии суточного графика потребления участвует практически один и тот же состав генерирующего оборудования (ГО), а при аварийных возмущениях активируются собственные резервы активной мощности на заранее выбранном ГО.

В зависимости от режима работы ГО, завод-изготовитель регламентирует наработку однотипных по конструкции, маркам стали и условиям эксплуатации элементов теплоэнергетического оборудования, в пределах которой обеспечивается их безаварийная работа [2]. При достижении наработки определенного значения ГО выводится в ремонт. Самым экономически затратным является капитальный ремонт (главная инспекция ГО). По этой причине для электростанции основной задачей является увеличение интервалов между главными инспекциями. Достичь этого можно не только за счет технических мероприятий, но и путем выбора оптимального состава включенного ГО.

В изолированной ЭС при выборе состава включенного ГО важно учесть не только экономическую составляющую, но и чтобы регулировочный диапазон выбранного ГО обеспечивал выполнение нормативных требований по резервам активной мощности (АМ).

В виду того, что для изолированных ЭС России отсутствуют четкие нормативные требования по резервам АМ, на примере в будущем изолированной ЭС Калининградской области разработаны данные требования (табл. 1).

Таблица 1

Нормативные требования по резервам активной мощности  
в изолированной ЭС Калининградской области

Вид резерва		Методика определения
Вторичный резерв (ВВР)	На загрузку	$PBR_{загр} = \max(P_{ГО}^{ПА}; R)$
	На разгрузку	$PBR_{разгр} = R$
Третичный резерв (ТРР)	На загрузку	$PTR_{загр} = PBR_{загр} + \Delta_{прогноз} + P_{ГО}$
	На разгрузку	$PTR_{разгр} = PBR_{разгр} + \Delta_{прогноз} + P_{нагр}$

где  $P_{ГО}^{ПА}$  – расчетный небаланс мощности, связанный с отключением генерирующего оборудования с наибольшей фактической загрузкой, с учетом реализации управляющих воздействий ПА (за исключением АЧР), МВт;

$R$  – нерегулярные отклонения мощности и динамической погрешности регулирования баланса мощности, МВт<sup>1/2</sup>;  $\Delta_{прогноз}$  – статистическая величина погрешности прогнозирования потребления активной мощности (0,5-2,5 % от потребления ЭС), МВт;  $P_{ГО}$  – расчетный небаланс мощности, связанный с отключением генерирующего оборудования с наибольшей рабочей мощностью в области регулирования, следующего за отключением, предусмотренным при ВВР на загрузку без учета ПА и с учетом времени набора мощности генерирующим оборудованием, находящимся в резерве (с временем набора мощности 20 минут), МВт;  $P_{нагр}$  – расчетный небаланс мощности, связанный с отключением нагрузки потребителя (совокупности потребителей) с наибольшей мощностью потребления, МВт.

При определении главной составляющей (1) нормативных требований, применен вероятностно-статистический метод расчета электрических нагрузок [3]. При обработке исходных данных 14 региональных и 5 объединенных ЭС России расчетным путем получены три новые значения коэффициента  $k$ , в зависимости от величины потребления:  $k = 2$  ( $P_{потр} < 2500$  МВт);  $k = 4$  ( $2500$  МВт  $< P_{потр} < 11000$  МВт);  $k = 6$  ( $P_{потр} > 11000$  МВт) [3].

$$R = k \cdot \sqrt{P_{потр}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{потр}}$  – активная мощность потребления, МВт;  $k$  – коэффициент, зависящий от скорости изменения потребления активной мощности в области регулирования.

С учетом разработанных требований, суточного графика потребления, КПД ГО и наработки ГО решалась задача выбора оптимального состава ГО. Решение находилось с применением методов аналитической комбинаторики и методов вычислительной оптимизации. Проанализированы все возможные 8178 вариантов составов ГО в ЭС Калининградской области. Определен оптимальный состав ГО и режим его работы. При этом выявлена особенность режима работы ГО: три месяца в году один энергоблок регулирующей частоту электростанции [4] работает непрерывно, а второй энергоблок этой же электростанции работает с ежесуточным включением на 5-6 часов. Данный режим работы ГО позволяет один раз в четыре года выполнять главную инспекцию ГО и при этом средневзвешенный по ЭС удельный расход топлива за сутки составит около 279 г/кВт·ч.

### **Источники**

1. Белов А.О. Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития// Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика», 2021. Т. 21, № 4. – С. 48–56.

2. РД 10-577-03. Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. М., ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», – 2004.

3. Бончук И.А. Методические основы определения нерегулярных отклонений мощности и динамической погрешности регулирования баланса мощности// Известия РАН. Энергетика, 2022, № 5. – С. 49-61.

УДК 620.92

## **ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНОГО РЫНКА РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ВИЭ**

Валеева Г.Р., Стародубец А.А.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Guzel-valeeva-99@mail.ru, TemaStar13@yandex.ru  
Науч. рук. доц. Аухадеев А.Э.

В тезисе представлен анализ и оценка глобального рынка технологий ВИЭ, которая позволяет оценить положение технологии в мире на сегодняшний день, а также

прогнозировать развитие ВИЭ на ближайшие годы. По данным оценки глобального рынка был оценен масштаб, распространённость технологии, выделены технологии, которые могут получить быстрое развитие в ближайшее десятилетие (технологии-лидеры развития).

**Ключевые слова:** Возобновляемая энергетика, ВИЭ, технологи, глобальный рынок технологий, перспективы развития ВИЭ.

На сегодняшний день энергетика переходит от традиционной к цифровой, к более современной и технологичной, которая способна обеспечить надежное и качественное энергоснабжение. Одной из задач «новой» энергетике – это использование возобновляемых источников энергии с системами накопления энергии и интеллектуальными сетями.

Спрос на электроэнергию широко растет во всем мире, и для удовлетворения спроса на электроэнергию правительство широко полагается на возобновляемые источники энергии. Развертывание этой формы энергии широко увеличивается во всем мире.

Объем электроэнергии, выработанной с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), увеличивается с каждым годом. Мировые энергосистемы выбирают путь цифровой трансформации, отвечая на современные вызовы ограниченности ископаемого топлива, необходимости обеспечения устойчивости развития и сохранения благоприятной экологической обстановки. Новые материалы и технологии, используемые для создания генерирующих мощностей на базе ВИЭ, позволяют им конкурировать с традиционными источниками энергии. К этой тенденции необходимо отнестись очень внимательно, так как на данный момент времени позиции ВИЭ в России очень слабы, вследствие больших запасов углеводородного топлива. При этом необходимость диверсификации энергетических активов на фоне использования особенностей возобновляемой энергетике, таких как возможность создания распределенных генерирующих мощностей на их базе, неизбежна. И в то же время, когда энергосистемы других стран с высокой интеграцией ВИЭ станут активно использовать преимущества экологически чистых и безопасных источников энергии, наша страна может оказаться «неготовой» в связи с низким уровнем поддержки технологий ВИЭ.

Одним из главных пунктов оценка перспектив развития технологий является оценка глобального рынка технологий направлений ВИЭ. Данные оценки глобального рынка, а также перспектив развития технологии на мировом рынке представлено в Таблице 1.

## Оценка глобального рынка технологий ВИЭ

ВИЭ	Оценка глобального рынка
Солнечная энергетика	Глобальный размер рынка солнечной энергии в 2020 году составил 170,55 миллиарда долларов США. Глобальное воздействие COVID-19 было беспрецедентным и ошеломляющим, а солнечная энергия стала свидетелем негативного шока спроса во всех регионах на фоне пандемии. Рынок солнечной энергетики имел стагнационный рост на 4,18 % в 2020 году по сравнению со средним годовым ростом в течение 2017-2019 годов. Также ожидается рост рынка солнечной энергетики с 184,03 млрд долларов США в 2021 году до 293,18 млрд. долларов США в 2028 году при CAGR 6,9 % в период 2021-2028 годов. Внезапный рост CAGR (совокупный среднегодовой темп роста) объясняется спросом и ростом этого рынка, возвращающимся к предпандемическим уровням после окончания пандемии[1].
Гидроэнергетика	Мировой рынок гидроэнергетики был оценен в \$ 202,4 млрд в 2019 году и, по прогнозам, достигнет \$ 317,8 млрд к 2027 году, увеличившись в среднем на 5,9% с 2020 по 2027 год[2].
Биотопливо	Объем мирового рынка биогаза, производимого из отходов, в 2020 году оценивался в 52,9 миллиарда долларов, а к 2030 году, по прогнозам, достигнет 126,2 миллиарда долларов, увеличившись в среднем на 8,5% с 2021 по 2030 год [3][4].
Геотермальная энергетика	Размер рынка геотермальной энергии составил 52,87 миллиарда долларов США в 2020 году. Ожидается, что рынок вырастет с 55,80 млрд долларов США в 2021 году до 83,27 млрд долларов США в 2028 году при 5,9% CAGR в течение 2021-2028 годов. В Европе в период с 2010 по 2019 год в среднем вводилось в эксплуатацию 12 новых проектов каждый год, но в 2020 году ни один проект не был одобрен в этом секторе. Развитие в этой отрасли было остановлено в 2020 году в Европе, и только два существующих проекта были завершены[5].
Ветроэнергетика	Объем мирового рынка ветроэнергетики был оценен в 62,1 млрд. долларов в 2019 году и, по прогнозам, достигнет 127,2 млрд. долларов к 2027 году, увеличившись на 9,3% с 2020 по 2027 год[6].
Водород	Спрос на глобальный размер и долю рынка зеленого водорода составил примерно 0,8 миллиарда долларов США в 2021 году и, по оценкам, достигнет около 10,2 миллиарда долларов США к концу 2028 года, зарегистрировав CAGR 55,2% в течение периода (2022-2028).

Данные оценки глобального рынка позволяют нам оценить охват и масштаб развития технологий ВИЭ в мире, а прогнозные значения позволяют оценить перспективы и масштабы дальнейшего развития.

По данным оценки глобального рынка технологий ВИЭ можно сделать вывод, что взрывное развитие получат водородные технологии, а высокие темпы развития получат ветроэнергетика и биотопливо.

### **Источники**

1. Renewable Energy Prospects for Russian Federation // Working paper, IRENA, Abu Dhabi, April 2017. [Электронный ресурс]. URL: [www.irena.org/remap](http://www.irena.org/remap)

2. RENEWABLES 2021 GLOBAL STATUS REPORT/ [Электронный ресурс]. URL: [https://www.ren21.net/gsr2021/chapters/chapter\\_03/chapter\\_03/#start-hydropower](https://www.ren21.net/gsr2021/chapters/chapter_03/chapter_03/#start-hydropower)

3. Renewable Biomass Energy. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iitmicrogrid.net/microgrid/pdf/papers/renewables/BiomassEnergy>.

4. Stephens JC, Justo S: Assessing innovation in emerging energy technologies: socio-technical dynamics of carbon capture and storage (CCS) and enhanced geothermal systems (EGS) in the USA. EnergyPolicy 2010, 38: 2020–2031. 10.1016/j.enpol.2009.12.003

5. Geothermal Energy Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Type (Binary Cycle, Flash, Dry Steam, and Others, By Application (Residential, Commercial, Industrial, and Others), and Regional Forecast, 2021-2028 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fortunebusinessinsights.com/amp/geothermal-energy-market-106341>

6. Kashapov N.F., Sabitov L.S., Auhadeev A.E., Litvienko R.S., Pavlov P.P. New methodological approach to the development of the theory of electric traction of urban electric transport. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012041.

УДК 620.93

## **МОНИТОРИНГ, ДИАГНОСТИКА В УПРАВЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ НУЖД КОТЕЛЬНОЙ «ГОРКИ»**

Воробьев Н.А., Хамидулина Г.Х.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
[frankfurtin44@mail.ru](mailto:frankfurtin44@mail.ru), [i.galiya@mail.ru](mailto:i.galiya@mail.ru)  
Науч.рук. доц. Миронова Е.А.

В тезисе рассмотрены подключение газопоршневой установки (ГПУ) мощностью 1МВт в качестве дополнительного внешнего источника питания

собственных нужд (СН) котельной. Установка ГПУ предназначается для повышения надежности внешнего электроснабжения. Для повышения надежности схемы внутреннего электроснабжения СН предлагается внедрить автоматизированную систему управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО) 0,4-10 кВ.

**Ключевые слова:** СН, параллельная работа, реконструкция, ГПУ, выдача мощности, АСУ ЭТО.

Котельная «Горки» предназначена для выработки тепловой энергии необходимой для обеспечения потребностей г. Казани Приволжского района.

За время работы котельной были зафиксированы неоднократные нарушения во внешнем электроснабжении, приводившие к аварийному отключению источника теплоты и недопоставке тепловой энергии потребителям в зоне его действия. Прекращения подачи электроэнергии обусловлены периодическими «просадками» напряжения или отключениями со стороны ОАО «Сетевая компания» Казанские Электрические Сети.

В 2020 году был реализован проект установки газопоршневого устройства (ГПУ) на действующей котельной «Горки» с целью повышения энергоэффективности и надежности работы котельной при авариях во внешней сети.

Для подключения ГПУ к электрической сети были выполнены расчеты перетоков мощностей и расчеты токов КЗ для максимального и минимального режима для трех вариантов подключения ГПУ:

Вариант № 1 – подключение ГПУ мощностью 1000кВт к 1 секции шин (1СШ) и ко второй секции шин (2СШ) РУ-0,4кВ (выдача мощности на 0,4кВ);

Вариант № 2 – подключение ГПУ мощностью 1000кВт через повышающий трансформатор 1250/0,4/10кВ (выдача мощности на 10кВ);

Вариант № 3 – подключение ГПУ мощностью 2х500кВт на 1СШ и 2СШ РУ-0,4кВ (выдача мощности на 0,4кВ).

Оптимальным был принят Вариант № 2 с выдачей мощности на сторону 10 кВ. Реконструкция существующих сетей ОАО «Сетевая компания» не потребовалась.

Питание собственных нужд газопоршневой когенерационной электростанции осуществляется от 1 и 2 секции РУ-0,4 кВ котельной [1].

Параллельная работа ГПУ и общественной сети осуществляется под управлением контроллера DEIF. На контроллер приходит информация с датчиков тока и напряжения общественной сети (с вводных выключателей 1СШ и 2СШ РУ-10кВ), датчиков тока и напряжения генератора. При пуске ГПУ контроллер синхронизирует напряжение генератора с напряжением сети по амплитуде, углу и частоте, выключатель

генератора отключен. При достижении синхронизма, контроллер подает команду на выключатель генератора 0,4 кВ на включение, происходит подключение к общим шинам. Генератор и сеть работают параллельно. Для предотвращения экспорта электрической энергии в общественную сеть мощность ГПУ выбрана меньше питающей нагрузки. При аварийном отключении питания общественной сети, контроллер отключает выключатель сети для предотвращения появления несинхронизированного напряжения и серьезных аварий и переходит в островной режим работы. При появлении общественной сети, контроллер синхронизирует свою работу с сетью и только потом включает выключатель сети.

Для подключения и установки ГПУ была выполнена модернизация распределительных устройств собственных нужд РУ-10кВ и РУ-0,4кВ, а также проведены демонтажные работы в районе установки ГПУ.

Внедрение АСУ ЭТО собственных нужд котельной (РУ-10кВ, РУ-0,4кВ, трансформаторы силовые 10/0,4кВ) позволит обеспечить:

- необходимый уровень безопасности и безаварийности;
- требуемую точность измерений, достоверность, достаточность и своевременность предоставляемой оперативной информации о протекании процессов, состоянии электротехнического оборудования в различных режимах;
- приспособляемость к возможным изменениям технологического процесса (различные переключения, в том числе автоматический пуск резервного насоса) и алгоритмов управления (прямой пуск ил пуск насосов через преобразователь частоты), своевременное выявление неполадок и отклонений;
- улучшение культуры труда оперативного и обслуживающего персонала;
- предотвращение ошибочных действий персонала путем своевременной сигнализации;
- повышение экономической эффективности работы электротехнического оборудования, сокращения затрат на его диагностику, эксплуатационное обслуживание и ремонт;
- получение расчетных параметров, ведения архивов, создание протоколов и другой оперативной информации (для анализа, оптимизации работы оборудования и планирования его ремонтов);
- расчёт технико-экономических показателей.

Внедрение газоаналитической системы для автоматического контроля элементов ячеек РУ-10кВ и РУ-0,4кВ позволит при появлении перегрева элементов ячейки сверх установленной температуры своевременно сигнализировать, оперативно реагировать персоналу и предотвращать аварийные ситуации.

При появлении перегрева элементов ячейки сверх установленной температуры происходит нагрев наклеек с последующим выделением сигнального газа в контролируемый отсек ячейки. Специализированный газовый датчик (СГД) обнаруживает сигнальный газ и формирует сигнал тревоги, поступающий по адресной проводной линии связи RS-485 (протокол обмена – Modbus-RTU) на контрольно-приемное устройство (КПУ), размещенное в помещении электроустановки. Сигнал тревоги с КПУ передается на щит управления котельной (в диспетчерскую). Точки установки наклеек: сборные шины, линейные шины, места присоединения кабельных линий, выключатель, секционный разъединитель, трансформатор напряжения, трансформатор напряжения.

Установка силовых трансформаторов СН в литой изоляции взамен масляных трансформаторов дают ряд преимуществ:

- более повышенная перегрузочная способность;
- простота установки и обслуживания;
- пожаробезопасность, экологичность;
- низкий уровень частичного разряда.

Установка на силовых трансформаторах цифровых температурных реле с датчиками температуры позволяет:

- измерять температуру, выдавать сигнал о вентиляции, тревоге, отказе или расцеплении при выходе каких-либо параметров за установленные пределы;
- контролировать температуру обмоток трансформатора при его эксплуатации, а также предупредить аварийные ситуации;
- при достижении сверхдопустимых температур производить отключение вышестоящего выключателя;
- сформировать сигнал тревоги, поступающий по адресной проводной линии связи RS-485 (протокол обмена – Modbus-RTU) на щит управления котельной (в диспетчерскую).

Таким образом, установка ГПУ на сегодняшний день на котельной позволила решить вопрос с перебоями во внешнем электроснабжении. А для повышения надежности питания собственных нужд 10 кВ и 0,4 кВ котельной предлагается внедрить АСУ ЭТО собственных нужд 10 кВ и 0,4 кВ.

## **Источники**

1. Когенерационная газопоршневая электростанция мощностью в 1МВт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.krialenergo.ru/completed-projects/kogeneratsionnaya-gazoporshnevaya-elektrostantsiya-moshchnostyu-v-1-mvt/> (дата обращения: 27.09.2022).

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Вострецов Е.А.,<sup>1</sup> Павлов П.П.<sup>2</sup>, Хуснутдинов А.Н.,<sup>3</sup> Нигматуллин Р.Р.,<sup>4</sup>  
Залялов Р.Р.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>5</sup>МУП «МЕТРОЭЛЕКТРОТРАНС», г. Казань, Россия

evostretsov@yandex.ru, pavlov2510@mail.ru, khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru,  
nrinaz99@mail.ru, <sup>5</sup>zalyalov@metro.tatar.ru

В тезисе рассмотрены вопросы по организации управления качеством при конструировании, эксплуатации и ремонту подвижного состава на предприятиях железнодорожного транспорта.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, надежность элементов, эксплуатация и ремонт, управление качеством, эффективность, подвижной состав.

Умение пользоваться знаниями, навыками и задачами, при конструировании, правильной эксплуатации и последующим ремонтом подвижного состава является основой задач в дальнейшем планировании по управлению качеством и надежностью в технологических процессах на предприятиях железнодорожного транспорта. Это обусловлено тем, что постоянный износ элементов подвижного состава, так же, как и выведение этих единиц из оборота, может привести к ухудшению качества ремонта, как самих единиц его элементов, так и самого подвижного состава в целом. Техническое состояние подвижного состава при его эксплуатации, будет являться основным критерием при проведении контроля в управлении качеством в силу того, что этот критерий позволяет установить ухудшение или износ элементов подвижного состава по одному или нескольким показателям, что в дальнейшем позволит определить целесообразность этого ремонта [1].

Рассмотрев стратегию управления качеством, ученого, доктора наук Уильяма Эдвардса Деминга в 1947 году, её впоследствии поддержали ученые и инженеры японского союза «JUSE» и объединение японских промышленников «Doi-kai». Многие японские производители, которые широко применяли его методы, достигли очень высокого уровня качества и производительности, а в декабре 1950 года совет директоров «JUSE» учредил премию Деминга. В Японии премия Деминга до сих пор продолжает оказывать значительное влияние на дисциплины контроля качества и управления качеством [2, 3]. Теперь, стоит отметить, что

прежде всего его стратегия ориентирована на конкретных исполнителей и включает в себя такие основные позиции как:

1. Удовлетворенность потребителей;
2. Ответственность руководителей;
3. Дефекты происходят по вине руководствующего персонала;
4. Управление кадрами – это самый важный ресурс;
5. Постоянное обучение – это необходимость;
6. Постоянное улучшение – это дело всего персонала;
7. Задача улучшения – это источник и опора на факты и статистику.

Безусловно в сфере ремонта подвижного состава, такая стратегия будет находиться своеобразным «краеугольным камнем» в поиске решения вопросов в его дельнейшей надежной и безопасной эксплуатации и, в частности, в решении проблемы качества самого ремонта, но стоит отметить что, в соответствии с техническим заданием на ремонт подвижного состава, именно такая позиция, при минимальных инвестициях, позволит обеспечить, повышение его тяговых свойств, снижение расхода на горюче – смазочные материалы, и сокращение трудоемкости всех дальнейших видов технических обслуживаний и ремонтов.

Отклонения, которые будут выявлены при входном контроле, на основании технического задания и подготовки производства послужат основой для разработки системы мер по обеспечению качества материалов и запчастей, а сам анализ состояния технологического процесса будет являться основой системы мер по обеспечению качества технологических процессов для дальнейшего испытания отремонтированного подвижного состава. На этапе эксплуатации, задача управления качеством – это есть поддержание уровня качества, достигнутого при ремонте подвижного состава, которая определяет возможность выявить те или иные отклонения от запланированного качества показателей и сформировать ряд мероприятий по обеспечению качества на этом этапе [4]. Сами результаты анализа качества ремонта подвижного состава в эксплуатации, в свою очередь послужат информативной базой для улучшения качества ремонта его элементов и единиц, а отремонтированные элементы и единицы в свою очередь должны подвергнуться повторной проверке, в соответствии со всеми документированными процедурами, для полной уверенности перед их установкой на подвижной состав.

Результаты проверок должны быть оформлены протоколом и доведены до сведения персонала, а руководящие работники, отвечающие за этот участок, должны своевременно принять меры по недостаткам,

выявленных в процессе проверки. Результаты внутренних проверок качества – будет являться данными для анализа со стороны руководства. [5, 6] В результате процессный подход к анализу и моделированию конструирования, эксплуатации и ремонту подвижного состава с применением методов и инструментов управления качеством позволяет обеспечить бесперебойную эксплуатацию подвижного состава и получить удовлетворенность потребителя от оказываемых услуг в отрасли железнодорожного транспорта.

### Источники

1. Смирнова Э.Е., Таланова Ю.В., Шмелева А.Г. Эффективные методы управления проектами транспортной отрасли. // Качество. Инновации. Образование. – 2016. № 8-10 (135-137). – С. 225-230.

2. Вострецов Е.А., Павлов П.П. Современное управление качеством на железнодорожном транспорте // Казанские научные чтения студентов и аспирантов имени В.Г.Тимирязова – 2021» XI Международная НПК студентов и аспирантов. Казань, 17 декабря 2021 г. – С.57-58.

3. Филина О.А., Павлов П.П., Пасечник С.В., Зараменских А.Н. Мотивация повышения производительности труда на транспорте. // Труды международной НПК «Повышение производительности труда на транспорте-источник развития и конкурентоспособности и национальной экономики» – С. 125-127.

4. Аухадеев А.Э., Бутаков В.М., Павлов П.П., Филина О.А. Развитие теории транспортных систем на основе методорогических достижений современной науки // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока №3-4 2017. – С. 27-30.

5. Аухадеев А.Э., Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Киснеева Л.Н. "Программа для контроля и регистрации параметров дальномерного комплекса транспортного средства городского электрического транспорта с функцией беспилотного управления"// Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022618869, 18.05.2022. Заявка № 2022618162 от 05.05.2022.

6. Aukhadayev A.E., Litvinenko R.S., Pavlov P.P. Khusnutdinov A.N. Training transport specialists based on a contemporary view of self-organization of sophisticated developing. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2019), 643(1), № 012028.

## **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Галимова А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

galimovaar00@mail.ru,

Науч. рук. доц. Гапоненко С.О.

В работе представлен анализ методов неразрушающего контроля для определения технического состояния энергетических систем и комплексов. Рассмотрены особенности применения данных методов.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, анализ, вибрационный метод, энергетические системы, энергоэффективность.

В настоящее время одним из актуальных направлений обеспечения безопасности технического состояния энергетических систем и комплексов является задача повышения энергоэффективности и надежности эксплуатации трубопроводов на основе использования методов неразрушающего контроля. В качестве объекта исследования были выбраны трубопроводные транспорты энергетических систем. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики трубопроводных транспортов получили широкое распространение в энергетической сфере. С помощью данных методов обеспечивают нахождение дефектов в объекте или отдельных его элементов, без выведения их из рабочего состояния.

Целью данной работы является анализ методов оценки технического состояния энергетических систем и комплексов.

Существует несколько видов неразрушающего контроля трубопроводов, которые основаны на применении различных приборов и технологий: магнитный, вихретоковый, радиоволновой, оптический, акустический, радиационный, тепловой, электрический и метод проникающими веществами [1]. Для выявления внешних дефектов применяют оптический метод контроля трубопроводов, который базируется на использовании различных технических приборов. Оптический метод позволяет обнаруживать не только поверхностные дефекты, но и внутренние исключительно применительно к прозрачным объектам при оптическом излучении (волны, длиной от  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  мкм). Радиоволновой метод позволяет определить с высокой точностью самые

незначительные изъяны сварных швов трубопроводов, отображая их на рентгеновской пленке [2]. При проведении магнитного метода – магнитные волны проходят через металл за определенный интервал времени и образуются разнонаправленные магнитные потоки на местах поврежденных участков. Для выявления нарушения сплошности в сварном шве используют прибор – тепловизор (тепловой контроль), при котором объект исследования подвергается тепловому излучению. Электрический метод реализуется на основе взаимодействия электрического поля с объектом исследования. Для выявления наиболее мелких повреждений металла трубопровода используют акустический метод, при котором инфразвуковые и ультразвуковые волны действуют на объект. Вихретоковый метод позволяет определить поверхностные дефекты на глубине 2-3 мм благодаря вихревым потокам, образующимся при взаимодействии электромагнитного поля катушки и индуцированного тока [3-4]. Также для определения поверхностных дефектов применяют метод проникающими веществами. Индикаторную жидкость капиллярно проникает в полости трещины и проявляется для дальнейшего визуального осмотра. Радиационный метод является практически универсальным и позволяет отследить дефекты по всей толщине шва, даёт представление об их характере, размерах и местоположении посредством радиационного излучения [5-6].

В ходе работы были проанализированные методы неразрушающего контроля, которые используются для оценки технического состояния энергетических систем и комплексов. С использованием перечисленных методов осуществляется своевременный контроль объектов исследования без разбора составных частей и вывода из эксплуатации. Наиболее перспективным методом контроля, с точки зрения автора, является акустический метод контроля, который в дальнейшем ляжет в основу совершенствования диагностических приборов и методов контроля.

### **Источники**

1. Костюченко А.Ю. Анализ существующих методов неразрушающего контроля строительных конструкций // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 6 (22). – С. 264–268.
2. Старчук Д.В., Дьяков Д.А., Бавыкин О.Б. Анализ комплексного применения методов неразрушающего контроля // В сборнике: Инновационные разработки в обработке материалов давлением и аддитивном производстве. Качество выпускаемых изделий. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2019. – С. 356–359.

3. Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е., Мустафина Г.Р. Построение математической модели распространения волн лэмба в стальном трубопроводе с защитным наружным покрытием // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 4. – С. 3–15.

4. Роберов И.Г., Шкатов П.Н., Грама В.С., Иванов В.О., Зыбин Е.Ю., Киселев М.А., Кузуб И.Г. Применение неразрушающих методов контроля для мониторинга технического состояния конструкционных материалов в процессе эксплуатации // В сборнике: Дополнение к материалам КИМИЛА-2020. Дополнение к материалам IV Отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии КИМИЛА-2020. Жуковский, 2021. – С. 144–152.

5. Гапоненко С.О. Математическая модель вынужденных колебательных процессов для определения динамического отклика дефектных трубопроводов // В книге: Энергия-2022. Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах. Иваново. – 2022. – С. 65.

6. Шихов А.И., Дунаева Е.Н. Методы и приборы неразрушающего контроля // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 43–8. – С. 83–85.

УДК 621.314

## **ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Галиуллина И.З.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
galiullina.ilina@yandex.ru  
Науч. рук. доц. Гибадуллин Р.Р.

В тезисе приведены примеры использования цифровой трансформации для решения ряда ключевых задач интеллектуального управления, включая прогнозирование нагрузки, прогнозирование цены электроэнергии, оптимизацию распределения нагрузки между доступным генерирующим оборудованием, оценку и прогнозирование технического состояния энергетического оборудования, диагностику отказов и катастроф.

**Ключевые слова:** цифровой двойник; распределительная электроэнергетическая система; цифровая сеть глубокого обучения; прогнозирование; диагностика отказов.

В электроэнергетике естественным образом выделяются несколько областей применения технологий цифровой трансформации [1], каждая из которых кратко рассмотрена далее.

Оценка объема потребления некоторого объекта энергетики в некоторый будущий период времени при известных фактических исторических значениях потребления объекта относится к классическим задачам управления в электроэнергетике. Точное прогнозирование позволяет правильно рассчитать энергетический баланс и выбрать режимные параметры РЭС. Хорошо известны такие грубые алгоритмы (формулы) прогнозирования, как усреднение фактических профилей за четыре предшествующих типовых (рабочих/выходных) дня и суммирование мощности всех энергоприемников объекта с учетом коэффициентов их использования. Существуют и более тонкие статистические методы прогнозирования, такие как регрессионные модели, в которых по историческим значениям подбираются коэффициенты заранее заданной функциональной зависимости потребления от времени (в виде Фурье-разложения с несколькими начальными гармониками) и от температуры воздуха (в виде полинома невысокой степени). В целях дальнейшего увеличения точности и скорости прогнозирования (а также отчасти из стремления отдать дань моде) привлекают нейросети глубокого обучения.

Постановка задачи прогнозирования цен на энергоресурсы также вполне очевидна: требуется предсказать цену на некоторый будущий период. Благодаря наличию обширных массивов исторических данных с фактическими ценами нетрудно реализовать «наивный» алгоритм расчета ожидаемой цены на очередные сутки, состоящий в выборе массива за предыдущие сутки с таким же типом дня недели (рабочий/выходной), с последующим внесением «фундаментальных» поправок (сезонные, общеэкономические и прочие факторы) и добавлением небольшого случайного «шума». Известны примеры, когда такой алгоритм давал ошибку примерно в 16 %, превосходя по точности некоторые сложные статистические методы [2]. Однако по мере развития энергетического рынка требования к точности прогноза цены со стороны участников повышаются.

Распределение нагрузки между имеющимися генерирующими источниками относится к числу основных задач управления РЭС. При распределении известной (достоверно предсказанной) нагрузки следует минимизировать эксплуатационные расходы генерирующих мощностей. Однако зависимость расходов от объема выработки часто не известна точно и подвержена влиянию многих факторов и труднопредсказуемых

физических ограничений. Для оптимизации распределения нагрузки могут использоваться классические многослойные перцептроны [3]. Их обучают на примерах, сгенерированных путем имитационного моделирования. В дополнение к ним задействуются перцептроны, обученные предсказывать по метеоданным выработку ВИЭ. Задача оценки технического состояния оборудования состоит в определении фактического наличия, характера, мест износа, сбоев и отказов и, соответственно, потребности в техническом обслуживании. Исходным материалом для выполнения оценки служат массивы результатов измерения непосредственно наблюдаемых характеристик состояния оборудования, таких как вибрация, температура, давление, выходное напряжение и др. Прогноз состояния сводится к оценке, но не на текущий момент времени, а на некоторый будущий период (горизонт прогнозирования). На основе прогноза рассчитываются индикаторы технического состояния, такие как оставшееся время полезной работы оборудования (remaining useful life, RUL).

Для оценки и прогнозирования технического состояния оборудования в последние годы были апробированы все основные архитектуры сетей глубокого обучения [4]. Были установлены и две основные трудности применения нейросетей: большое число входных сигналов и малое количество обучающих примеров (массивов значений характеристик, зарегистрированных во время сбоев и размеченных результатами их анализа). В целях уменьшения числа сигналов входной поток переводят в частотную область путем быстрого преобразования Фурье либо вейвлет-разложения. А чтобы задействовать распознательный потенциал сверточных сетей, строится двумерная картина входного потока в частотно-временной области.

Диагностика отказов в РЭС состоит в определении места короткого замыкания, его вида и максимального отклонения напряжения от допустимого. Известны разработки в области автоматической диагностики отказов и аварий на базе сверточных нейросетей [5]. Много обучающих примеров для тренировки таких сетей можно сгенерировать путем имитационного моделирования в программах-симуляторах промышленного уровня готовности, таких как Siemens PSS/E. Благодаря высокой скорости срабатывания хорошо обученной нейросети, появляется перспектива перехода к превентивному анализу состояния РЭС до наступления аварий и определения мер по их предотвращению. Еще более перспективным представляется применение нейросетей для прогнозирования структурных катастроф РЭС – эксцессов, основной ущерб от которых вызван не отказом какого-либо отдельного элемента,

а каскадным разрушением взаимосвязей между элементами («эффект домино»). В перспективе нейросетевые средства смогут занять лидирующее положение среди компонентов математического обеспечения цифрового двойника энергосистемы. Здесь возникает ряд перспективных направлений дальнейших исследований.

### **Источники**

1. Панов М.К., Хмелев И.И., Смирнов А.П. Нейронные сети на службе энергетиков // Открытые системы. СУБД, 2016. – №4. – С. 39-41.
2. Ugurlu U., Oksuz I., Tas O. Electricity price forecasting using recurrent neural networks // Energies, 2018. Vol. 11. Iss. 5. Art. No. 1255. 21 p. doi: 10.3390/en11051255.
3. Bhattacharya B., Sinha A. Intelligent subset selection of power generators for economic dispatch // arxiv.org, 2017. arxiv:1709.02513 [cs.CE]. <https://arxiv.org/abs/1709.02513>.
4. Zhao R., Yan R., Chen Z., Mao K., Wang P., Gao R.X. Deep learning and its applications to machine health monitoring // Mech. Syst. Signal Pr., 2019. – Vol. 115. – P. 213-237.
5. Rudin F., Li G.-J., Wang K. An algorithm for power system fault analysis based on convolutional deep learning neural networks // Int. J. All Research Education Scientific Methods, 2017. – Vol. 5. Iss. 9. – P. 11-18.
6. Alzakkar, A. Estimation of load angle of synchronous turbo-generator model TGH-32 / A. Alzakkar, N. Mestnikov, Yu. Samofalov // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Vol. 14. – No 2(54). – P. 40-47. EDN EMMACU.

УДК 621.311.4

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ**

Галяутдинова А.Р., Низамиев М.Ф  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Alsu296@yandex.ru, marat.nizamiev.90@mail.ru  
Науч. рук. проф. Ившин И.В.

В данной работе рассматривается возможность применения методов машинного обучения для оценки технического состояния оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ.

**Ключевые слова:** машинное обучение, оборудование, трансформаторная подстанция, техническое состояние, прогнозирование, система мониторинга, методика, цифровизация.

Цифровизация топливно-энергетического комплекса во всем мире привела к активному внедрению цифровых технологий и платформенных решений во все сегменты отрасли. Особо следует выделить проблему надежности систем электроэнергетики, как один из главных аспектов обеспечения энергетической безопасности в мире. Обеспечение высокой надежности электроэнергетических объектов и систем является основным требованием, предъявляемым к ним. Переход из системы планово-предупредительных ремонтов к системе проведения технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию оборудования становится все более актуальным [1].

Сегодня машинное обучение является эффективным инструментом обработки данных, но вопрос его корректного применения до сих пор является активно обсуждаемым. Машинное обучение – одна из форм искусственного интеллекта, которая использует данные и алгоритмы для имитации человеческого обучения, неуклонно повышая его точность с течением времени. Основной задачей алгоритмов машинного обучения является обобщение данных, поэтому машина ищет закономерности исключительно в тех данных, которые выбрал разработчик.

Одной из главных проблем при моделировании в электроэнергетике интеллектуальных систем с помощью алгоритмов машинного обучения является корректная постановка задачи машинного обучения и отнесения ее к одной из условно возможных категорий:

1. задаче регрессии – прогнозирование непрерывной зависимой переменной из ряда независимых переменных;
2. задаче классификации – разделение или упорядочивание объектов по заранее известным классам;
3. задаче кластеризации – разделение объектов на группы в зависимости от их схожести при условии, что их перечень кластеров заранее четко не задан и определяется в процессе работы алгоритмов, в том числе одной из подзадач кластеризации является определение наличия связи внутри кластеров [2].

Объектами оценки технического состояния являются основное оборудование трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ: силовой трансформатор, высоковольтный выключатель, разъединитель, ОПН, кабельные линии.

На рис. представлена концепция оценки технического состояния оборудования ТП 35/6(10) кВ. На первом этапе осуществляется сбор и обработка данных, полученных из системы мониторинга ТП 35/6(10) кВ. Далее применяется методика оценки технического состояния, который определяет интегральный показатель технического состояния оборудования [3]. На третьем этапе применяется метод машинного обучения – метод регрессии для прогнозирования. И для выбора управляющих воздействий применяется генетический алгоритм.

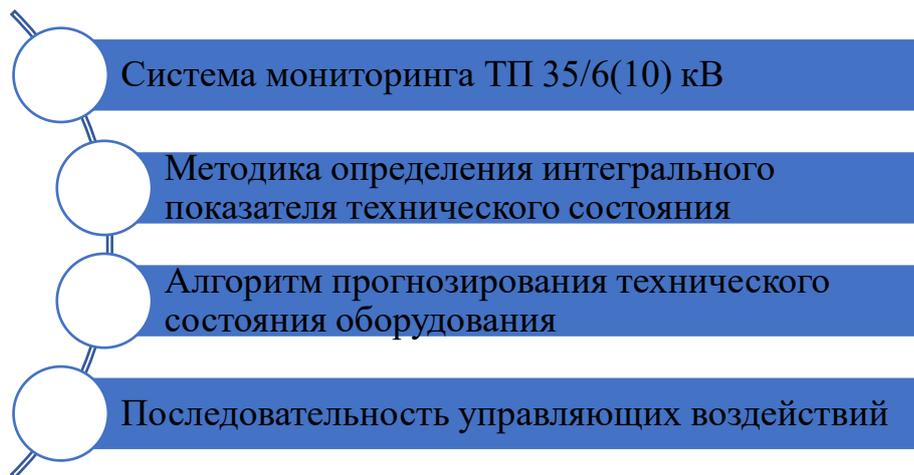


Рис. Концепция оценки технического состояния оборудования ТП 35/6(10) кВ

Следовательно, при оценке технического состояния оборудования ТП 35/6(10) кВ возможно применить методы машинного обучения, что существенно сокращает время на обработку данных и создает интеллектуальную систему оценки [4].

Таким образом, для решения электроэнергетических задач применим машинное обучение. Сложность разработки интеллектуальных систем в электроэнергетике на системном уровне заключается в том, что современные высококвалифицированные специалисты в области электроэнергетики не обладают в полном объеме требуемыми компетенциями в области Data Science, а высококвалифицированные Data Science и IT-специалисты не представляют в полном объеме всей физики процессов генерации, передачи и потребления электрической энергии.

### Источники

1. Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. и др. Разработка системы мониторинга технического состояния основного оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Материалы

Международной молодежной научной конференции Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация», Казань, 28-30 апреля 2021 г. Т.1 – С. 97-101.

2. Khalyasmaa A., Matrenin P., Eroshenko S. Averaged Errors as a Risk Factor for Intelligent Forecasting Systems Operation in the Power Industry // Proceedings of the 2021 Ural-Siberian Smart Energy Conference, USSEC 2021. 2021: 192-196.

3. 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 высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. – С. 14-26.

4. Vladimirov O., Galyautdinova A., Ivshin I., Nizamiev M., Usmanov I. Equipment and Data Transmission System for Express Analysis of the Technical Condition of the Main Equipment of the 35/6(10)kV Transformer Substation // Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 190. – С. 122–134 .

УДК 654.924.5

## ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЯХ

Зиангиров А.Ф., Мугинов А.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zinaydar@mail.ru, aqwewerr@gmail.com

В статье рассказано об актуальности пожарной безопасности в электроустановках, а также представлен созданный образовательный пожарный стенд, который поможет студентам получить знания по обращению с устройствами пожарной сигнализации.

**Ключевые слова:** противопожарная сигнализация, пожарные извещатели, оповещатели, блок защитный коммутационный, пульт контроля и управления охранно-пожарный, резервный источник питания, установка пожаротушения.

По статистике число пожаров в России из-за неисправностей электроустановок составляет около 10-30 % от их общего числа (в зависимости от места установки). Таким образом на промышленных предприятиях подобные пожары наносят огромный материальный ущерб. По этой причине обеспечение пожарной безопасности, в частности в местах, где установлены электрооборудования, играют огромную роль как для снижения экономических потерь, так и для обеспечения безопасности здоровья и жизни персонала [1].

Обеспечение пожарной безопасности должно вестись по следующим направлениям:

- предотвращение появления пожара;
- тушение очага пожара, если не удалось предотвратить.

Большинство пожаров на электроустановках возникают из-за неправильного их монтажа и эксплуатации. Потому основными причинами этих пожаров являются короткие замыкания, перегрузки, возникновение искр и т. д. Поэтому для предотвращения подобных случаев важно произвести монтаж электрооборудования с соблюдением соответствующих правил (например, правила устройства электроустановок), а после во время работы с ним руководствоваться инструкцией по эксплуатации

Что касается тушения пожара в электроустановках, находящихся под напряжением и где есть высокая вероятность поражения электрическим током персонала, если не удалось предотвратить появление очага возгорания, то для этих случаев предусмотрена обязательная установка автоматической системы и установок пожаротушения (АУПТ)

С целью получения практических навыков по работе с оборудованием пожарной сигнализации, и чтобы студенты имели представление о том, как работает АУПТ, был собран стенд по автоматизированным системам пожаротушения (см. рисунок 1). Благодаря данному стенду студенты будут иметь представление о том, как действовать при обнаружении очага возгорания, когда и какими устройствами пожарной сигнализации пользоваться в той или иной ситуации.



Рис. 1. Стенд по автоматизированным системам пожаротушения

Применяемые на схеме перечень оборудования: пожарный оповещатель световой «ПОЖАР»; извещатель дымовой ИП 212-45; извещатель пожарный ручной ИПР 513-10; блок сигнально-пусковой С2000-СП1; прибор приемно-контрольный и управления охранно-пожарный СИГНАЛ-20М (предназначен для работы в качестве

совмещенного приемно-контрольного прибора и прибора управления средствами оповещения); резервированный источник питания с постоянным напряжением 24 В РИП-24; пульт контроля и управления охранно-пожарный С2000М (предназначен для работы в составе адресной системы охранной, пожарной сигнализации и управления противопожарным оборудованием); блок защитный коммутационный БЗК исп. 01 [2]

Вся установка питается от блока защитного коммутационного (БЗК) постоянным током напряжением 24В (см. рисунок 2). Сам БЗК подключен к резервному источнику питания РИП-24, в котором переменное напряжение сети 230В преобразуется с помощью трансформатора и выпрямителя в постоянный ток напряжением 24В. Оборудования С2000-СП1, СИГНАЛ-20М, С2000М подключены между собой посредством канала интерфейса RS-485. По данному интерфейсу передается информация о состоянии дымовых и ручных извещателей в пульт управления С2000М, в то время как сами извещатели подключены к шлейфам сигнализации ШС1 и ШС2 приемно-контрольного прибора СИГНАЛ-20М.

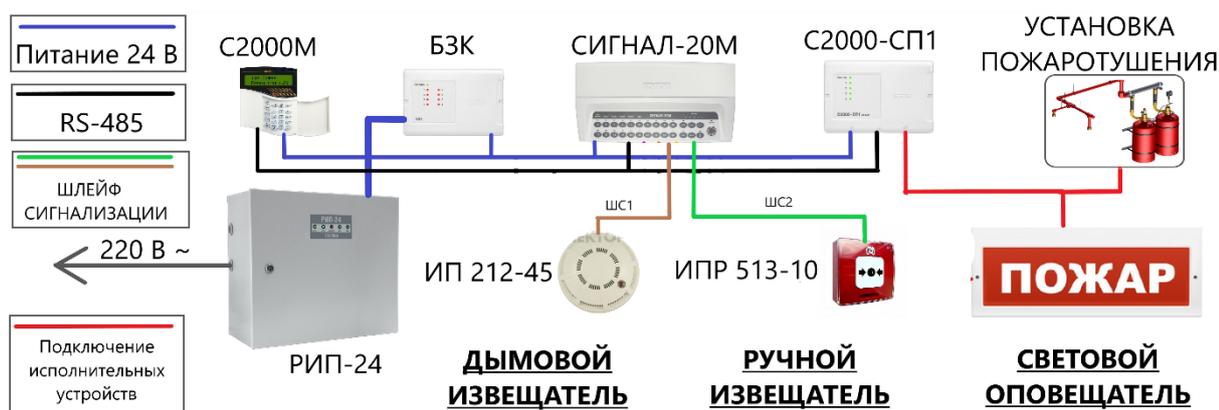


Рис. 2. Схема системы пожарной сигнализации

При срабатывании дымового и/или ручного извещателей происходит переход соответствующего шлейфа сигнализации из режима «Дежурный» в режим «Пожар». Пульт С2000М считывает смену состояния ШС1 и посылает команду С2000-СП1 замкнуть реле согласно конфигурации, заранее установленной в пульт С2000М. В данном случае загорится табличка «Пожар» и сработает установка пожаротушения [3].

Вопрос о противопожарной безопасности не должен стоять на последнем месте. Ведь речь идет не только о целостности электроустановок на предприятии, но и о жизни людей. Также за халатное отношение руководитель предприятия может быть привлечен к уголовной

ответственности. И чтобы не была совершена подобная ошибка, необходимо ответственно подойти к вопросу о противопожарной безопасности.

### **Источники**

1. Анализ обстановки с пожарами и их последствиями на территории РФ за 6 месяцев 2022 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mchs.gov.ru> (дата обращения: 04.10.2022).

2. Каталог продукции BOLID [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://bolid.ru/files/491/669/h\\_f753aebcc7dcabe78c29a66272060129](https://bolid.ru/files/491/669/h_f753aebcc7dcabe78c29a66272060129) (дата обращения: 04.10.2022).

3. Пожарная сигнализация [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bolid.ru/projects/iso-orion/fire-automatic/ps/#descr0> (дата обращения: 04.10.2022).

УДК 621.313.322

## **ОПИСАНИЕ СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ ОТ ПОТЕРИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА**

Зиннатов И.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань, Россия

[zinnatov.ilnur@mail.ru](mailto:zinnatov.ilnur@mail.ru)

Науч. рук. доц. Гавриленко А.Н.

В тезисе представлены возможные способы реализации защиты от потери возбуждения синхронного генератора. При потере возбуждения в генераторе возникает асинхронный режим, который не является нормальным режимом работы и заключается возникновением разницы между частотой вращения ротора и частотой вращения магнитного поля статора. Данные способы основаны на выявлении изменения физических параметров при возникновении рассматриваемого режима работы. Эти изменения можно наблюдать на следующих зависимостях: P-Q, U-I, R-X, G-B.

**Ключевые слова:** защита генератора, потеря возбуждения, асинхронный режим.

Разные изменения физических параметров сети помогают в той или иной степени выявить потерю возбуждения. Так, активная и реактивная мощность выдаваемые синхронным генератором связаны с его производительностью. Производительность генератора ограничена кривой производительности, заданной производителем генератора, пределом

устойчивости системы в установившемся режиме и пределом при возбуждении. Когда выходная реактивная мощность генератора превышает уставку ограничителя пониженного напряжения, элемент аварийной сигнализации срабатывает с задержкой 0,5 с. Когда рабочая точка попадает в рабочую область, элемент защиты от потери возбуждения срабатывает и посылает сигнал отключения после временной задержки 0,75 с. Если рабочая точка превышает значения ограничителя пониженного напряжения, но остается за пределами защитной зоны, сигнал отключения будет инициирован ограничителем пониженного напряжения после длительной задержки, т. е. 1 минута; в то же время будет реализован элемент минимального напряжения для ускорения процесса отключения, если снижение напряжения превышает уставку реле.

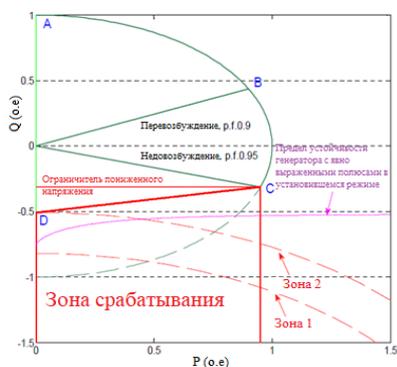


Рис. 1. Представление схемы защиты от потери возбуждения в плоскости P-Q

Когда происходит потеря возбуждения, выходная реактивная мощность генератора падает, и генератор начинает принимать реактивную мощность из системы. Между тем, фазный угол тока становится опережающим фазным углом напряжения. Поэтому помимо P-Q схемы также способом обнаружения потери возбуждения можно принять и U-I схему: направленное реле максимального тока реализуют путем сравнения разности фазных углов между напряжением и током.

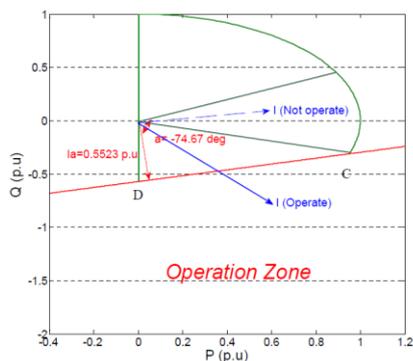


Рис. 2. Схема защиты от потери возбуждения основанная на измерении U-I

Измерение импеданса также широко используется для защиты от потери возбуждения. В схеме защиты применяется реле со смещением сопротивления, которое получает напряжение и ток на клеммах в качестве входных сигналов для расчета импеданса.

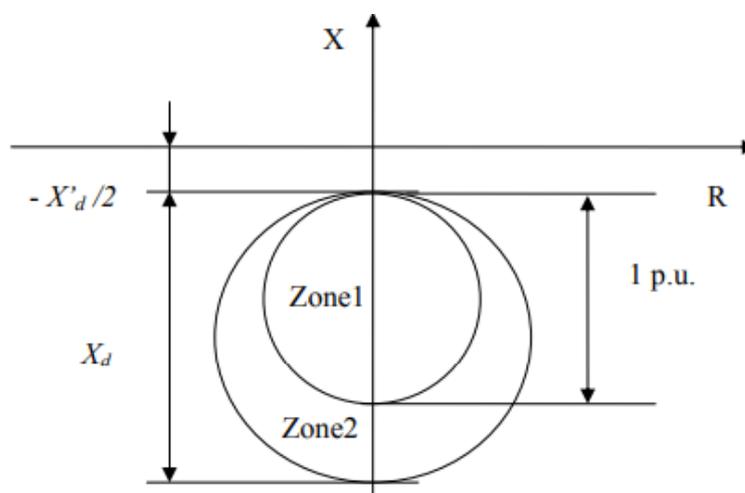


Рис. 3. Схема защиты от потери возбуждения с использованием двух характеристик сопротивления с отрицательным смещением

### Источники

1. Donalt. Reiment; Protective Relaying for Power Generation Syatems; Boca Raton: CRC Press, 2006
2. Ramón Sandoval, Comisión Federal de Electricidad; Dynamic Simulation Help Improve Generator Protection; Armando Guzmán and Héctor J. Altuve, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc; 2006
3. Kundur P.; Power System Stability and Control; McGraw-Hill, Inc.
4. Gabriel Benmouyal, The Impact of Synchronous Generators Excitation Supply on Protection and Relays, Schewitzer Engineering Laboratories, Inc
5. Paithankar T.G., Bhide S.R.; Fundamentals of Power System Protection; Prentice-Hall of India Private Limited, 2003
6. ABB Generator Protection Application Guide; 1MRK 502 003-AEN, 1997.
7. ABB Directional time-overcurrent relays and protection assemblies based on single phase elements; 1MRK 509 007-BEN, 1999
8. IEEE Guide for AC Generator Protection; IEEE Std C37.102™-2006
9. Alzakkar, A. Estimation of load angle of synchronous turbo-generator model TGH-32 / A. Alzakkar, N. Mestnikov, Yu. Samofalov // Вестник

УДК 621.311

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ**

Ибатуллин Э.Э., Грачева Е.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
ibatullinedick@yandex.ru, grachieva.i@bk.ru

В тезисе предложено разделение потребителей на промышленных предприятиях по графику нагрузки, выведены основные схемы отдельного питания потребителей с равномерным графиком нагрузки, предоставлены достоинства и недостатки этих схем. Предложена методика выбора схем отдельного питания по критериям.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, отдельное питание потребителей, надежность, промышленное предприятие средней мощности, надежность.

В настоящее время около 70 процентов вырабатываемой электроэнергии в стране потребляется промышленными предприятиями (ПП). Почти половина идет на промышленные предприятия средней мощности [4].

Спектр электроприемников на ПП различен: электроприводы, преобразователи частоты, ЭВМ, гальванопластика, сварочные посты и т. д. Все эти потребители имеют различные требования к качеству электроэнергии и к надежности электрических систем. На сегодняшний день, когда обстановка довольно-таки нестабильна, большинство предприятий испытывают экономические проблемы связанные как с поставкой материалов, так и с графиками работы самих предприятий. Большинство предприятий перешли с двухсменного графика работы на односменный. Такой режим работы требует возможности отключения неработающего оборудования и части силовых трансформаторов цеховых подстанций в нерабочее время. Но так как большинство предприятий не имеют таких возможностей, во время малой загрузки трансформаторов, в системе возникают дополнительные потери электроэнергии, что влечет за собой дополнительные затраты и необходимость экономии электроэнергии.

Поэтому, можно предусмотреть модернизацию схем электроснабжения промышленных предприятий, которая будет разделять потребителей по графику загрузки, при этом будет удовлетворять требованиям по качеству электроэнергии и надежности сети [1].

## Особенности электроснабжения потребителей на предприятиях средней мощности

В зависимости от режима работы потребители можно разделить на две большие группы:

- 1) потребители с неравномерным графиком нагрузки;
- 2) потребители с равномерным графиком нагрузки.

К первой группе отнесем всех потребителей, связанных с технологическим процессом, и условимся их называть технологической нагрузкой. Во второй группе можно выделить потребителей, работающих круглосуточно, и не участвующих напрямую в основном технологическом процессе – назовем их круглосуточной нагрузкой; и потребителей, работающих не круглые сутки и также не участвующих в технологическом процессе, назовем их – некруглосуточной нагрузкой [2].

Анализ схем электроснабжения и режимов работы приемников ЭЭ предприятия средней мощности показал, что в СЭС предприятия доля потребителей с равномерным графиком нагрузки составляет 23 – 30 % от общей доли потребления ЭЭ всем ПП. Причем, чем меньше ПП тем больше величина этой нагрузки. Поэтому, предлагается разделять потребителей с равномерным графиком нагрузки на отдельные трансформаторы, для возможности отключения их в моменты малой загрузки. Данный метод позволит сократить дополнительные потери, возникающие в такие моменты, и позволит сохранить в рабочем состоянии потребителей с неравномерным графиком нагрузки.

Плюсы и минусы схема отдельного и совместного питания представлены в таблице 1.

Все схемы отдельного питания можно разбить по двум принципиально различающимся признакам на две группы:

1. Раздельное питание технологической нагрузки от потребителей с равномерным графиком нагрузки при питании от трансформаторов, находящихся в цехе. Схемы могут применяться на ПП СМ с достаточно удаленным расположением цехов друг от друга и от источника питания, а также, когда в цехах большой процент электропотребления выпадает на потребителей с равномерным графиком нагрузки (28...30 % от общего электропотребления цехов) [3].

2. Раздельное питание технологической нагрузки от потребителей с равномерным графиком нагрузки при питании последних от трансформаторов, стоящих на ГПП. Схемы могут применяться на ПП СМ

с компактным расположением цехов, а потребители с равномерным графиком нагрузки составляют малую долю от общего электропотребления цехов (10...12 %) [3].

Таблица 1

Достоинства и недостатки схем питания

Достоинства	Недостатки
Совместное питание	
1. При равных электрических нагрузках уменьшается количество необходимых трансформаторов, вследствие чего снижаются затраты на строительство подстанций. 2. Нет частых включений и отключений трансформаторов. 3. Упрощается электрическая схема электроснабжения и удешевляются строительные и электромонтажные работы .	1. Дополнительные потери ЭЭ в нерабочее время. 2. На осветительных приборах имеет место ухудшения качества ЭЭ за счет влияния технологической нагрузки. 3. Показатели надежности ухудшаются, так как при выходе из строя цехового трансформатора обесточивается не только силовая нагрузка, но и освещение, вентиляция, сигнализация и т. д.
Раздельное питание	
1. Отсутствуют дополнительные потери ЭЭ в СЭС в нерабочее время. 2. Имеет место хорошее качество ЭЭ для питания осветительных приборов и другой аналогичной нагрузки.	1. Увеличивается число трансформаторов и определенным образом усложняется СЭС. 2. Значительно увеличивается число включений и отключений силовых трансформаторов.

Для выбора рациональных схем, необходимо сравнивать по таким критериям, как: 1) Маневренность, то есть возможность включать в зависимости от надобности той или иной части светильников; управление освещением; 2) Надежность; 3) Минимальная величина потерь ЭЭ в сети; 4) Стоимость сооружения и расход дефицитных материалов (минимальные капитальные затраты, эксплуатационные расходы, включающих стоимость потерь ЭЭ в сети).

Для определения надежности системы, будем использовать следующие критерии: Параметр потока отказов  $\omega(t)$ , среднее время восстановления (аварийного ремонта)  $t_0$ , среднее время оперативных переключений  $t_n$ , параметр потока преднамеренных отключений элемента  $v_i$ , средняя продолжительность одного преднамеренного отключения элемента  $t$ .

Для определения потерь электроэнергии в сети будем использовать основные формулы по определению суммарных потерь мощности в узлах сети. После определения основных данных, строятся графики кривых потерь мощности. Используя данные кривые, можно выстроить режим работы трансформаторов, который будет более экономичным.

Для определения рациональности использования предложенных схем, так же необходимо провести технико-экономические расчеты окупаемости. В основном, схемы раздельного питания, окупаются только в современных условиях рыночной цены на ЭЭ. Так в ценах 2010 года переход на раздельное питание окупается в десятки лет, а в ценах 2020 года с увеличением цены на ЭЭ, он уже окупается за 3–10 лет [4].

Существующие СЭС ПП средней мощности не обладают необходимой гибкостью, а в некоторых случаях и надежностью электроснабжения потребителей. Анализ электроснабжения ПП средней мощности показал, что расход ЭЭ потребителей с равномерным графиком нагрузки составляет 25-30 % от общей доли электропотребления предприятия. Для экономии ЭЭ в нерабочий период ПП средней мощности возможно применение различных схем раздельного питания технологической нагрузки и потребителей с равномерным графиком.

### **Источники**

1. Грачева Е.И., Садыков Р.Р. Оптимизация проектирования систем электроснабжения с учетом возможных ситуаций и вероятностных параметров надежности // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2017. – № 2(58). – С.22-26

2. Грачева Е.И., Наумов О.В. Исследование методов расчета электрических нагрузок цеховых систем промышленного электроснабжения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 1 (52). – С. 54-59.

3. Гурьянова Т. В., Ид Аль Рахайя. Особенности электроснабжения промышленных предприятий средней мощности. – М., 1994 г., Деп. в АО “Информэнерго”, 15.06.94, № 3411. – 15с

4. Егоров АВ., Ершов МС. Конкин РН. Определение эквивалентных параметров источников питания промышленных систем электроснабжения //Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2015. – № 2 (279). – С. 99-100.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОБЪЕКТЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Иванова В.Р., Гусамов Д.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
vr-10@mail.ru, gusamovdaniar@gmail.com

В работе представлен анализ системы искусственного освещения на объекте индивидуального жилищного строительства; в целях энергоэффективной работы предложена ее модернизация, в основе которой положено использование полых трубчатых световодов.

**Ключевые слова:** световоды, световой комфорт, освещенность, осветительные устройства.

Целью работы стало исследование возможности обеспечения максимального светового комфорта и качественного микроклимата в домах жилого назначения путем внедрения инновационной системы освещения на основе полых трубчатых световодов. Работа носит актуальный характер в связи с тем, что при классическом построении жилых домов как одноэтажных так и многоэтажных, нормальное естественное освещение поступает внутрь комнат максимум до 6 м от оконного проема. Поэтому для обеспечения доставки света в отдаленные участки помещения проектируют искусственное освещение. В целях увеличения освещаемой площади естественным светом имеется возможность использования полых трубчатых световодов. Их основными преимуществами в первую очередь становится то, что они доставляют максимум естественного света в помещение, которое повышает работоспособность, стрессоустойчивость, положительно влияет на успеваемость школьников и студентов, повышает визуальный комфорт. Последнее имеет доказательную базу. Световоды к тому же позволяют сэкономить электроэнергию за счет уменьшения использования искусственного освещения.

Для выполнения исследования модернизации системы освещения на первом этапе был выбран объект исследования, который находится в городе Елабуга Республика Татарстан, внешний вид объекта представлен площадью  $140 \text{ м}^2$ , рис. 1.

В качестве расчетной области выбрана гостиная, площадь которой составляет  $48 \text{ м}^2$ . Функционирующая система освещения на выбранном

объекте содержит светильники, мощность каждого составляет 10 Вт. В целях оценки существующей системы произведен расчет освещенности с помощью программного обеспечения Dialux.evo, 3D-модель представлена на рис. 2.



Рис. 1. Внешний вид объекта исследования (объект индивидуального жилищного строительства)

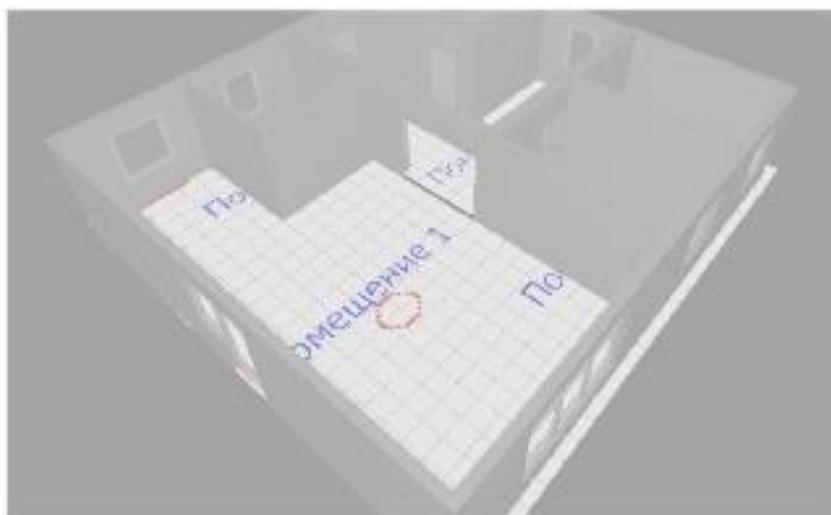


Рис. 2. 3D-модель исследуемого объекта

Согласно выполненным расчетам затраты на эксплуатацию такой системы за период 11 лет составляют порядка 44 974 руб., с соблюдением всех норм освещенности на рабочих местах около 300 люкс.

Основными недостатками функционирующей системы является высокая стоимость световых устройств на основе светодиодов, а главное существенный недостаток состоит в малом количестве естественного света

в помещении, и как следствие наблюдается отсутствие качества комфортной световой среды.

На следующем этапе работы было решено произвести модернизацию системы освещения путем дополнения в систему освещения со светильниками полых трубчатых световодов. Внешний вид такого устройства представляет собой линейную конструкцию, которая направляет естественный свет внутрь здания.

После проведенного анализа всех типов конструктивного исполнения световодов выбор пал на варианты фирмы Velux, предлагающей конструкцию с гибкой трубой, внутренняя поверхность которой имеет коэффициент отражения 98 %. Практически весь свет, падающий на кровельный модуль туннеля, поступает в помещение - Velux TWR. Внешний вид выбранного устройства представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид световода типа Velux TWR

В результате установки полого трубчатого световода в указанное помещение выполнен расчет освещенности в помещении уже гибридной системы, затраты на эксплуатацию такой системы за период 11 лет составят порядка 23 366 руб.

Таким образом, внедрение модели гибридного освещения позволит обеспечить большую экономию электроэнергии.

### Источники

1. Иванова В.Р., Даутов Р.Р. Обзор систем управления освещением / Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники:

Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, 2021. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – С. 430-433.

2. Кузнецов А.Л., Оселедец Е.Ю., Соловьев А.К., Столяров М.В. Опыт применения полых трубчатых световодов для естественного освещения в России / Светотехника. – 2011. – № 6. – С. 4-11.

3. Земцов В.А. Пути совершенствования верхнего естественного и совмещенного освещения помещений различного назначения / Жилищное строительство. – 2013. – № 6. – С. 57.

УДК 621.311.61

## СИСТЕМЫ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Кинёв Д.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
daniil.kineff@yandex.ru, antipanova\_irina@mail.ru

Науч. рук. ст. преп. Антипанова И.С.

По мере увеличения количества электромобилей во всем мире растет необходимость в создании более энергоэффективных систем зарядной инфраструктуры, способных заряжать автомобили быстрее, чем когда-либо прежде. Новые электромобили имеют больший радиус действия и большую емкость аккумуляторов, чем их предшественники, что обуславливает необходимость разработки решений для быстрой зарядки постоянным током, а также для удовлетворения требований к быстрой зарядке. В статье представлен обзор литературы по различным технологиям зарядки электромобилей и был проведен сравнительный анализ систем.

**Ключевые слова:** электромобиль, электрозаправка, быстрая зарядная станция.

Зарядная станция – это часть сетевой инфраструктуры, установленная вдоль улицы, на парковке или в домашнем гараже. Основное назначение – подача электроэнергии на электромобиль для зарядки аккумулятора. Зарядная инфраструктура делится на три категории в зависимости от скорости: Уровень 1, Уровень 2 и быстрая зарядка постоянным током (DC) (иногда называемая Уровнем 3). Кроме того, зарядная инфраструктура классифицируется по видам транспорта, как показано в таблице 1 [1].

Зарядную инфраструктуру можно также разделить на три типа: очень быстрая, быстрая и медленная. Каждый тип зарядного устройства имеет соответствующий набор разъемов, которые приспособлены для

использования низкой или высокой мощности, а также для зарядки переменным или постоянным током. Очень быстрые зарядные устройства считаются самым быстрым методом зарядки электромобиля. Устройства очень быстрой зарядки обеспечивают высокую мощность постоянного или переменного тока для зарядки автомобиля до 80 % за 20-40 минут. Как правило, зарядные устройства отключаются, когда батарея заряжена примерно на 80 %, чтобы защитить батарею и продлить срок ее службы. Быстрая зарядка может использоваться только на автомобилях с возможностью быстрой зарядки. Быстрые зарядные устройства постоянного тока обеспечивают мощность в 50 кВт (125 А), используют CHAdeMO или CCS (комбинированный стандарт зарядки). Очень быстрые (DC) зарядные устройства обеспечивают мощность 100 кВт, 150 кВт или 350 кВт, хотя возможны и другие максимальные скорости. Даже если EV может принимать только максимум 50 кВт постоянного тока, они все равно могут использовать пункты сверхбыстрой зарядки, поскольку мощность будет ограничена тем, с чем может справиться автомобиль.

Таблица 1

Инфраструктура зарядки, классифицированная по режимам

Режим зарядки	Напряжение (В)	Уровень протоколов безопасности
Mode 1	120 или 240 В AC	Общая схема без протоколов безопасности
Mode 2	120 или 240 В AC	Общая или выделенная схема с протоколами безопасности, включая обнаружение заземления, защиту от перегрузки по току, температурные ограничения и контрольную линию передачи данных
Mode 3	240 В AC	Такие же протоколы безопасности, что и в режиме 2, и активная линия связи с транспортным средством
Mode 4	400 В DC	Проводное подключение и требует более продвинутых протоколов безопасности и связи



Рис. 1. Очень быстрые зарядные станции

Быстрые зарядные устройства обычно классифицируются на 7 кВт или 22 кВт. Зарядное устройство мощностью 7 кВт заряжает электромобиль с батареей емкостью 40 кВт/ч за 4-6 часов, а зарядное устройство мощностью 22 кВт – за 1-2 часа. Большинство быстрых зарядных устройств обеспечивают зарядку переменным током. Тем не менее, некоторые сети устанавливают зарядные устройства постоянного тока мощностью 25 кВт с разъемами CHAdeMO или CCS. Быстрые зарядные устройства обычно располагаются на автостоянках или в центрах отдыха, где клиенты, скорее всего, будут парковаться в течение часа или более. Скорость зарядки на быстрых зарядных станциях зависит от бортового зарядного устройства автомобиля, при этом не все модели способны получить 7 кВт и более [2].



Рис. 2. Быстрые зарядные станции

Устройства медленной зарядки имеют мощность до 3 кВт, полная зарядка устройства мощностью 3 кВт обычно занимает 6-12 часов. Медленная зарядка – это популярный и более простой метод зарядки электромобилей, используемый для зарядки электромобилей в домашних условиях в течение ночи. В основном, медленная зарядка может осуществляться через стандартную розетку. На рисунке 3 показаны разъемы для медленной зарядки, которые используются любыми подключаемыми электромобилями с соответствующим кабелем. Подавляющее большинство домашних устройств имеют такой же разъем типа 2, как на общественных зарядных устройствах, или могут быть подключены к разъему типа 1, если это подходит для конкретного электромобиля [3].



Рис.3. Медленные зарядные станции

## Сравнительный анализ систем зарядных станции

Медленный заряд (Переменный ток)	Быстрый заряд (Постоянный ток)
+ Меньшая стоимость за точку заряда	- Выше стоимость заряда
+ Меньшая пиковая мощность	- Выше пиковая мощность
- Долгий процесс зарядки	+ Быстрая зарядка за 30 минут
- Только в местах длительной стоянки	+ Установка в местах кратковременных стоянок

В результате анализа было определено, что технология быстрой зарядки является более предпочтительной, чем технология медленной зарядки. Основные преимущества быстрой зарядки: время зарядки, доступность, универсальность. Эти параметры становятся заманчивыми для потребителя, поэтому при развитии инфраструктуры в городах страны рост электромобилей на дорогах будет обеспечен. В заключении исследования стоит указать, что для изменения транспортной системы страны нужна поддержка государства не только для развития инфраструктуры зарядных станции, но и для приобретения и обслуживания электромобилей [4].

## Источники

1. Удодов, М. С. Концепция развития городской сети станций быстрого заряда электромобилей // Молодой ученый. – 2020. – № 23 (313). – С. 137-143. [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/313/71247/> (дата обращения: 28.09.2022).

2. Lambert F. Tesla deploys new mobile supercharger powered by megapack. 2019(accessed Nov 28, 2019), <https://electrek.co/2019/11/29/tesla-mobile-supercharger-megapack/>.

3. Mou X., Zhao R, and Gladwin D.T. Vehicle-to-vehicle charging system fundamental and design comparison in IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2019, pp. 1628–1633.

4. Юсупова И. В., Арзамасова А. Г., Селезнев Д. К. Актуальная повестка развития зарядной инфраструктуры для транспортных средств с электродвигателями в России // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2022. – № 3 (66). – С. 123-136.

## МЕТОД ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Князев А.С.

ФГАОУ ВО «СФУ», г. Красноярск, Россия

knezee@mail.ru

В тезисах для оценки состояния трансформаторов и принятия управляющих решений в эксплуатации предлагается метод с использованием таблиц решений. Используя этот подход, оценка состояния силового трансформатора может быть выполнена с учетом изменений диагностических параметров, определенных на основе теории нечетких множеств.

**Ключевые слова:** трансформаторы, неопределенность диагностических параметров, таблицы решений, теория нечетких множеств.

Состояния силовых трансформаторов (СТ) классифицируются следующим образом: N – не требуется вмешательства в эксплуатацию СТ в предстоящий период; A – требуется вмешательство без отключения СТ в ближайшее время; B – требуется проведение технического обслуживания и ремонта (ТОиР) с отключением СТ в течение предстоящего периода; R – требуется вывод СТ из работы для ТОиР.

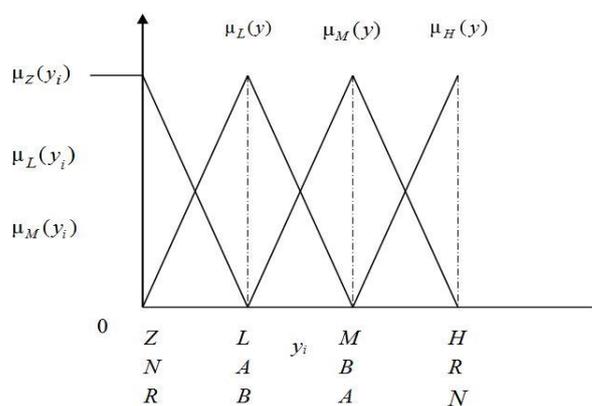
Таблицы решений (ТР) в простой форме представляют связь между множеством независимых условий и действий. Строка (или группа) в ТР является основным импликантом для данного выходного состояния СТ [1].

Применение теории нечетких множеств позволяет формализовать процесс принятия решений в процессе эксплуатации при нечетких условиях [2]. Нечеткое подмножество A множества X характеризуется функцией принадлежности  $\mu_A(x)$  из интервала  $[0,1]$ .

СТ имеет оценки степени принадлежности к состояниям N, A, B, R в соответствии с данными мониторинга диагностических параметров  $\{y_{ij}\}$ . Для этого используют функции принадлежности (см. рисунок).

Такие функции строятся для каждого диагностического параметра. Здесь: Z – нулевой уровень, L – низкий уровень, M – средний уровень, H – высокий уровень значения параметра. Значения функции принадлежности  $\mu_k(y_i)$  лежат в интервале  $[0,1]$ .

Для оценки текущего состояния силового СТ были получены значения диагностических параметров (концентрация газов). Количество наблюдений равно  $j=1, \dots, 7$ , количество параметров –  $i=1, \dots, 7$ .



Функции принадлежности диагностических параметров

Если произведены измерения и получен ряд значений  $[y_i]_j, j=1, \dots, 7$  для объекта или наблюдения  $j$ , причем, возможно, некоторые измерения отсутствуют, то ряд  $[y_i]_k$  образует таблицу оценок  $[\mu_X(y_i)]_k$ , а ряд  $[y_i]_j$  – таблицу  $[\mu_X(y_i)]_j$  (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1

Результаты наблюдений параметров  $[\mu_X(y_i)]_1$

i	1	2	3	4	5	6	7
H	0	0,4	0	0	0	0	0,857
M	0	0	1	0	0	0,857	0,14
L	0,14	0	0	0,7	0	0,14	0
Z	0,857	0,57	0	0,28	1	0	0

Таблица 2

Нормальные уровни параметров  $[\mu_X(y_i)]_{11}$

i	1	2	3	4	5	6	7
H	0	0	0	0	0	0	0
M	0	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0
Z	1	1	1	1	1	1	1

Накладывая таблицу  $[\mu_X(y_i)]_1$  на  $[\mu_X(y_i)]_{11}$ , отмечаем совпадение ненулевых элементов. Вычисляем в каждой клетке совмещенной таблицы степень принадлежности для пересечения множеств  $X_j$  и  $X_k$ , которая определяется, как минимум из  $\mu_X(y_i)_j$  и  $\mu_X(y_i)_k$  и строим таблицу  $[\mu_X(y_i)]_{jk}$ .

Таблица решений  $[\mu_X(y_i)]_{11,1}$  для состояния N

Состояния трансформатора при уровнях	Функции принадлежности параметров $\mu_X(y_i)$							Выход $\mu_X(y_i)_{cp}$
	1	2	3	4	5	6	7	
R(Z)	0	0	0	0	0	0	0	0
B(L)	0	0	0	0	0	0	0	0
A(M)	0	0	0	0	0	0	0	0
N(H)	0	0,57	0	0	0	0	0,857	0,204

При этом наложении отмечаются две точки совпадения лингвистических оценок для состояния N. Функция принадлежности к объединению нечетких множеств в каждой точке совпадения  $i$  определяется как максимум из  $\mu_X(y_i)$  и  $\mu_Y(y_i)$ .  $\mu_X(y_i)_{cp} = 0,204$  означает, что уверенность о возможности состояния N составляет около 20,4 %.

#### Источники

1. Хамби, Э. Программирование таблиц решений / Э. Хамби: Пер. с англ. С. В. Диева; под ред. Э. З. Любимского. – М.: Мир, 1976. – 88 с.
2. Zadeh, L.A. Fuzzy sets as a basis for theory of possibility / L.A. Zadeh // Fuzzy Sets and Systems (1), 1978. – P. 3– 28.

УДК 621.311

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Латыпова А.А.  
 ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
 alsuu\_es@mail.ru  
 Науч. рук. доц. Балобанов Р.Н.

В тезисе приводится сравнительный анализ трансформаторов с масляной и элегазовой изоляцией, по результатам которого выявляются достоинства, недостатки и особенности применения элегазовых трансформаторов.

**Ключевые слова:** элегаз, масляные трансформаторы, трансформаторы с элегазовой изоляцией.

На вновь проектируемых станциях или при расширении действующих станций целесообразно устанавливать более современное

и надежное оборудование. Установка трансформаторов с элегазовой изоляцией позволит сделать производство электроэнергии ещё более экологичным. Также требования пожаробезопасности мощных высоковольтных подстанций в жилых районах могут быть выполнены с установкой элегазовых трансформаторов [1].

Конструкции газонаполненных трансформаторов отличаются от масляных. Наиболее существенное отличие состоит в системе охлаждения и изоляционной среде. В элегазовых трансформаторах для уменьшения электрической напряженности в газовых промежутках применяют изоляционные материалы с малой величиной диэлектрической проницаемости. В частности, для витковой изоляции используют синтетические пленки, такие как полиэтилентерефталат (ПЭТ) или полифенилсульфид (ПФС). Для повышения нагревостойкости изоляции (до класса Е) применяют полиарамидную бумагу. Барьеры в главной изоляции выполняют из полиэтилентерефталата

Применяемый РПН в элегазовых трансформаторах имеет следующие отличия от РПН для масляных трансформаторов:

- в контакторе применяются вакуумные камеры, чтобы исключить загрязнение элегаза продуктами горения дуги;
- контактор размещается в отдельном газовом отсеке для обеспечения его периодического обслуживания

Поскольку избиратель размещается в элегазе, то это не позволяет применить смазку контактов маслом. Поэтому вместо скользящих контактов применяются контакты катящегося типа [2]. Устройство РПН устанавливается в отдельном отсеке, что позволяет обеспечить его периодическое обслуживание.

Основные отличия между трансформаторами с масляной и элегазовой изоляцией приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Отличия между масляными и элегазовыми трансформаторами

Масляный трансформатор (МТ)	Трансформатор с элегазовой изоляцией (ЭТ)
1	2
Изоляция/охлаждение	
Изоляционное трансформаторное масло	Гексафторид серы (SF <sub>6</sub> ) Давление 0,14 или 0,43 МПа-г (20 С)
Твердый изоляционный материал	
Промасленная бумага, плиточный картон	ПЭТФ-пленка, ПФС-пленка, арамидная бумага, плиточный картон

1	2
Расширительный бак	
Необходим	Не требуется
Переключатель выходных обмоток трансформатора под нагрузкой	
Отводной переключатель – переключение дуг в масле	Отводной переключатель – вакуумный прерыватель
Устройство переключения ответвлений – скользящий контакт	Устройство переключения ответвлений – роликовый контакт

Отличие состоит также в габаритах масляных и элегазовых трансформаторов. Если сравнить размеры трансформаторов одного класса мощности и напряжения, получим следующие данные:

Марка трансформатора	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм
ТРДНС-63000/220-У1	8200	6200	7235
GIT-63MVA-220kV (Toshiba)	9000	6000	6300

Отличие в высоте трансформаторов обуславливается отсутствием в элегазовых трансформаторах расширительного бака и устройств сброса давления. Это позволяет уменьшить высоту помещения трансформаторной подстанции. Устройства сброса давления не требуются, так как повышение давления в элегазовых трансформаторах пренебрежительно мало, что можно увидеть по графику на рисунке 1, где показано схематично повышение давления в результате неисправности у масляных и элегазовых трансформаторов [3].

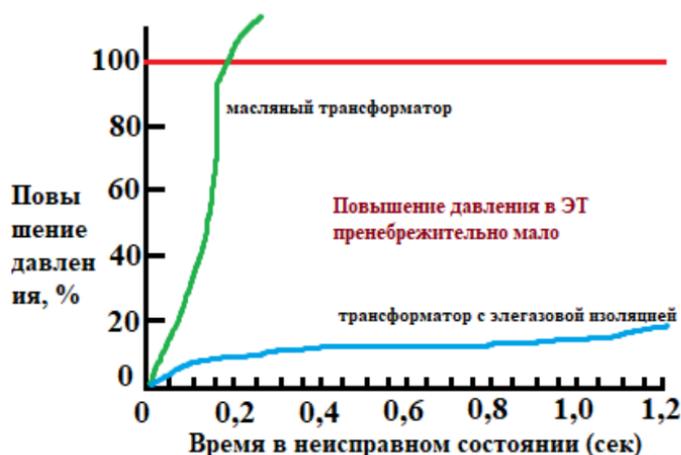


Рис. 1. Повышение давления в результате внутренней неисправности

Принимая все вышесказанное во внимание, можно отметить некоторые особенности элегазовых трансформаторов:

- пожаро- и взрывобезопасность;
- компактность, что позволяет применять их в густонаселенных городских районах и закрытых подстанциях;

Также достоинством элегазовых трансформаторов выступает их общая герметизация. Это означает, что оборудование почти не зависит от условий окружающей среды, следовательно, их можно устанавливать в местностях со сложными климатическими условиями.

Основным недостатком в настоящее время является достаточно высокая стоимость элегазовых трансформаторов (примерно в 3 раза выше, чем стоимость масляных трансформаторов), также отсутствие отечественных производителей элегазового оборудования больших мощностей.

### **Источники**

1. Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н., Балобанов Р.Н. Особенности конструкции трансформаторов с элегазовой изоляцией // Вестник Казанского технологического университета, 2013: Т. 16, №. 4. – С. 218-220.

2. Минлибаев М.Р., Мелешин А.Ю. Трансформаторы с элегазовой изоляцией // Научный альманах, 2015, № 10-3 (12). – С.455-457.

3. Трансформатор с элегазовой изоляцией. Toshiba Gas Insulated Transformer. – Каталог продукции.

УДК 543.429.9

## **ДИАГНОСТИКА ШТАНГОВОЙ СКВАЖИННОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПО ПАРАМЕТРАМ ВАТТМЕТРОГРАММЫ**

Манахов В.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Valeriy\_Manakhov@mail.ru,

Науч. рук. доц. Цветков А.Н.

В тезисе рассмотрены перспективы применения диагностики ШСНУ методом спектрального анализа массива ваттметрограммы, как одного из основных способов неразрушающего контроля нефтяных установок.

**Ключевые слова:** диагностика, штанговая скважинная насосная установка, ваттметрограмма, спектр, Фурье, Matlab.

В России более половины всех скважин эксплуатируются с помощью штанговых скважинных насосных установок (ШСНУ), в работу которых производится непосредственным подключением двигателя к питающей сети с помощью магнитных пускателей, коммутационных и управляющих аппаратов (прямой пуск).

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций на скважинах, вызванных поломками оборудования ШСНУ, необходимо осуществлять постоянный контроль и диагностику состояния оборудования ШСНУ.

Ваттметрирование позволяет диагностировать работу ШСНУ. Ваттметрограмма представляет собой зависимость мощности, потребляемой электродвигателем станка-качалки от времени, в зависимости угла поворота кривошипа:  $P(t)$ ,  $P(\phi)$ , где  $t$  - время в течении одного периода  $T$  качания балансира СК,  $\phi$  - угол поворота кривошипа.

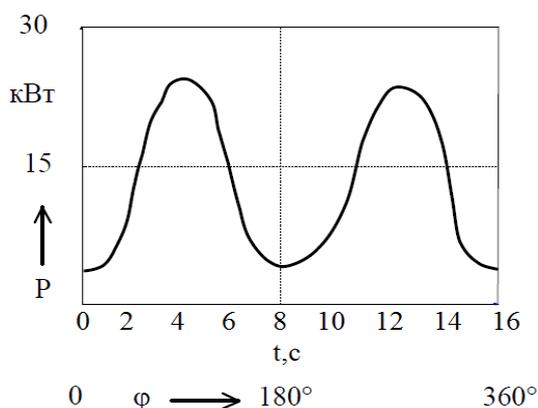


Рис. 1. Ваттметрограмма при нормальной работе установки

Для построения спектра нам нужно снять периодический сигнал и сделать процедуру преобразования Фурье. Периодическим сигналом будет служить ваттметрограмма, который представляет собой зависимость мощности, потребляемой электродвигателем, измеряемого станка-качалки действующей нефтяной штанговой скважинной насосной установки, во времени. Исходными данными для анализа является сам массив ваттметрограммы, полученный путем измерения мгновенных значений тока и напряжения с их последующим перемножением.

Спектр сигнала существует, если сигнал  $S(t)$  можно представить в виде суммы гармонических колебаний. Представление  $S(t)$  в виде суммы гармонических колебаний называют спектральным разложением Фурье.

$$S(t) = A \cos(2\pi ft + \Phi) \quad (1)$$

В некоторых случаях обводнение продукции скважин месторождения приводит к образованию водонефтяных эмульсий. Содержание в нефти воды называется нефтяной эмульсией – это есть механическая смесь нефти и пластовой воды, нерастворимых друг в друге и находящихся в мелкодисперсном состоянии (в виде мелких капель).

Далее построим с помощью программного комплекса Matlab эталонный спектр и спектр, где наблюдается рост пенообразования, и посмотрим спектральные зависимости в связи с этим явлением. Для удобства сравнения поместим все спектры на одном рисунке (Рис. 2). На этом рисунке зеленым цветом построен спектр при нормальной работе, без дефектов ШСНУ. Красным цветом выделен спектр при образовании водонефтяной эмульсии, что негативно сказывается на станке-качалке нефти.

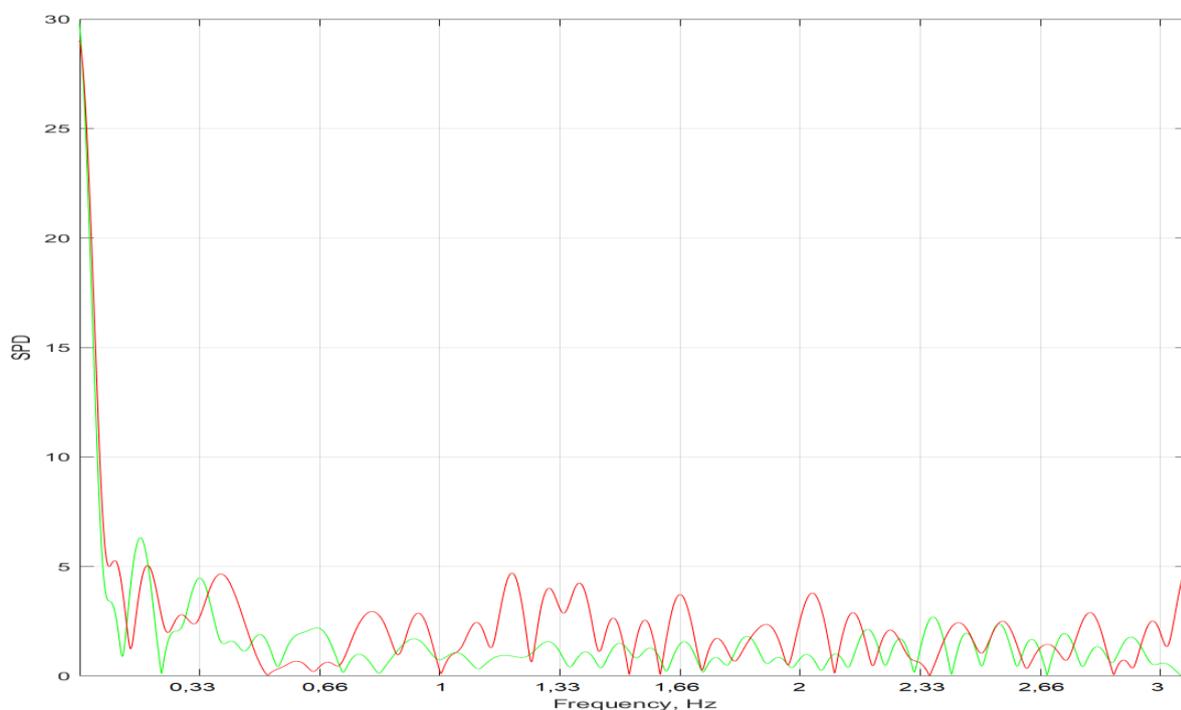


Рис. 2. Сравнение эталонного спектра а и спектра при нефтяной эмульсии

На рисунке 2 на оси абсцисс частота соответствует частоте вращения кривошипно-шатунного механизма, на оси ординат мы наблюдаем амплитуду данного спектра. На частоте от 0,7 Гц до 1,66 Гц рост амплитуды спектра при нефтяной эмульсии относительно нормальной работы установки.

Для обеспечения требуемой надежности и эффективности добычи нефти, актуально остается вопрос выявления дефектов и неисправностей в штанговых скважинных насосных установках в процессе добычи.

## Источники

1. Манахов В.А., Цветков А.Н. Спектральный анализ механических дефектов по параметрам ваттметрограммы штанговых скважинных насосных установок в процессе эксплуатации. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 50-62.
2. Манахов В.А., Цветков А.Н. Определение состояния и функционирования оборудования штанговых скважинных насосных установок в процессе эксплуатации по параметрам ваттметрограммы. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 3. – С. 127-139.
3. Хакимьянов М. И. Повышение энергоэффективности и оптимизация режимов работы электроприводов в нефтедобывающей промышленности: дис. ... док. техн. наук: 05.09.03: защищена 01.03.19: / Хакимьянов М. И. - М., 2018. – 355 с.
4. Сергиенко А.Б. MATLAB и преобразование Фурье / Exponentapro Математика в приложениях. – 2003. – № 3. – С. 84–86.
5. Абдуллазянов Э.Ю., Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М., Табачникова Т.В., Шумихина О.А, Гибудуллин Р.Р. Исследование качества функционирования электрических аппаратов низкого напряжения в составе электротехнических комплексов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 6. – С. 3-15. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-3-15.

УДК 338.514

## РОЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ЭКОНОМИКЕ ВЕДУЩИХ СТРАН ПО ВЕЛИЧИНЕ ВАЛОВОГО ВНУТРЕННЕГО ПРОДУКТА

Мухаметшин Р.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

darthrazif@gmail.com

Науч. рук. доц. Сидоров А.Е.

В данной статье рассмотрена взаимосвязь энергетики и экономики, и их взаимовлияние друг на друга. Также, затрагиваются основные движущие силы спроса на различные виды энергии, а именно: экономическая деятельность, население и технологический прогресс.

**Ключевые слова:** энергоснабжение, энергетика, энергоэффективность, экономика, ВВП, технологический прогресс.

Энергия подпитывает экономику, что предусматривает создание необходимой энергетической инфраструктуры – от добычи ресурсов и материалов до технологий производства электроэнергии, а также других энергоносителей и конечного оборудования для предоставления желаемых энергетических услуг. Экономика также является финансистом энергетических систем и их компонентов и потоков энергии. Центральный вопрос заключается в следующем: сколько энергии необходимо экономике для бесперебойного функционирования и, таким образом, для повышения социального развития и благосостояния.

Развивающаяся энергетическая система олицетворяет технологические изменения и инновации. Технология является важнейшим связующим звеном между энергетической системой и экономикой, особенно современной экономикой [1]. Энергетика и экономика развиваются в тандеме, а технологии определяют, какие энергоносители и услуги может предоставить система и какие могут быть востребованы экономикой. Промышленная революция была основана на угле, который обеспечивал промышленность и домохозяйства более концентрированным топливом. Это позволило повысить производительность по отношению к древесному топливу и способствовало экономическому прогрессу и урбанизации. В девятнадцатом веке обильный доступ к углю повысил производительность и стимулировал экономическое развитие.

Тремя основными движущими силами спроса на энергию являются численность населения, экономическая активность на душу населения и эффективность технологий. Основываясь на этих фундаментальных принципах, в этом столетии, вероятно, произойдут серьезные сдвиги в спросе на энергию и развитии. Согласно недавнему отчету ООН [2], население мира к 2050 г. прогнозируется на уровне 9,3 млрд человек, что является пересмотром в сторону увеличения по сравнению с предыдущими отчетами [3]. Практически весь этот прогнозируемый прирост населения произойдет в развивающихся странах. Для сравнения, нынешнее население мира составляет 7 миллиардов человек, а еще в 1930 году оно составляло всего 2 миллиарда.

В свете этих огромных демографических проблем мировая экономика значительно отстает, особенно в промышленно развитых странах, в то время как показатели развивающихся экономик недостаточны для обеспечения всех. Учитывая ежегодный прирост в мире около 40 миллионов рабочих и средний уровень ВВП на одного работника, мировая экономика должна производить не менее 500 миллиардов долларов

дополнительной продукции каждый год только для того, чтобы нанимать новых рабочих [4]. При нынешних темпах роста десятки миллионов рабочих останутся без работы. К сожалению, вопрос о том, как добиться устойчивого мирового экономического роста, до сих пор эффективно не решается.

Рост мирового благосостояния обещает улучшение благосостояния, но также сопряжен со значительными экосистемными рисками, если сохранятся преобладающие модели спроса, предложения и отходов энергии. Со времен промышленной революции экономическое развитие и расширение были связаны с увеличением потребления энергии, и эта связь остается прочной и сегодня. Без грандиозных преобразований в глобальной энергетической системе, ископаемые виды топлива останутся доминирующим источником энергии, по крайней мере, до середины века при любых достижимых обстоятельствах, что является определенной проблемой для достижения стабилизации парниковых газов (ПГ) на уровне 450 частей на миллион. Ископаемое топливо с улавливанием и хранением углерода или переход от ископаемого топлива к более чистым, возобновляемым и другим неуглеродным источникам энергии потребуют гораздо более значительных и устойчивых обязательств, а также ускоренных первоначальных инвестиций. В 2009 г. неископаемые топливные энергетические ресурсы обеспечивали примерно 22 % мировых запасов первичной энергии. Обеспечение надлежащего энергоснабжения при минимальных выбросах парниковых газов начинается с широко-масштабного внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) и методов [5], но в конечном итоге потребуются значительное расширение масштабов этих НДТ. В любом случае это происходит только тогда, когда у людей есть стимулы для внедрения инновационных технологий, и они готовы отказаться от чрезмерного текущего потребления ради будущей выгоды. Инвестиции в НДТ и технический прогресс вызывают серьезную озабоченность, поскольку требования краткосрочной отдачи от инвестиций ограничивают возможности стратегического развития, от которых в конечном итоге зависит эта отдача.

На рис. 1 показано неравенство доходов, измеренных в виде ВВП на душу населения, в 11 регионах мира в 2005 г. Уровень потребления первичной энергии, по-видимому, отражает уровень благосостояния в регионе, и существует общее понимание того, что доступ к чистым и доступной энергии имеет решающее значение для достижения обеспечения устойчивого экономического развития [6].

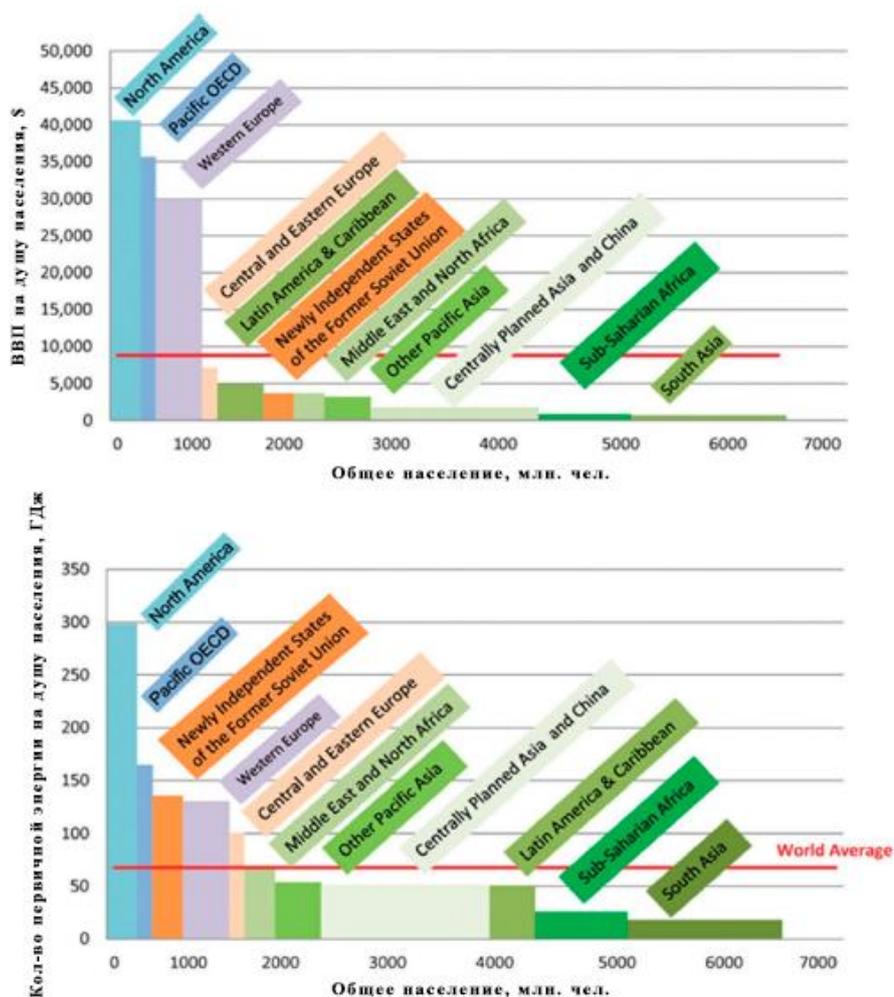


Рис.1. Региональные различия в доходах и потреблении энергии на душу населения

Энергетические приоритеты стран и спрос на услуги резко меняются по мере развития их экономики. Так, можно рассмотреть представление связи между экономикой и энергетикой в виде агрегированном отношении:

$$E = POP \times \frac{GDP}{POP} \times \frac{E}{GDP}$$

где спрос на энергию (E) представляет собой произведение численности населения (POP), дохода на душу населения (GDP/POP) и энергоёмкости экономики (E/GDP), обычно измеряемой в мегаджоулях на единицу экономической продукции или ВВП.

Таким образом, глобальная энергетическая безопасность и устойчивость в 21 веке будут зависеть не столько от общей численности населения планеты, сколько от доходов населения и от того, как эти доходы распределяются [3]. Нации сильно различаются по своим доходам.

Например, на страны-члены Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) в настоящее время приходится примерно 18 % населения мира, но на них приходится почти три четверти ВВП. Для сравнения, на Китай и Индию приходится около 37 % (20 % и 17 % соответственно) населения мира и около 11 % мирового ВВП с точки зрения рыночных обменных курсов.

### **Источники**

1. Arthur W.B. The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves. New York: The Free Press, 2009 – 246 p.

2. UNFPA. State of the World Population 2011 – People and Possibilities in a World of 7 Billion. New York: United Nations Population Fund (UNFPA), 2011 – 132 p.

3. UNDESA. World Economic and Social Survey 2011 – the Great Green Technological Transformation. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), 2011 – 251 p.

4. Martin P. Migrants in the Global Labor Market. New York: Prepared for the Policy Analysis and Research Programme, Global Commission on International Migration (GCIM), 2005 – 59 p.

5. Pacala S., Socolow R. Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. Science, 305 (5686): 968, 2004 – 972 p.

6. AGECC. Energy for a Sustainable Future. New York: The United Nations Secretary- General’s Advisory Group on Energy and Climate Change (AGECC), 2004 – 44 p.

УДК 621.311.68

## **АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ С ИМИТАЦИЕЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ**

Муханова П.П.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

muhanova-polina@mail.ru

Науч. рук. доц. Цветков А.Н.

В то время как внедрение электромобилей ускоряется беспрецедентным образом, отсутствие инфраструктуры для зарядки электромобилей препятствует

развитию рынка электромобилей. Чтобы компенсировать эти недостатки, мобильные зарядные станции (МЗС) могли бы сыграть заметную роль в ускорении проникновения электромобилей, предоставляя услуги зарядки без ограничений по месту и времени процесса зарядки. В статье обсуждаются преимущества МЗС, связанные с ней проблемы и, наконец, представлены пробелы в исследованиях этой области.

**Ключевые слова:** инфраструктура зарядки электромобилей, быстрая зарядка, мобильная зарядная станция, автономная зарядка, технические преимущества.

Электромобили неизбежно проникают в жизнь общества благодаря их эффективности и экономичности. Все больше автовладельцев в мире отдают предпочтение электромобилям (Electric Vehicle - EV) вместо традиционных транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Принцип действия электромобиля заключается в том, что вместо двигателя внутреннего сгорания используется один или несколько электромоторов. Обычный автомобиль приходится заправлять на АЗС бензином, газовым или дизельным топливом, а EV-транспортные средства требуют зарядки аккумулятора электричеством [4]. Электродвигатель электромобиля использует постоянный ток. Соответственно, постоянный ток аккумулируется и в высоковольтных батареях электромобиля. При помощи внутреннего зарядного устройства может быть преобразован переменный ток общей электрической сети в постоянный ток батареи электромобиля. Но данный способ генерации постоянного тока ограничен пропускной способностью. Электрическая зарядная станция (ЭЗС) исключает вероятность возникновения аварийных ситуаций, ограничивая электромобиль той порцией электричества, которую он способен переработать. Другой принцип действия используется на «быстрых» зарядных станциях, в которых исключено промежуточное звено в виде преобразующего бортового зарядного устройства, тем самым электромобиль заряжается постоянным током. Однако, при быстрой зарядке увеличивается деградация высоковольтной батареи электромобиля поскольку в процессе заряда происходит значительный ее нагрев или перегрев, который приводит к снижению емкости. Рассмотрим мобильные зарядные станции (МЗС).

Мобильная зарядная станция (МЗС) – это новый тип оборудования для зарядки электромобилей, которое предлагает услуги зарядки электромобилей в любом месте и в любое время. МЗС позволяют не перегружать электросети при большом потоке электромобилей.

Существуют МЗС на базе грузовиков (МЗСГ) - это электрические или гибридные транспортные средства, например, грузовик или фургон, оборудованный одной или несколькими зарядными батареями, которые

могут преодолевать расстояние в определенном районе для зарядки электромобилей [2].

Портативные мобильные зарядные станции (МЗСП) включают в себя мобильную аккумуляторную систему накопления энергии, которая буксируется или переносится транспортным средством, в отличие от МЗСГ, что обеспечивает автономную работу МЗСП. Питание МЗСП может осуществляться через встроенный трансформатор от электросетей среднего напряжения (6, 10 кВ) или от местного генератора (см. рисунок) [2].



Мобильная зарядная станция компании Mobi

По мощности зарядные станции для электромобилей в России, как правило, делят на четыре типа:

1. Медленные: используют переменный ток и имеют мощность до 6 кВт. Часто такими зарядками являются штатные зарядные устройства электромобилей, подключаемые в обычные бытовые розетки. Время зарядки: до суток.

2. Средние: от 7 до 22 кВт переменного тока. Представляют собой специализированные зарядные устройства. Скорость зарядки зависит от модели электромобиля, а точнее от преобразователя тока, установленного в нем. Время зарядки: около пяти часов.

3. Быстрые: используют постоянный ток от 50 кВт до 100 кВт.

4. Ультрабыстрые: в основном используют постоянный ток и имеют мощность от 100 кВт и более.

Основные преимущества МЗС - универсальность, мобильность и гибкость использования. Портативная зарядка подойдет для использования как владельцам частных домов, так и тем, кто живет в городе в многоквартирном доме [6].

Мобильные зарядные станции (МЗС) являются актуальным решением для развития зарядной инфраструктуры [3].

Разработанные зарядные станции перед применением обязательно должны пройти имитацию режимов работы на испытательном стенде.

### **Источники**

1. Трубачев И. И., Кольга В. В. Беспроводная зарядная станция // Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г. – 2016. – С. 377.

2. Сафин А. Р., Ившин И. В., Цветков А. Н., Петров Т. И., Басенко В. Р., Манахов В. А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2021. – № 5. – С. 100-114.

3. Горбунова А.Д., Анисимов И.А. Научное обоснование расположения зарядных станций для электромобилей // Прогрессивные технологии в транспортных системах: сборник материалов XIV международной научно-практической конференции. Оренбург: Оренбургский государственный университет. – 2019. – С. 158-162.

4. Cui S., Zhao H., Wen H., and C. Zhang. Locating multiple size and multiple type of charging station for battery electricity vehicles. Sustainability. – 2018. – V. 10. no. 9. – p. 3267.

5. Данилов А. Современные промышленные датчики тока // Современная электроника. – 2004. – №. 10. – С. 26-35.

6. Константинов В.С., Новиков М.В. Перспективы развития мобильной зарядной инфраструктуры // Современные научно-практические решения и подходы: материалы Третьей Международной научно-практической конференции. Москва: Издательство Инфинити, – 2016. – С. 97-102.

УДК 621.313-57

## **ОСОБЕННОСТИ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Нигматуллин Р.Р., Павлов П.П., Вострецов Е.А., Павлов А.Э.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
nrinaz99@mail.ru, pavlov2510@mail.ru, evostretsov@yandex.ru,  
pavlov-1557-104@yandex.ru

В тезисе рассмотрен основной метод оценки технического состояния нового электрооборудования вводимого в эксплуатацию, путем сравнения результатов

измерений и испытаний, с допустимыми значениями, предусматриваемыми специальными нормами и заводскими параметрами электрооборудования и предложен метод ввода в эксплуатацию для нового несерийного электрооборудования.

**Ключевые слова:** Нормы испытания электрооборудования (Нормы), Правила устройства электрооборудования (ПУЭ), критерии оценки.

Основными нормативными документами являются **нормы испытания электрооборудования (Нормы) и Правила устройства электроустановок (ПУЭ).**

В **нормы испытания электрооборудования** представлены требования в отношении обязательных типов проверок и испытаний, а также их нормативные величины, которые применяются для проверяемых видов электрооборудования электроустановок. Нормами испытания электрооборудования определены критерии оценки, к которым относятся: допустимое сопротивление контактов, обмоток и других токоведущих частей, а также допустимое состояние изоляции и испытательное напряжения.

Согласно имеющихся правил устройства электроустановок и нормам, заключение о целесообразности ввода нового электрооборудования в эксплуатацию осуществляется на основании выводов приемо-сдаточных испытаний, которые делаются по одному или нескольким критериям, что затрудняет процесс принятия правильного и оптимального решения.

Большое применение в **процессе пусконаладочных работ и ввода в эксплуатацию нового** электрооборудования нашел метод сравнения результатов измерений партии однотипного электрооборудования. Применение данного метода основано на результатах информации, которая получена при проведении процедуры оценки технического состояния электрооборудования, а также исходя из ограничений, что все исследуемое электрооборудования однотипно и не может иметь одинаковые отказы [1, 4].

Так, например, если отдельные параметры намагничивания партии измерительных трансформаторов тока определяются ниже заданных, а ток холостого хода для отдельных измерительных трансформаторов напряжения определяются одинаково выше допустимых значений, то это можно сделать вывод, что в данном случае дефект не связан с повреждением изоляции обмоток или магнитопровода, а можно говорить об использовании в магнитопроводе не качественной стали, которая применялось при изготовления трансформаторов на предприятии.

Так же испытания электрооборудования необходимо производится при положительной температуре окружающего воздуха [2]. Если испытываемое электрооборудование помещается в теплое помещение после хранения его на открытой площадке, тем более при отрицательной температуре, то перед проведением необходимых испытаний его требуется подержать определенный промежуток времени в помещении до полного удаления конденсата с поверхности корпуса. Продолжительность прогрева оборудования сильно зависит от его размеров и определяется визуально.

В случае необходимости проведения исследований силовых электрических цепей, схем сигнализации и управления электрооборудования, на предмет проведения высоковольтных испытаний, то большое значение имеет такой показатель, как влажность окружающего воздуха. Т. к. наличие конденсата на поверхности обмоток электродвигателей и подводимых проводах может привести к пробое изоляции, что соответственно приводит к отказу, как испытательного, так и испытываемого оборудования [2, 3].

Перед началом проведения высоковольтных испытаний электрооборудования необходимо удалить пыль, грязь и влагу. Такой показатель, как атмосферное давление, явного влияния на качества проводимых испытаний не оказывает, но результаты фиксируются и вносятся в протокол.

Часто результаты испытаний и измерений сравниваются для оценки с результатами предыдущих измерений и испытаний [4]. Для повторно вводимого в эксплуатацию электрооборудования такими данными являются результаты заводских измерений и испытаний.

Не всегда бывают достаточными проверки и испытания, предусматриваемые Нормами – это относится к несерийному оборудованию. В этом случае работы проводятся согласно разработанной программы, которая составляется проектной организацией или заводом-изготовителем, в составлении такой программы так же должны участвовать представители наладочной организации.

Последним этапом процесса оценки целесообразности подключения нового электрооборудования и ввода его в эксплуатацию является проведение комплекса мероприятий по проверке его на функционирование и опробование его в работе [5].

## **Источники**

1. Павлов П.П., Гараева А.Р., Залялов Р.Р. Поиск отказов в сложных технических системах // В сборнике: «Актуальные вызовы современной

науки». Сборник научных трудов по материалам IX Международная научная конференция Переяслав-Хмельницкий. – 2017. – Выпуск 9. – Часть 2. – С. 65-67.

2. Aukhadeev A., Pavlov P., Butakov V., Fandeev, V. Technique for optimization of diagnostic parameters composition for power systems objects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2019), 643(1), №012013.

3. Хуснутдинов А.Н., Бутаков В.М., Павлов П.П. Methods of optimizing the troubleshooting parameters of electric power facilities. IOPConf. Series: MaterialsScienceandEngineering 915 (2020) 012047 doi:10.1088/1757-899X/915/1/012047.

4. Гараева А.Р., Павлов П.П., Корольков А.Ю., Соловьева С.И., Залялов Р.Р. Оценка текущего технического состояния электротехнического оборудования. IX Международная научная конференция 26-27 января 2017 г. «Актуальные вызовы современной науки». Сборник научных трудов. Переяслав-Хмельницкий. – 2017. – Выпуск 9. – Часть 2. – С. 63-65.

5. Скретарев Ю.А., Левин В.М. Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов. Вестник казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т.11. – № 4 (44). – С. 55–63.

УДК 681.51

## **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА СКОРОСТНОГО СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАСТРОЕК**

Оморов М. Б.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
omorovmeder23@gmail.com  
Науч. рук. доц. Бутаков В.М.

В статье проведен анализ показателей перерегулирования переходного процесса при различных видах настроек контуров тока и скорости скоростного следящего электропривода постоянного тока

**Ключевые слова:** электрический привод, электродвигатель, контур тока, контур скорости, стандартная настройка, перерегулирование.

Исследование показателей качества переходного процесса проводилось для электрического привода, состоящего из контура тока (КТ)

и контура скорости (КС) [1]. В качестве преобразователя электрической энергии в механическую выбран электродвигатель постоянного тока.

В случае применения стандартных настроек выполняется настройка КТ на оптимум по модулю (ОМ), а КС на симметричный оптимум (СО) [2]. В таком случае динамические характеристики контуров должны быть близки к типовым (табл. 1).

Таблица 1

Типовые характеристики контуров при стандартных настройках

Характеристики \ Виды настроек	Оптимум по модулю	Симметричный оптимум
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

$$W_{KT}(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma_{KT}} s(T_{\Sigma_{KT}} s + 1)}.$$

Передаточная функция КС, настроенного на СО, имеет вид

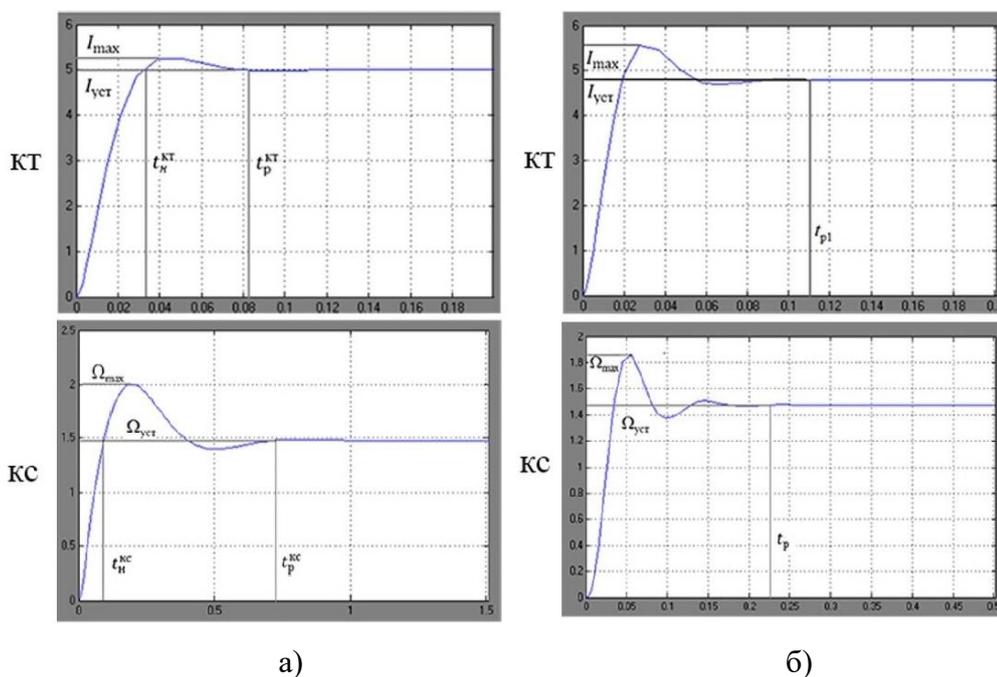
$$W_{KC}(s) = \frac{(4T_{\Sigma_{KC}} s + 1)}{8T_{\Sigma_{KC}}^2 s^2 (T_{\Sigma_{KC}} s + 1)}.$$

Для настройки контуров применены ПИ-регуляторы со следующими передаточными функциями:

$$W_{PT}(s) = \frac{K_{PT}T_{PT}s + K_{PT}}{T_{PT}s}; \quad W_{PC}(s) = \frac{K_{PC}T_{PC}s + K_{PC}}{T_{PC}s}.$$

Настройка методом логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) подразумевает корректировку неизменяемой ЛАЧХ для получения желаемой ЛАЧХ. ЛАЧХ корректирующего устройства определяется как разность желаемых ЛАЧХ и асимптотических ЛАЧХ неизменяемой части электрического привода, построенных по его передаточной функции.

Для этого необходимо построение и, вследствие чего определяется. Этот метод позволяет выбрать требуемые значения перерегулирования и время регулирования [4].



Переходные характеристики КТ и КС при стандартной настройке (а) и настройке методом ЛАЧХ (б)

На рисунке показаны переходные характеристики КТ и КС, настроенных с применением различных методов.

Результаты исследования подтвердили, что показатели качества процесса перехода соответствуют установленным значениям с минимальной погрешностью равной 10-15 % [3]. Моделирование настроенного электрического привода показало следующие значения показателей качества переходного процесса:

$$а) \sigma_{КТ} = \frac{5,25 - 5,0}{5,0} \cdot 100\% = 5\%; \quad \sigma_{КС} = \frac{2 - 1,48}{1,48} \cdot 100\% = 35,1\%;$$

$$б) \sigma_{КТ} = \frac{5,6 - 4,8}{4,8} \cdot 100\% = 17\%; \quad \sigma_{КС} = \frac{1,88 - 1,49}{1,49} \cdot 100\% = 26\%;$$

По результатам исследования получены следующие выводы: метод стандартных настроек позволяет получить систему со стандартными показателями качества переходного процесса; метод ЛАЧХ позволяет

получить любые требуемые показатели качества переходного процесса, однако 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. / Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 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. – 752с.

3. Онищенко Г.Б. Электрический привод: Учебник. – 3-е изд. – М.: Изд. Центр Академия, 2013. – 288 с.

4. Li G. J. Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU / G. J. Li, X. Y. Feng, L. J. Wang // Transactions of China Electrotechnical Society. – 2017. – Vol. 22. – N 7. – Pp. 181–185.

УДК 621-313.3

## КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ ОТКАЗОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В СИСТЕМАХ ВНУТРИЦЕХОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Петров А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

petroval13@mail.ru

Науч. рук. проф. Грачева Е.И.

В тезисе рассмотрены основные классификации низковольтной коммутационной аппаратуры. Приведены факторы отказов низковольтной аппаратуры, а также возможные причины их отказов.

**Ключевые слова:** автоматические выключатели, низковольтная коммутационная аппаратура, номинальный ток, контактные соединения, конструктивные особенности.

Низковольтная коммутационная аппаратура (далее НВА) играет огромную роль в функционировании любого промышленного предприятия. К ним относят автоматические выключатели, рубильники,

контакторы, магнитные пускатели, предохранители. Отдельно выделим пакетные выключатели, которые из-за ряда недостатков всё реже находят применение.

Затруднительно выделить конкретную классификацию аппаратуры из-за огромного ассортимента предлагаемого оборудования от различных заводов-изготовителей. К основным относят: отличия по конструкции, назначению, области применения и принципу действия, а также степени защиты IP.

Исследование вопроса конструктивных и эксплуатационных особенностей НВА поможет в будущем провести оптимизацию принципов проектирования системы внутрицехового электроснабжения, а также производства и эксплуатации оборудования в этих системах. Приведем основные требования, которые предъявляются к коммутационной аппаратуре:

- 1) надежность, точность, стабильность в работе;
- 2) термическая и электродинамическая стойкость;
- 3) уровень изоляции частей, находящихся под напряжением;
- 4) оптимальные массогабаритные показатели.

На основании результата многих исследований о причинах отказов низковольтных аппаратов, выявлено следующее:

- 40 % – ошибки, допущенные при проектировании;
- 25 % – ошибки, выявленные на производстве;
- 30 % – ошибки при непосредственной эксплуатации;
- 5 % – относят естественный износ и старение аппарата.

Основное на что уделяют внимание (40% от общей трудоёмкости) при производстве коммутационных аппаратов это сборка, контроль и испытания. Поэтому проведению испытаний уделяется большое внимание на всех этапах разработки аппаратуры, ее освоения и сопровождения в производстве.

Так как испытания – это более достоверный источник информации, которые позволяют определить характеристики НВА, в дальнейшем это способствует обеспечению высокого уровня надёжности и качества аппаратов. При эксплуатации этих аппаратов внутрицехового электроснабжения происходит износ и переход с высокого уровня работоспособности на более низкий уровень.

Уровень надёжности НВА определяется быстротой износа коммутационных контактов. Степень износа контактных соединений и дальнейший отказ самого аппарата определяется следующими факторами:

- величина номинального тока и напряжения;
- характер нагрузки оборудования;
- материал из которых изготавливается контакт, их габаритные показатели;
- вибрация контактов и её продолжительность с амплитудой;
- сечения токопроводящих частей аппарата;
- жесткость контактных пружин.

НВА предназначены для работы с длительным замкнутым состоянием контактов, что определяет необходимость стабильного уровня величины сопротивлений контактных групп аппаратов.

Одним из современных способов диагностики НВА является тепловизионный контроль контактных соединений. По результатам которого установлено, что температуры нагрева коммутационных аппаратов не равны между собой (при одинаковых условиях эксплуатации). Это связано из-за неравенства сопротивлений контактных соединений. Причина этого – в имеющихся различных оксидных и сульфидных пленках на контактах аппаратов.

Тепловизионное обследование низковольтных аппаратов показывает, что в неисправных электрических аппаратах из-за образования пленок в местах контакта и неровностей площади при контакте наблюдается значительное увеличение температуры контактных соединений. В результате этого сопротивление контактов увеличилось в среднем в 2–3 раза в сравнении с начальным значением.

Все вышеперечисленные факторы имеют функциональную взаимосвязь, связанную с электрическими, техническими и тепловыми параметрами материалов из которых изготавливаются контактное соединение и система дугогашения. Проведенный анализ этих взаимосвязей и параметров даст в будущем возможность точно обосновать те критерии, которые определяют показатели работоспособности контактной системы низковольтной аппаратуры.

НВА предназначены для работы с длительным замкнутым состоянием контактов, что определяет необходимость стабильного уровня величины сопротивлений контактных групп аппаратов. В каталожных данных на низковольтные коммутационные аппараты не приводятся данные о сопротивлениях контактов и потерях мощности в контактных системах. Вследствие чего необходимым является детальный анализ и выявление функциональных зависимостей динамики величины потерь активной мощности от основных технических характеристик.

Проведено исследование низковольтных коммутационных аппаратов, применяемых в системах внутрицехового электроснабжения. Дальнейшее исследование поможет оптимизировать процесс проектирования, производства и эксплуатации НВА, а также делать рациональный выбор этих аппаратов и проводить оценку их эффективности.

### **Источники**

1. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – № 2. – С. 65-74.
2. Грачева Е.И., Наумов О.В., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Алгоритмы и вероятностные модели параметров функционирования внутризаводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 93-104. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-93-104.
3. Грачева Е.И., Наумов О.В. Потери электроэнергии и эффективность функционирования оборудования цеховых сетей. Монография. М.: РУСАЙНС, 2017. – 168 с.

УДК 621.313

## **СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Петров Т.И., Басенко В.Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
tobac15@mail.ru, vasilybas123@mail.ru

Для подтверждения практической реализации топологической оптимизации для синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) необходимо решить следующие задачи: проверить работоспособность двух исследуемых ЭД ВМ1418 ZXF, и проверить работоспособность модернизированного двигателя. Для решения данной задачи необходимо разработать и изготовить экспериментальный стенд для измерений вращающего момента с возможностью задания нагрузки.

**Ключевые слова:** синхронный двигатель с постоянными магнитами, стенд, вращающий момент, тензорезисторы, датчики.

Целью создания стенда является определение изменения вращающего момента и частоты вращения для стандартного и модернизированного электродвигателя (ЭД).

Стенд служит для выполнения следующих задач.

1. Проверка работоспособности СДПМ.
2. Измерение тока.
3. Измерение вращающего момента.
4. Наличие и возможность изменения нагрузки.

Стенд создан в ФГБОУ ВО «КГЭУ», измерения проведены в лаборатории кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

Структурная схема стенда, включающая в себя 4 основных блока представлена на рисунке 1:

- система питания;
- испытуемый ЭД;
- система измерений Zetlab (из 2х подсистем);
- программный комплекс.

Для подтверждения работоспособности ВМ1418 ZXF и определения параметров тока необходимо использовать систему питания [1], в которую входит контроллер для управления СДПМ [2] и система питания Flatrack2.

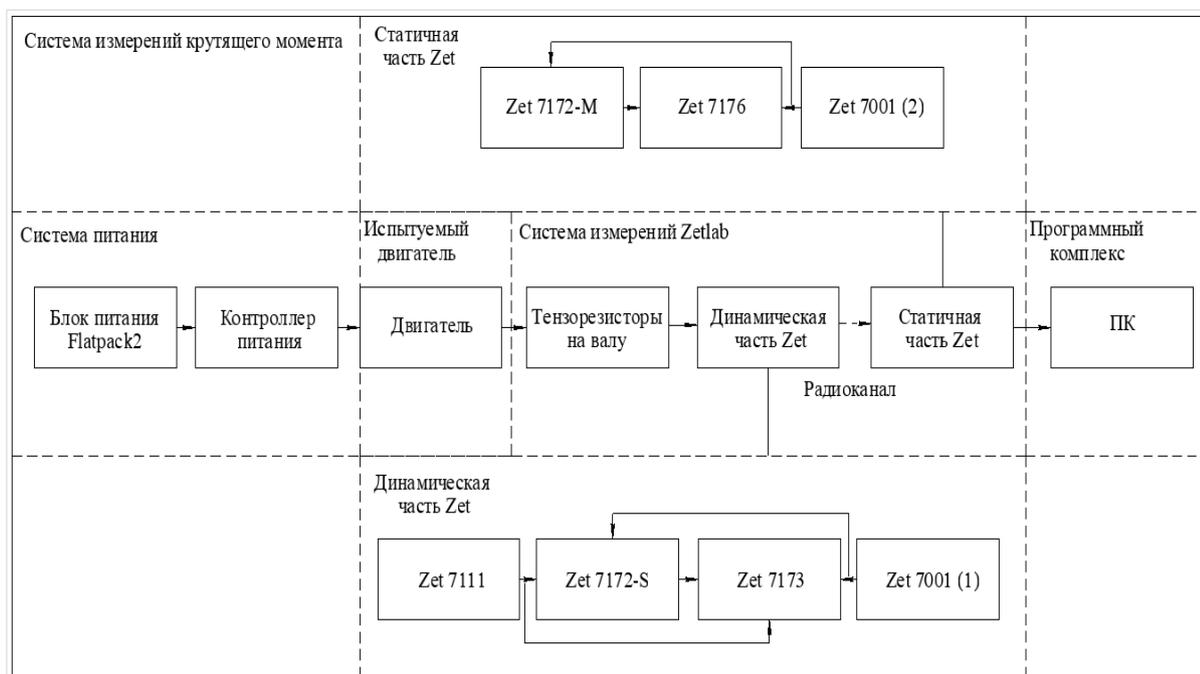


Рис. 1. Структурная схема стенда

Контроллер для управления ЭД питается от источника постоянного тока 48 В (как правило, от АКБ), сам ЭД питается от трёхфазного переменного тока. Основная задача данного элемента – обеспечить на

электромотор энергией, получаемой от аккумуляторной батареи. Ток, протекающий по обмоткам статора, создает магнитное поле, взаимодействующее с ПМ ротора СД, и ЭД начинает вращаться. Контроллер также регулирует частоту вращения [3-5].

Контроллер выполняет следующие функции:

- регулирование скорости вращения ротора СДПМ;
- защита СДПМ от токовой перегрузки (отключение при превышении температуры, которое контролируется термодатчиком);
- управление значением крутящего момента;
- возможность плавного торможения, в случае, когда импульсы резко изменяют продолжительность;
- защита источника питания от перенапряжений (происходит проверка значения  $U$  АКБ, и при ненормированном значении отключает СДПМ).

Контроллер питается от постоянного напряжения, следовательно, необходим источник питания. В нашем случае это система питания Flatpack2, компания Eltek. Основными элементами данной системы являются выпрямители и блок управления Smartpack.

Измеряющим компонентом стенда являются тензорезисторы, которые формируют тензометрические мостовые схемы.

Тензорезисторы подключаются к цифровому тензодатчику ZET711. Датчики ZET711 необходимы для определения значений веса, деформации, вращающего момента и т.п. Для обеспечения работы данных датчиков требуется подключение тензодатчиков. Тензорезисторы прикрепляются на валу СДПМ и подключаются к датчику, в котором происходит преобразование данных с резисторов в необходимые значения, в нашем случае изменение сопротивления.

Данные с датчиков ZET 7110 передаются в преобразователи интерфейса ZET 7172-M и ZET 7172-S, предназначены для организации беспроводного доступа к фрагменту измерительной линии с использованием радиоканала. ПО ZETLAB предназначено для обработки сигналов, регистрируемых измерительным оборудованием ZET с различных первичных преобразователей (датчиков).

Таким образом, разработан стенд для измерения вращающего момента и частоты вращения СДПМ.

Благодарности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00134, <https://rscf.ru/project/22-79-00134/>

## Источники

1. Петров Т.И., Сафин А.Р., Ившин И.В., Цветков А.Н., Корнилов В.Ю. Модель системы управления станком-качалкой на основе синхронных двигателей с бездатчиковым методом // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2018. – № 7-8. – С. 107-116.

2. Петров Т. И., Сафин А.Р. Разработка и реализация стенда для подтверждения эффективности топологической оптимизации ротора синхронных двигателей с постоянными магнитами // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 2(50). – С. 100-108.

3. Ho S.L., Yang Sh., Bai Ya. A Fast Methodology for Topology Optimizations of Electromagnetic Devices // Magnetics IEEE Transactions. – 2017. – V. 53. – N. 6. – pp. 1-4.

4. Татевосян А.А., Татевосян А.С., Бельский А.А., Добуш В.С. Разработка стенда для испытания синхронных генераторов с постоянными магнитами // Промышленная энергетика. – 2019. – № 12. – С. 57-62.

5. Huynh C., Zheng L., Acharya D. Losses in High Speed Permanent Magnet Machines Used in Microturbine Applications // Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2009. – Vol. 131. – pp. 697–703.

УДК 621-313.3

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ

Петрова Р.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

1998renata@mail.ru

Науч. рук. проф. Грачева Е.И.

В тезисе рассмотрены основные методы исследования надежности низковольтных электрических аппаратов. Приведены результаты изучения некоторых характеристик, определяющих их работоспособность.

**Ключевые слова:** надежность, электрооборудование, система электроснабжения, надежность элементов цеховой сети, низковольтные аппараты, цеховая сеть, система электроснабжения.

К электрооборудованию цеховой сети относятся устройства, в первую очередь предназначенные для коммутации электрических цепей, защиты электрооборудования при перегрузках. К другим можно отнести

оборудование, предназначенное для распределения электроэнергии и регулирования режимов работы электроприемников. По результатам исследований наиболее низким по надежности элементом электроаппаратов является её контактная группа.

Важным аспектом изучения надежности энергосистемы является установление количественных показателей. С их помощью можно оценить вероятность проявления этих свойств, которые зависят от условий и характеристик. Способность количественно оценивать надежность является одним из основных требований для создания эффективной системы управления надежностью электрооборудования цеховых сетей.

Рассмотрим основные зависимости надежности коммутационных аппаратов цеховых сетей от их конструкции, характеристик материалов из которых они изготавливаются, а также условий их эксплуатации. Исходя из практического опыта эксплуатации оборудования цеховых сетей, основными показателями, которые определяют их функционирование, являются:

- род тока;
- конструктивные параметры аппарата;
- износоустойчивость;
- частота цикла;
- механическая прочность;
- термическая стойкость;
- динамическая стойкость;
- надежность контактов;
- долговечность изоляционных свойств.

Выделим основные факторы, которые приводят к поражению низковольтной аппаратуры:

1. механические повреждения самого аппарата,
2. воздействие перенапряжения на изоляционные свойства:
  - внешнее воздействие;
  - внутреннее воздействие;
3. обгорание контактов,
4. выход из строя приводного устройства.

При производстве электротехнических изделий возникает вопрос испытаний на работоспособность перед вводом в эксплуатацию. Данная возможность затруднительна при больших объемах производства и экономически нецелесообразна при мелкосерийном производстве. Из-за этого проводится выборочный контроль надежности оборудования, когда по выборочной оценке делают вывод работоспособности всей партии.

Основные методы контроля:

- 1) метод однократной выборки,
- 2) метод двукратной выборки,
- 3) метод последовательных испытаний.

Надежность электрооборудования также зависит от производителя.

Целью исследования является сравнение характеристик изделий от разных предприятий – производителей с целью выявления наиболее работоспособного и доступного из всех. В таблице 1 представлено сравнение автоматических выключателей, выпускаемых разными производителями.

Таблица 1

Сравнение надежности автоматических выключателей

Тип и завод-изготовитель автоматического выключателя	Количество анализируемых элементов, шт.	Количество отказавших элементов, шт.	% отказа
NSX100 TM-D (Schneider Electric)	150	3	2 %
DPX 160 (Legrand)	200	5	2,5 %
Tmax XT1 TMD (ABB)	250	4	1,6 %

На работоспособность низковольтных аппаратов влияют такие параметры, как:

- температура контактных соединений;
- нагрузка на контакты;
- напряжение на катушке реле;
- частота включений.

Характер работоспособности электрического аппарата зависит также от качества применяемого материала. К наиболее применяемым материалам относят: контактные материалы, магнитные, изоляционные (в том числе для систем гашения дуги), антифрикционные, обмоточные провода и др.

Для оценки надежности электрооборудования применяют математические методы исследования. Методы расчета должны обеспечивать возможность определения параметров надежности системы электроснабжения (далее СЭС), отвечающих следующим характеристикам:

- произвольная конфигурация технологической схемы;
- большое разнообразие входящих элементов в схему;
- наличие элементов, зависящих друг от друга (для надежности их функционирования);
- зависимость надежности СЭС от режима работы.

### **Источники**

1. Зорин В.В., Буйный Р.А., Перепеченый В.А. Модели и методы расчета и оценки потерь мощности и электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кВ // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015. – № 5 (136). – С. 19-27.

2. Грачева Е.И., Садыков Р.Р. Формирование моделей оценки эксплуатационной надежности систем внутриводского электро-снабжения // Вести высших учебных заведений Черноземья. Электро-энергетика. – 2017. – № 1(47). – С. 27-38.

3. Грачева Е.И., Серпионова Т.А. Разработка регрессионных моделей для анализа и прогнозирования потерь электроэнергии в низковольтных сетях // Вестник КГЭУ. – 2015. – № 2(26). – С. 45–51.

4. Грачева Е.И., Сафин А.Р., Садыков Р.Р. Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей // Надежность и безопасность энергетики. – 2017. – № 1(36). – С. 48–52.

УДК 681.51

## **ВЫБОР ВИДА СТАНДАРТНЫХ НАСТРОЕК ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ДВУХКОНТУРНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Росляков А.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

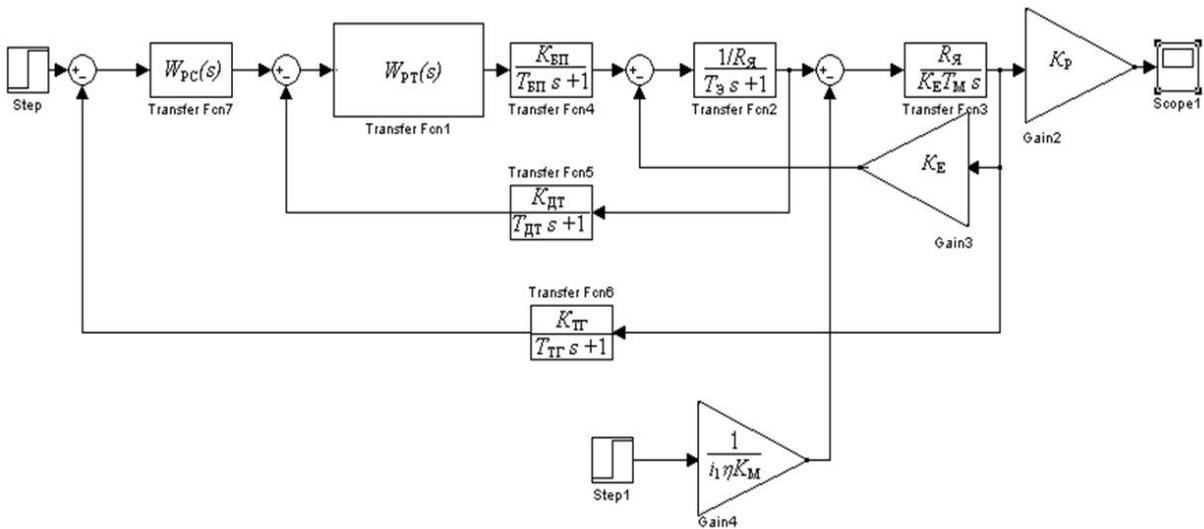
roslyakov3987@gmail.com

Науч. рук. доц. Бутаков В.М.

В тезисе рассмотрены особенности выбора стандартных настроек для двух контуров электропривода постоянного тока с системой стабилизации скорости. Произведен анализ ошибок при различных комбинациях настроек контуров с целью принятия оптимального варианта. Проведено моделирование разработанного электропривода в среде Matlab/Simulink.

**Ключевые слова:** электрический привод, электродвигатель, контур тока, контур скорости, стандартные настройки.

Существует два вида стандартных настроек: настройка на оптимум по модулю и настройка на симметричный оптимум [2]. Поскольку система содержит два контура (см. схему), необходимо рассмотреть различные комбинации стандартных настроек [3].



Структурная схема динамической модели электрического привода

Настройка контура на симметричный оптимум заключается в синтезе регулятора для получения динамической характеристики контура, близкой к типичной характеристике контура с астатизмом второго порядка [1]. Передаточная функция имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{(4T_{\Sigma}s + 1)}{8(T_{\Sigma})^2 s^2 (T_{\Sigma}s + 1)}; \quad (1)$$

Контур считается настроенным на оптимум по модулю [4], если передаточная функция в разомкнутом состоянии имеет следующий вид:

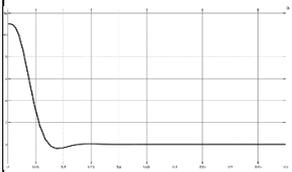
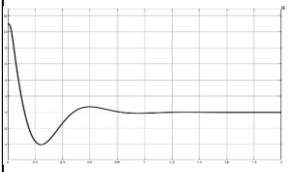
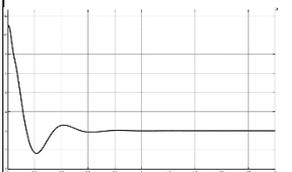
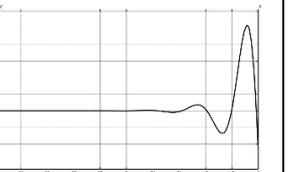
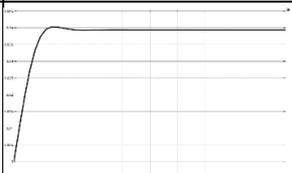
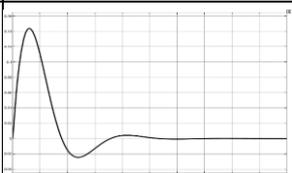
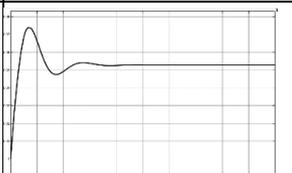
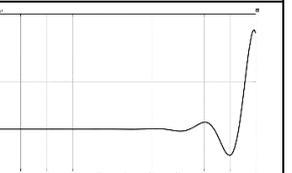
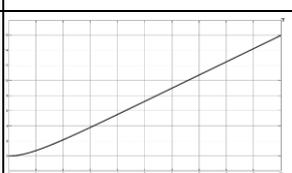
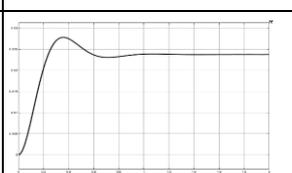
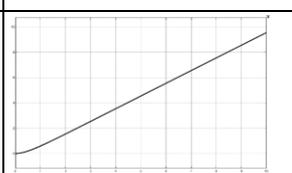
$$W(s) = \frac{1}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)}, \quad (2)$$

где  $T_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m \tau_j$ .

В программе Matlab/Simulink были получены графики ошибок [5] системы (табл.1) при различных комбинациях настроек контуров тока и скорости для трех видов задающих воздействий (ступенчатого, линейно возрастающего и квадратично возрастающего).

Таблица 1

Графическое сравнение стандартных настроек

	1) КТ на ОМ КС на ОМ	2) КТ на ОМ КС на СО	3) КТ на СО КС на ОМ	4) КТ на СО КС на СО
1				
2				
3				

В первой строке приведены графики ошибок при различных комбинациях настроек контуров для ступенчатого задающего воздействия, из которых следует, что во всех случаях кроме последнего ошибка сводится к нулю.

Во второй строке приведены графики ошибок для случая линейно возрастающего задающего воздействия. Здесь только во втором случае ошибка стремится к нулю, что является оптимальным результатом.

В третьей строке приведены графики ошибок для квадратично возрастающего задающего воздействия. И в этом случае вторая комбинация настроек показывает наилучший результат, так как в остальных случаях система становится неработоспособной, поскольку ошибка бесконечно возрастает [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. з этого можно сделать вывод, что второй вариант настройки является оптимальным.

## Источники

1. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода. Учебник / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – 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. – 27с.
3. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 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: Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 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.

УДК 621.316.5

## ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ КОММУТАЦИОННЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ

Севастьянов Е.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г.Казань, Россия,  
egor.sev.se@gmail.com

Науч. рук. ст. преп. Антипанова И.С.

Нами были предоставлены основные принципы гибридной коммутации, которые известны на данный момент. В работе рассматриваются инженерные пути полного или частичного устранения электрической дуги из процесса гибридной коммутации. Так же чуть подробнее раскрыт один из данных принципов. Также были выделены будущие перспективы гибридных аппаратов с транзисторными ключами, так как исключается электрическая дуга и ввиду полной управляемости транзисторов обеспечиваются оптимальные режимы коммутации.

**Ключевые слова:** коммутационные аппараты, электрический ключ, гибридный аппарат, силовые транзисторные интегральные модули, транзисторные модули, бездуговая коммутация.

Актуальность проблемы. Износ, коррозия и сварка являются основными причинами разрушения коммутационной способности электрооборудования, работающего в условиях образования стабильной дуги на контактах. Наличие искр и быстрый износ контактов, изготовленных из меди, серебра или редких сплавов, делают контактное устройство ненадежным во время эксплуатации. Кроме того, электрическая дуга препятствует использованию этих устройств в космических условиях, увеличивая риск пожара и взрыва. Решение проблемы дугового разряда во время коммутации путем создания нового поколения высокоэффективных выключателей и защитных устройств, которые отвечают растущим требованиям современных архитектур электрооборудования, предназначенных для передачи тока в десятки и сотни ампер, является серьезной задачей.

Важность работы по этой теме определяется созданием нового поколения управляемых гибридных аппаратов (далее ГА), способных работать в соответствии с заданными, рациональными законами коммутации [6], а с другой стороны, созданием этого инновационного направления в связи с широким внедрением в космические, авиационные и автомобильные технологий [4].

Прошло полвека с момента изобретения первого гибридного устройства, и только в 1960 году был запатентован простейший гибридный диодный контактор [1].

На сегодняшний день ГА получили важные перспективные направления, практические применения и инновационные разработки [4].

**Теоретическая база исследования.** Гибридный коммутационный аппарат - это гибридный переключатель, который переключает цепи за счет комбинированного действия электронных ключей и механических контактов. Целью этой комбинации является получение новых свойств за счет сочетания полезных качеств электромеханических и электронных устройств, а также улучшение технических и экономических показателей. Механические контакты в замкнутом состоянии имеют низкое падение напряжения при протекании тока и достаточно высокое сопротивление в разомкнутом состоянии. Электронный переключатель позволяет обеспечить бездуговую коммутацию, высокое быстродействие и регулировать электрические параметры.

В низковольтных аппаратах (до 500 В) обычно используются три типа дугогасительных устройств:

- открытый разрыв, когда дуга распространяется в окружающем воздухе и гаснет;

- щелевые камеры из дугостойкого изоляционного материала (азбоцемента, керамики и др.), дуга попадает во внутреннюю камеру под воздействием магнитного поля и гасится там из-за сильного охлаждения стенок камеры;

- дугогасительная (деионная) решетка, состоящая из набора охлажденных металлических пластин по типу радиатора, разделяющих дугу на несколько коротких дуг.

**Результаты исследования.** В современных реалиях появляется направление по созданию оптимальных низковольтных коммутационных аппаратов, на это указывают публикации и темы исследований крупных НИИ и университетских кафедр.

Таким образом, это отражает общую тенденцию современного развития электрических низковольтных коммутационных аппаратов (НВА).

Технический уровень отечественных коммутационных аппаратов во многих отношениях ниже аналогичных зарубежных аппаратов, особенно с точки зрения количества срабатываний низковольтной коммутационной аппаратуры. Несмотря на это, требования к современным коммутационным аппаратам продолжают неуклонно возрастать.

Развитие современных технологий требует совершенствования электротехнических систем и комплексов, в частности, контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов, используемых для коммутации (включения, отключения, переключения) и защиты электрических нагрузок.

Одним из важнейших элементов, который определяет надежность и коммутационную износостойкость, является электрический ключ. По его конструкции коммутационные аппараты делятся на контактные и бесконтактные.

В качестве одного из наиболее важных факторов повышения надежности и срока службы коммутационных гибридных аппаратов были изучены инженерные методы полного или частичного устранения электрической дуги из процесса гибридной коммутации, для оперативной коммутации и защиты электрических цепей постоянного тока. Анализируя развитие этой научной области в стране и за рубежом, мы видим, что в настоящее время известны четыре основных принципа гибридных коммутаторов:

– принцип параллельности (шунтирования) построения ГА – ЭМК электромагнитного аппарата соединен параллельно СПП бесконтактного аппарата;

– принцип параллельно-последовательного построения ГА – одна пара ЭМК электромагнитного аппарата подключается параллельно с управляемым СПП бесконтактного аппарата, а вторая пара подключена последовательно;

– принцип последовательного построения ГА – ЭМК электромагнитного аппарата соединяются последовательно с полностью управляемым силовым транзисторным ключом (СТК)

Перспективной считается разработка гибридных коммутационных устройств, основанных на принципе гибридного каскада коммутации. Создание многообещающего открытого силового полупроводникового ключа – SIT- транзисторов, позволяет сделать новое поколение отечественных коммутационных гибридных аппаратов с последовательным включением открытого СТК и ЭМК низковольтного электромагнитного устройства.

В последние годы появление и развитие мощных транзисторных интегрированных модулей определяет удобство и перспективы использования транзисторных модулей в генетических алгоритмах. Дальнейшее развитие ГА связано с использованием силовых транзисторов, к которым относятся контакты нового поколения с электронным управлением, что позволит решить проблему создания ГА с оптимальными законами бездуговой коммутации.

С транзисторными переключателями ГА почти полностью исключается из процесса переключения и обеспечивает оптимальную схему переключения, поскольку транзистором можно полностью управлять.

В зависимости от бездугового или почти бездугового способа переключения технические решения для создания ГА можно разделить на следующие основные группы:

- с полупроводниковыми элементами с управлением процессом бездуговой коммутации;
- неконтролируемая полупроводниковая элементная база позволяет «отключать» питание от нагрузки во время простоя;
- шунтирующие контакты конденсатора и разрядника обеспечивают емкостную систему переключения.

Таким образом, при разработке ГА для коммутации низковольтных цепей необходимо соблюдать требования минимальных габаритов и высокой надежности. Перемещение и защита ГА имеет полностью управляемый СТК, который сочетает в себе преимущества контактных электромагнитных устройств контактное устройство. Можно найти наиболее практичное применение оборудованию.

Поскольку транзистором можно полностью управлять, это может быть выполнено с помощью дугового переключения. В то же время, исходя из общей теории оптимального управления, критериями оптимального отключения могут быть минимальное время прохождения минимального перенапряжения на контакте заданного времени прохождения и минимально допустимое перенапряжение на элементе перемещения.

Для того чтобы реализовать закон коммутации без наилучшей заданной дуги, необходимо систематически подходить к проблеме создания низковольтных переключателей. Суть этого метода заключается в создании гибридной системы коммутации, учитывающей характеристики бесконтактной цепи, в которой реализован оптимальный закон управления и обеспечивается бездуговая коммутация всей цепи тока. Использование математически оптимальных методов синтеза в управляемой гибридной системе коммутации позволяет комплексно решить задачу создания бездуговых переключателей, в котором оптимальный режим коммутации играет важную роль.

Современной тенденцией является использование принципа модульной конструкции, который позволяет создавать сетки с легко взаимозаменяемыми блоками и значительно расширять их функциональность. Такой принцип построения является перспективным направлением для создания новых устройств с бездуговой коммутацией, предназначенных для работы в автономных конструкциях с повышенной надежностью.

### **Источники**

1. Арайс Е. А. Моделирование неоднородных цепей и систем на ЭВМ / Е. А. Арайс, В. М. Дмитриев. - М.: Радио и связь, 1982. – 160 с.
2. Ваткина М. А. Исследование возможности создания нового поколения низковольтных гибридных аппаратов с заданным законом бездуговой коммутации / М. А. Ваткина, А. А. Григорьев // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2013. – № 2 (78). – С. 29-38.
3. Григорьев А. А. Создание нового поколения низковольтных гибридных аппаратов с бездуговой коммутацией для специальной электротехники / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И. Я. Яковлева. – 2013. – № 2 (78). – С. 49-58.

4. Григорьев А. А. К проблеме создания гибридных аппаратов с заданным законом бездуговой коммутации / А. А. Григорьев, А. В. Никитин // Научно-информационный вестник докторантов, аспирантов, студентов. – 2013. – № 1 (20). – С. 37-42.

5. Григорьев А. А. Перспективные направления инновационного развития коммутационных гибридных аппаратов нового поколения для бортовой аппаратуры автономных систем и комплексов / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина // Использование инновационных технологий в сервисном обслуживании транспорта: сб. науч. ст. - Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2012. – С. 17-32.

6. Иванов И. П. Оценка возможностей создания с использованием микроэлектромеханических систем новых коммутационных аппаратов / И. П. Иванов, С. А. Моисеев // Труды XII Международной конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» МКЭЭЭ-2008. - Алушта, 2008. – С. 302.

7. Могилевский Г. В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения / Г. В. Могилевский. -М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.

УДК 67.05

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕ И САНКЦИИ

Токтаров И.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

toktarovigor@outlook.com

Науч. рук. ст. преп. Антипанова И.С.

Множество современного оборудования на ключевых объектах производства, включая предприятия оборонного комплекса, закуплены у иностранных компаний ещё до санкций. Закупка оборудования подразумевает не только поставку станков и их комплектующих, но и сервисное обслуживание и ремонт, если таковое требуется. В данном тезисе рассматриваются возможности замены иностранного оборудования на отечественное, возможности приобретения зарубежного оборудования в условиях санкций.

**Ключевые слова:** производство, санкции, повышение эффективности, современные проблемы.

В 2022 году на предприятиях России встречается оборудование таких компаний как Mitsubishi, Mazak, Fanuc (Япония), Siemens (Германия), Selema (Италия), Danfoss (Дания), Lenze (США).

Сильно распространенное оборудование: серводвигатели серии HC-SFS 400V, оптические кабели серии MR-PWS1CBL, энкодеры, сервоприводы типа MDS-D2-V1. Данное оборудование применяется в станках с ЧПУ и является точным, особенно ответственным.

Mazak производят 5-и осевые, лазерные станки, оборудование для автоматизации производства (конвейеры, линии).

Fanuc – производитель оборудования для промышленной автоматизации. Деятельность компании сосредоточена в трёх сферах: ЧПУ и лазерное оборудование, промышленные роботы и станки.

Siemens – чего только стоят системы Profibus/Profinet, которые позволяют объединят множество узлов цеха в единую систему, управляемую из одного места и малым количеством оборудования. Данные системы управляются только специальными контроллерами серии Micromaster. Также компания производит преобразователи частоты и сервоприводы.

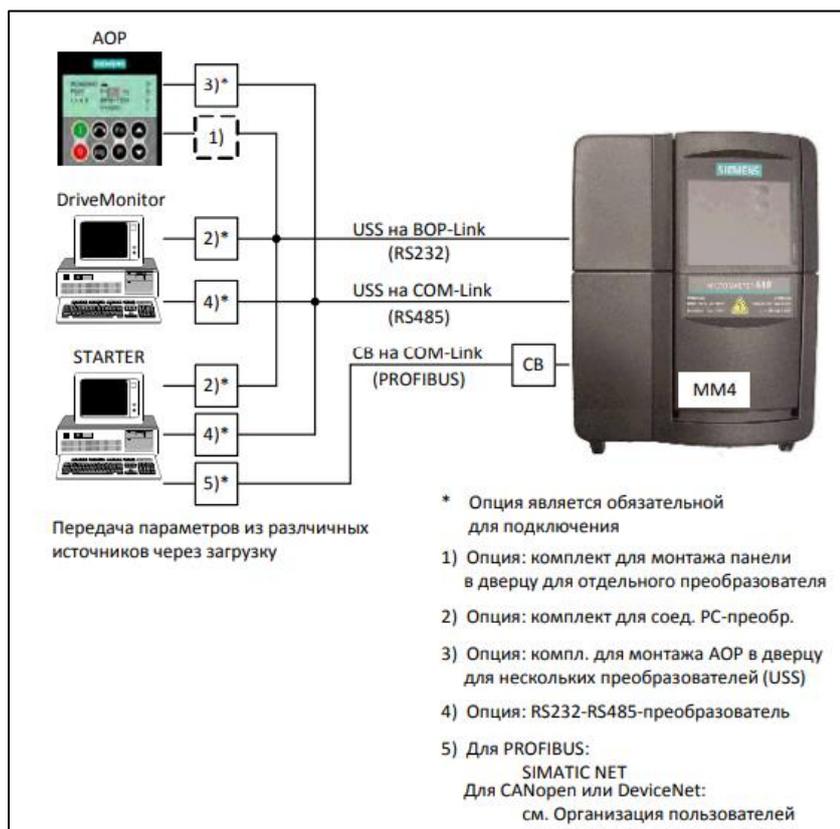


Рис. 2. Пример подключения контроллера Siemens к ПК и ПЧ по системе Profibus DP

Selema производит станки, один из которых применяется на заводе АО «КВЗ», а именно E-TURN MRS ETDIN35 – трубогибочный система с регулировкой в 14 координатах. Станок управляется фирменными контроллерами серии MRS.

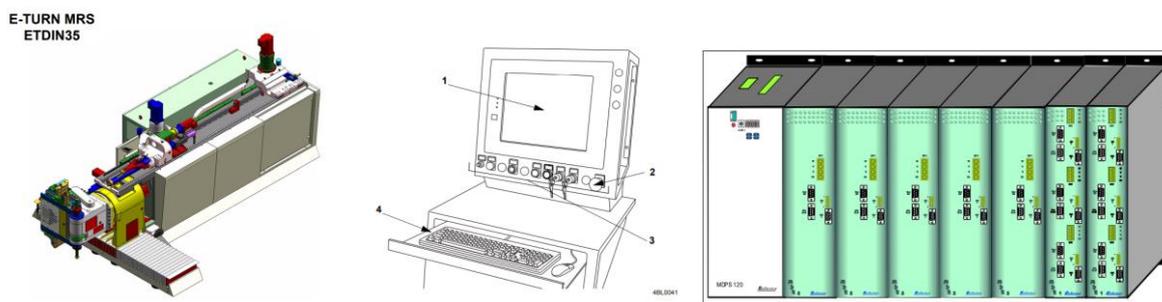


Рис. 3. Трубогибочный станок Selema и пульт управления с контроллерами

Таблица 1

### Зарубежные производители и их продукт

Производитель	Продукция
Mitsubishi	Сервоприводы, серводвигатели, энкодеры, оптоволоконно
Mazak	Станки высокой точности, технологические линии под заказ, типовые конвейеры
Fanuc	Промышленные роботы и станки
Siemens	Микроконтроллеры, преобразователи частоты, программное обеспечение, кабели Profibus/Profinet.
Selema	Специфичные станки

В случае с таким оборудованием, как частотные преобразователи и некоторые контроллеры, многие виды энкодеров, отечественные технологии способны предложить продукт достойного импортозамещения, например, ПЧ компании Веспер (серии EI-9011/9100), Белорусские АББ, Китайские Delta и т.д. Любые виды электродвигателей без проблем создаются на базе наших технологических мощностей. С этим оборудованием на Российском рынке не должно возникнуть никаких проблем. Куда сложнее ситуация обстоит с серводвигателями и контроллерами специальных станков типа Selema. Зарубежные компании не оказывают гарантийного обслуживания в случае поломки оборудования, а купить новое достаточно трудно.

У технологии Profinet от Siemens нет отечественного аналога. Единственный возможный вариант сохранения её работоспособности в долгосрочной перспективе – тщательное обслуживание контроллеров Micromaster 440 и покупка китайских кабелей в случае их выхода из строя.

Решение данной проблемы ложится на персонал ремонтных отделов производственных комплексов. Самым популярным решением данной проблемы является параллельный (серый) импорт зарубежных

комплектующих через различных посредников. Пример схема покупки выглядит следующим образом:

АО «КВЗ» заключает договор с ООО «Электродвигатель» на покупку сервоприводов марки Mitsubishi. ООО «Электродвигатель» приобретет сервоприводы у китайского посредника и ввозит их параллельным импортом в РФ. Недостатком данной системы является то, что увеличивается время доставки, цена сильно растет, но, как показывает практика, подобное оборудование просто не поддается замене на российские аналоги.

Импортозамещение на производствах является приоритетным направлением развития экономики и технологий, поскольку независимость от зарубежных технологий – одно из важнейших требований к современному производству.

### **Источники**

1. ECO 400 Modular System Instruction Manual. Selema. – 2010 г.
2. ООО «НПО Сибэлектромотор». Двигатели асинхронные крановые серии МТК и 4МТК для работы в составе частотно-регулируемых приводов. Руководство по эксплуатации Томск. – 2014 г.
3. Siemens Micromaster 440. Руководство по эксплуатации издание А1. – 2001 г.
4. Delta Electronics. Настройка сервосистем ASDA-A2. Пособие по настройке сервосистем. – 2022 г.

УДК 662.76

## **КОНЦЕПЦИЯ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ ГАЗОВОГО ГЕНЕРАТОРА С ДВИГАТЕЛЕМ СТИРЛИНГА**

Уткин М.О., Россамахина Н.С.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
209maks@mail.ru

Науч. рук. доц. Дмитриев А.В.

В данной работе рассматривается концепция автономного источника питания на базе газового генератора с двигателем Стирлинга с целью обеспечения электро-снабжения удаленных объектов нефтегазовой отрасли, не имеющих возможности подключения к электрической сети УКПГ или электрической сети региона.

Дополнительно рассматривается возможность питания подобных объектов от ВИЭ, проблематика проведения расчетов, проектирование и реализация подобных проектов, а также утилизация энергетических комплексов.

**Ключевые слова:** автономные энергетические комплексы, возобновляемые источники питания, солнечная и ветровая энергетика, газовые генераторы на базе двигателя Стирлинга, фильтр-сепаратор для отбора и очистки сырого газа, экология, утилизация компонентов ВИЭ.

Развитие топливно-энергетического комплекса Российской Федерации требует задействование все новых и новых производственных площадок и добыча нефти и газа из отдаленных от линий электропередач месторождений. В связи с этим остро стоит проблема электроснабжения объектов при отсутствии гарантированного питания от ЛЭП или полного отсутствия подключения к электрической сети. В данном случае находят широкое применение возобновляемые источники энергии, а именно солнечная и ветровая энергетика [1].

Автономные энергетические комплексы на базе возобновляемых источников энергии способны не только обеспечивать электроснабжение потребителей, будь то крановый узел, месторождение (куст) или вышка связи, но и аккумулировать электроэнергию. Аккумуляция электроэнергии позволяет автономным источникам питания выдавать заданную мощность не только при номинальной нагрузке, но и запитывать кратковременно силовую нагрузку – исполнительную арматуру, клапана, оборудование периодического использования, оборудования пуско-наладочных или ремонтных работ. Однако, питание от возобновляемых источников энергии может быть ограничено климатическими особенностями региона или же потребностью в питании большого количества устройств. Требование питать больше, чем возможно, приводит к серьезному удорожанию подобных проектов приводя к установке 5-10 типовых энергетических комплексов для 1-го объекта. Поэтому возможность питание объекта от газовых генераторов остается актуальной на сегодняшний день.

Основными лидерами на Российском рынке в области автономных энергетических комплексов являются ведущие предприятия, такие как НПО «Вымпел», ЗАО НИЦ «Инкомсистем» и другие компании.

В большинстве случаев для питания потребителей на рынке предлагается использовать солнечные панели и ветрогенераторы в качестве основных источников энергии.

Также не исключается третьего и четвертого источников электроснабжения, таких как дизельгенератор, термогенератор, газовый

генератор, ТВЭЛ, геотермальные установки, тендеры, установки на основе энергии приливов.

В разрабатываемых системах зачастую придерживаются основному принципу энергетики – «сколько энергии вырабатывается, столько и потребляется». Поэтому в случае отключения потребителей или избыточности мощности, энергия сбрасывается на балласт – ТЭН. Тем самым мы обеспечиваем баланс электрической мощности и не допускаем перезаряд АКБ.

Концепция автономного комплекса представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Концепция питания от ВИЭ.

Однако, существуют и проблемы использования ВИЭ. Во-первых, солнечная и ветровая энергия не постоянна и производство электроэнергии от нее производится периодически. Во-вторых, не каждый территориальный регион подходит для 100 % использования ВИЭ в связи с особенностью рельефа, наличия солнечной радиации и ветровой нагрузкой. Иногда целесообразнее использовать газ, ядерное топливо или в редком случае дизельные генераторы.

Для газовых генераторов необходимо применение специальных фильтров-сепараторов, способных очистить сырой природный газ от механических примесей и жидких фаз углеводородов и воды. При использовании готового продукта с УКПГ дополнительно требуется организация узлов коммерческого учета и установок по редуцированию газа.

Еще одной особенностью построения энергетических комплексов на ВИЭ состоит в отсутствии утвержденных ГОСТ расчетных методик и практико-теоретических таблиц. Дополнительно в России не существует единой базы солнечной радиации по регионам, да имеются карты, но они

носят не расчетный, а информационно рекомендательный характер. Данные их примерны и иногда не верны вовсе [2].

Также стоит проблема утилизации компонентов от возобновляемых источников энергии, таких как солнечные элементы, пластиковые корпуса, металлоконструкции, корпус фильтра-сепаратора и др. Да, концепция «чистой энергии» и экологичность производств, однако, в связи с удаленностью объектов вывоз на утилизацию зачастую не возможен (отсутствие дорог и речных путей).

Таким образом возобновляемая энергетика несмотря на все трудности применения продолжает свое развитие.

### **Источники**

1. Бердин В.Х., Кокорин А.О., Юлкин Г.М., Юлкин М.А. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. – 80 с.

2. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.

УДК 621.311

## **ОЦЕНКА РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ МАЛОМ КОЛИЧЕСТВЕ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ**

Федулов И.А., Михайлов К.С.

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Россия

Ivanfedulov673@gmail.com, bason.safiron141@yandex.ru

Науч. рук. доц. Кротков Е. А.

В тезисе рассматривается необходимость учета влияния моментов законов распределения, коэффициентов асимметрии и эксцесса при малой группе общепромышленных электроприемников.

**Ключевые слова:** электроприемники, графики электрической нагрузки, коэффициенты использования, формы, максимума, асимметрии, эксцесса, аналитические методы.

Из теории электрических нагрузок известно, что аналитические методы расчета характеристик групповых графиков электрической нагрузки (ГЭН) базируются на следующей аксиоматике:

1. Нормальный закон распределения вероятностей ординат групповых ГЭН;

2. Независимость режимов работы отдельных электроприемников (ЭП) друг от друга в группе или независимость индивидуальных ГЭН ЭП (это означает, что важнейшие групповые характеристики нормального закона распределения можно получить простым суммированием индивидуальных характеристик ГЭН ЭП);

3. Стационарность процесса потребления электроэнергии группой электроприемников.

Аксиоматика аналитических методов расчета характеристик групповых ГЭН распространяется на графики, формируемые количеством ЭП более трех. Кроме этого известно, что групповые ГЭН описываются нормальным законом распределения только лишь при числе ЭП  $n \geq 8$ . В связи с этим аналитические методы расчета характеристик групповых ГЭН, формируемых малым числом ЭП от 4 до 8, могут приводить к погрешности, превышающей диапазон  $\pm 10\%$ .

Результаты экспериментальных и теоретических исследований ГЭН, формируемых малым количеством общепромышленных ЭП на низших ступенях иерархии систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий показали следующее:

1. Групповые ГЭН, формируемые от 4 до 8 ЭП в группе, имеют, как правило, неоднородный характер;

2. Расчеты статистики «хи-квадрат» свидетельствуют, что экспериментальные законы распределения вероятностей ординат ГЭН сходятся к теоретическому–нормальному закону, с «низкой» доверительной вероятностью, находящейся в диапазоне от 0,3 до 0,5;

3. Экспериментальные законы распределения вероятностей ординат ГЭН отличаются от нормального закона асимметрией и эксцессом, находящихся в диапазоне от -2,5 до 2,2 и от -1,6 до 2,2 соответственно;

4. Гистограммы экспериментальные законы распределения ординат ГЭН подчиняются закону распределения вероятностей Грама–Шарлье типа А с доверительной вероятностью, находящейся в диапазоне от 0,8 до 0,86.

В связи с этим возникает необходимость вводить в теорию и практику расчета электрических нагрузок, помимо первого и второго моментов законов распределения, соответствующих средней и дисперсии нагрузок, третьего и четвертого моментов, а также коэффициентов асимметрии и эксцесса.

Рассматривая оценку расчетных значений пиков и впадин электрической нагрузки, когда закон распределения вероятностей ординат ГЭН подчиняется закону Грама–Шарлье типа А. В качестве

информационной базы, используем исходные данные, соответствующие методу вероятностного моделирования. Объем включает:  $n$  – число ЭП в группе;  $P_n$  – индивидуальные номинальные активные мощности ЭП;  $\cos\varphi_n$  – индивидуальные номинальные коэффициенты мощности ЭП;  $k_n$  – индивидуальные коэффициенты использования;  $k_3$  – коэффициент загрузки; вид корреляционной функции  $K(t)$ ; параметры корреляционной функции ( $\lambda$ -затухания,  $\omega$ -колебания). Уточнение расчетных характеристик ГЭН достигнуто за счет использования в методах расчета вероятностной модели «усеченного» нормального закона распределения вероятностей Грама-Шарлье типа А.

### Источники

1. Волобринский С. Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов, П. Н. Клейн, С. Мешель – Л.: Энергия, 1971. – 264 с.
2. Шидловский А. К. Введение в статическую динамику систем электроснабжения / А. К. Шидловский, Э. Г. Куренный, Киев: Наукова думка, 1984. – 273 с.
3. Шидловский А. К. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий / А. К. Шидловский, Г. Я. Вагин, Куренный. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
4. Жежеленко И. В. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей / И. В. Жежеленко, Е. А. Кротков, В. П. Степанов. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 258 с.
5. Степанов В. П. Влияние ограничений возможных значений ординат графиков электрической нагрузки на расчетные величины пиков и впадин нагрузки / В. П. Степанов, И. В. Жежеленко, А. В. Гудков, Р. Ф. Идиатуллин // «Кибернетика электрических ...», секция «Электроснабжение»: Сб. тр. XXVII сессии Всеросс. ауг. Семинара РАН, 27–29 сентября 2005г. Ново-Черкасск, ЮРГТУ, яд. Исур. «Изв. вузов. Электромеханика», 2005. – С. 7
6. Степанов В. П. Влияние пределов изменения тэта-ординат на расчетные значения пиков и впадин в графиках электрической нагрузки / В. П. Степанов, Е. А. Кротков, А. С. Ведерников, А. В. Гудков, Р. Ф. Идиатуллин // Изв. вузов. Электромеханика», 2005. – № 5. – с. 11–15.
7. Степанов В. П. О причинах завышения расчетных значений пиков и впадин графиков электрических нагрузок машиностроительных заводов / В. П. Степанов, Е. А. Кротков, А. С. Ведерников, А. В. Гудков // Промышленная энергетика, 2006. – № 1. – С. 27–30

## СМАРТ-КОНТРАКТЫ И БЛОКЧЕЙН-СРЕДА В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Феоктистов Д.И., Воркунов О.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
feoktistov.dima@list.ru, vorcunov\_oleg@mail.ru  
Науч. рук. доц. Воркунов О.В.

Рассматривается возможное расширение прав и возможностей рынка электроэнергетики в дальнейшем будущем, за счёт внедрения блокчейн-среды для использования смарт-контрактов, тем самым повысить прибыль для энергосбытовых компаний.

**Ключевые слова:** блокчейн, цифровая информация, электроэнергетика, децентрализация, смарт-контракт, цифровизация, децентрализованная сеть, транзакции, рынок электрической энергии.

Такое понятие, как смарт-контракт было введёно в 1993 году. Смарт контракты — это цифровые протоколы для передачи данных, которые используют математические алгоритмы для автоматического выполнения транзакции, в которых стороны прописывают условия сделки и штрафы за их невыполнение, далее ставят цифровые подписи. Смарт-контракт самостоятельно определяет, все ли условия договора были соблюдены, и принимает решение: завершить сделку и выдать требуемое обоим сторонам или наложить на одну из сторон штраф и закрыть доступ к активам. Самым простым примером смарт-контракта является торговый автомат: выбираете товар, вносите денежные средства, подтверждаете свой выбор и получаете товар. Однако, смарт-контракты полностью цифровые и написаны языком программирования, в отличие от торговых автоматов. Средой для таких смарт-контрактов является блокчейн, который содержит в себе данные о всех сделках, которые были проведены в системе её участниками. На сегодняшний день понятие термина «смарт-контракт» немного изменилось и понимается как цифровой алгоритм, предназначенный для заключения и поддержания самоисполняемых контрактов, выполняемых в блокчейн-среде. Ввиду развития цифровых технологий, смарт-контракты в блокчейне стали применяться во многих областях, таких как логистика, банковские системы, сферы страхования и сферы государственных услуг.

Первый случай использования блокчейн-среды для передачи электроэнергии был зафиксирован в 2016 году, когда житель города

Бруклин смог продать лишнюю электроэнергию своему соседу с помощью смарт-контракта на блокчейн-платформе Ethereum. После данного случая многие западные энергетические компании заинтересовались данной технологией. С 2017 года по март текущего года в проекты, основанные на блокчейне, было привлечено свыше 300 миллионов долларов. Цель подобных проектов заключается в том, чтобы объединить всех потребителей в одну децентрализованную систему, тем самым упростить существующую многоуровневую систему, состоящую из производителей электроэнергии, операторов распределительных сетей, операторов-учетчиков, поставщиков платежных банковских услуг, трейдеров и самих потребителей. Все транзакции по получению и оплате энергии будут выполняться непосредственно в сети, объединяющей равноправных участников – производителей энергии и потребителя. Благодаря этому стоимость электричества существенно снизится.

Модели сделок на блокчейне основаны на том, что вся электроэнергия, передающаяся по электросети, может быть доставлена на счета конкретных потребителей в кратчайший промежуток времени. Это означает, что расчет за всю электроэнергию может достаточно точно произведен по переменным ценам. Электроэнергия, как и прежде, будет поступать к потребителю непосредственно от ближайшего места генерации. Благодаря блокчейну, все потоки электроэнергии будут защищены от постороннего вмешательства, что в свою очередь позволит сертифицировать электричество, а также проверять нормы на допустимые выбросы углекислого газа. С помощью блокчейна можно создать децентрализованную систему, представляющую собой глобальную базу данных, построенную по принципу распределённого реестра, в которой будут храниться все данные по выставленным счетам за электроэнергию. Потребители получают расширенные возможности управления касательно своих договоров на электроснабжение, а также данных о потреблении электроэнергии. Все записи будут храниться в открытом доступе в блокчейн-реестре, который сможет регулировать по вопросам прав собственности и текущему состоянию активов.

В российской энергетике попытки развить блокчейн-технологии начались в 2018 году. Компания «Газпром-Нефть» использовала данную технологию для управления цепочками поставок, в рамках цифровизации и автоматизации закупочной деятельности. Вследствие этого были использованы специальные радиочастотные метки, которые были установлены на грузах. То есть, после прохождения одного из этапов транспортировки, умным контрактом фиксировались заданные условия

по их исполнению и отражались в блокчейн-реестре. В дальнейшем информация о складских и транспортных операциях передавалась аналогично. Блокчейн-среда обеспечила неразрывную связь физической поставки, всех сопровождающих процессов и документооборота, а также позволила всем участникам процесса получить доступ к достоверной и актуальной на тот момент времени информации в зашифрованном виде. Успешное воплощение данного проекта позволило сделать выводы, что данную технологию можно использовать уже сегодня в управлении логистикой. В мае 2019 года вышла в свет децентрализованная платформа Enerchain, став первой в мире оптовым поставщиком электроэнергии на основе блокчейна. Разработкой занималась немецкая компания PONTON. Перед создателями стояла идея перенести на блокчейн-среду весь цикл сделок и позволить всем поставщикам услуг, и не только, присоединиться к платформе. На данный момент её уже поддерживают более 30 ведущих энергетических торговых компаний, среди которых BP (British Petroleum), Shell и Statoil, банки ING, ABN Amro, Societe Generale, Enel, RWE и др. Пока что на сегодняшний день интеграция в блокчейн-платформе Enerchain может фиксировать показания со счётчиков потребителей онлайн в режиме реального времени с помощью современных протоколов связи, таким образом, показания потребления, записанные в блок, невозможно видоизменить, подделать или удалить. Благодаря тому, что информацию, записанную в блоки нельзя исказить, исключается возможность фальсификации данных потребителями, за счёт чего может существенно увеличиться прибыль энергосбытовых компаний. В результате надёжной фиксации данных потребления в блокчейне, потребители, наряду с энергосбытовыми компаниями, также получают преимущества. Система автоматически проводит анализ и предлагает наиболее выгодный тариф. В будущем также планируется дополнить продукт смарт-контрактами, которые позволят производить оплату электроэнергии в автоматическом режиме, без необходимости человеческого участия. Все, что нужно, это вовремя пополнять баланс.

Достоинствами системы смарт-контрактов в блокчейне являются:

- автоматизированный процесс обработки информации без участия человека с высокой скоростью обработки;
- исключено вмешательство третьих лиц в процесс сделки, данные записанные в блокчейн не могут быть изменены или подделаны;
- в случае невыполнения одного из условий сделки одной из сторон, другая сторона будет защищена условиями интеллектуального договора;
- высокая точность выполнения контрактов.

Вроде бы всё на первый взгляд прекрасно, но ничто не идеально, и потому, даже у такой системы есть недостатки:

– отсутствие регулирования. В международном публичном праве отсутствуют такие понятия, как «блокчейн», «смарт-контракт» и «криптовалюта»;

– сложность реализации. Внедрение умных контрактов с элементами реального мира требует очень много времени, денег, и усилий;

– невозможность вносить корректировки в смарт-контракт. При достижении сторон более выгодного соглашения или возникновения новых факторов, они не смогут изменить условия контракта.

Если взглянуть немного в будущее, и учесть то, в каком темпе развиваются технологии, то такие технологии, как блокчейн-среда, как мне кажется, будут использоваться в качестве основы для энергетического рынка. Потребители будут способны приобретать электроэнергию без участия третьей стороны, то есть напрямую от генерирующей компании. А в блокчейн-среде будут записываться данные о совершении оплаты, происхождении электроэнергии, её количестве, а также времени, на который её покупает потребитель. За счёт этого снижаются транзакционные издержки, а неизменность и прозрачность данных в смарт-контрактах обеспечат снижение ручной проверки информации о количестве потреблённой электроэнергии. Так же, можно будет отключать неплательщиков, чтобы у энергетических компаний не было должников на огромные суммы, а законопослушным не пришлось оплачивать долги неплатящих граждан. Правда, тогда придётся избавиться от посредника в виде сбытовой компании, но в наших реалиях по закону такого не может быть, чтобы генерирующая компания заключала сделки напрямую с потребителями, за исключением прямых потребителей.

### Источники

1. Юнусов Р., Чаленко Е., Пердеро А., Кривошея Е. Московская школа управления. «Блокчейн в электроэнергетике: ландшафт проекторов и инвесторов». Сколково 2019. – С. 10-40.

2. РосБизнесКонсалтинг [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rbc.ru/crypto/news/600bd6409a79473b23a6d3c4> (дата обращения: 18.09.2022).

3. ХАБР система тематических коллективных блогов [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/448056/> (дата обращения: 18.09.2022).

4. Enerchain. Торговая площадка на основе блокчейна. [Электронный ресурс]. URL: <https://erachain.org/ru/industries-energy> (дата обращения: 18.09.2022).

5. Газпром нефть испытали блокчейн [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/v-gazprom-nefti-ispytali-blokcheyn-i-internet-veshchey-v-logistike/> (дата обращения: 18.09.2022).

6. Лучшие идеи блокчейна [Электронный ресурс]. URL: <https://101blockchains.com/ru/история-технологии-блокчейн/i> (дата обращения: 18.09.2022).

7. Тематическое интернет-издание Право RU «Смарт-контракты: как они работают и зачем нужны» [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.ru/story/205151/> (дата обращения: 18.09.2022).

УДК 697.95-5

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ «НОЧНОГО» ЭКОНОМНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ**

Цветкова А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[nedegradant@mail.ru](mailto:nedegradant@mail.ru)

Науч. рук. доц. Цветков А.Н.

Необходимость экономии энергии предприятий в ночное время суток является актуальным на сегодняшний день. В статье рассказывается об индивидуальном расчете минимальных допустимых параметров вентиляционных установок в ночное время спортивно-оздоровительного комплекса.

**Ключевые слова:** электроснабжение, вентиляция, экономия энергии.

Проект вентиляционной системы спортивно-оздоровительного комплекса «Акварена» разработан на основании задания на проектирование в соответствии с нормами проектирования СНиП 41-01-2003, СНиП 2.09.04-89\* для температур наружного воздуха в холодный период года:

- для системы вентиляции:  $-32^{\circ}\text{C}$ ;
- для системы кондиционирования:  $-32^{\circ}\text{C}$ .

Внутренние температуры воздуха по помещениям приняты:

- административные помещения:  $+18^{\circ}\text{C}$ ;
- бассейн:  $+28^{\circ}\text{C}$ ;

Сооружение оборудовано:

- системой приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением воздуха;
- системой центрального кондиционирования воздуха.

При этом теплоснабжение приточных установок осуществляется от тепловых сетей.

Приточные установки систем вентиляции располагаются в венткамерах на первом и техническом этажах. Воздуховоды системы вентиляции монтируются из тонколистовой оцинкованной стали. Воздуховоды системы П(В)-1 выполнены из нержавеющей стали. Воздуховоды в приточных установках со стороны забора воздуха изолируются материалом URSA.

Спортивно-оздоровительный комплекс относится к особым помещениям с дневным режимом работы, которые не отключают вентиляционные установки в ночное время суток из-за высокой влажности. Задачей оптимизации режимов работы вентиляционных установок стало достижение минимальных значений параметров в ночное время – баланс приточного и вытяжного воздуха.

Для расчета нужных значений необходима схема вентиляционных установок комплекса (рис. 1), характеристики вентиляционных систем, знание норм СНиП и СанПин, таблица воздухообменов.

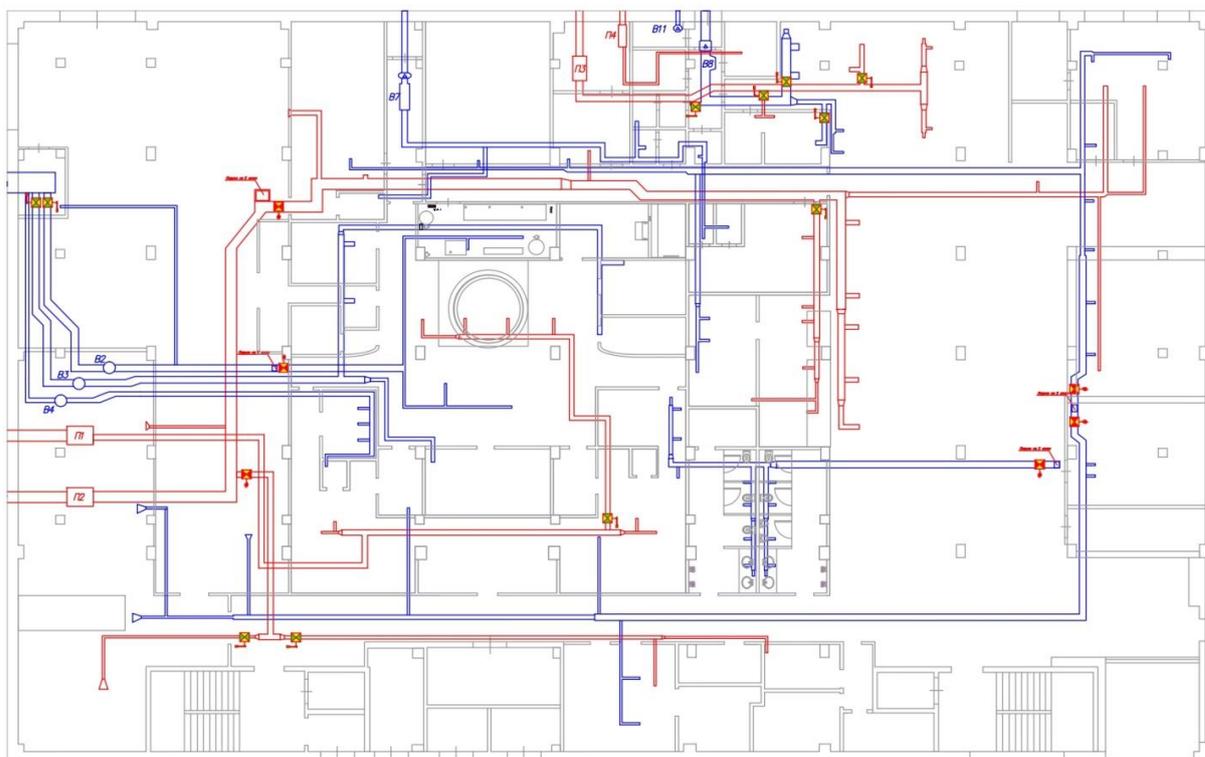


Рисунок 1. Схема вентиляционной системы спортивно-оздоровительного комплекса

Рассчитывая общий приток от приточных и вытяжных вентиляционных установок, нам необходимо понять, приток воздуха в то или иное помещение больше или меньше уходящего через вытяжки отработанного воздуха.

Необходимо знать объем помещений для того, чтобы следующим действием рассчитать минимальное необходимое поступление воздуха в помещения при отсутствии дневных работ.

Основная задача оптимизации вентиляционной системы предприятий чаще всего заключается в установке частотных преобразователей на вытяжных установках, которые будут заниматься регулированием работы вентиляционной системы, расчете минимальной производительности вентиляции в ночное время и введении системы управления, которая осуществляет переход в ночное время на пониженную частоту вращения, а в дневное – возврат к нормальной.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующий вывод: при наличии на предприятии системы мониторинга и диспетчеризации оборудования, задача внедрения системы управления производительностью сводится к введению алгоритма задачи скоростей вращения электродвигателей вентиляторов в зависимости от заданного времени. При этом следует добавить: многие современные вентиляционные установки позволяют системе управления производить изменение требуемой температуры, например понижать температуру подаваемого в помещение воздуха на 1-2 градуса, соответственно, это даст дополнительный эффект экономии энергии.

Проведенные расчеты показали возможность снижения объемов прокачиваемого через помещения воздуха, что в свою очередь позволит снизить расход электроэнергии.

### **Источники**

1. Цветкова А.А. Оптимизация режимов работы вентиляционных установок для введения «ночного» экономного режима работы / А.А. Цветкова // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике»: Материалы Международной молодежной научной конференции. Казань, 20 – 22 октября 2021 года.

2. Синюкова Т.В., Синюков А.В. Регулирование температуры индивидуального теплового пункта изменением частоты вращения асинхронного двигателя // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 4. 156- 165. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-4-156-165.

3. Цветкова А.А. Автоматическое регулирование температуры плавательного бассейна большого объема / А.А. Цветкова // Тезисы докладов двадцать седьмой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Москва, 2021.

УДК 621.311.042

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Шайхуллин А.З.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

a6968271@gmail.com

Науч. рук. доц. Низамиев М.Ф.

Предложен метод и правила оценки технического состояния электрооборудования. Для оценки технического состояния было подобрано энергетическое оборудование: силовой трансформатор. Расчет и анализ индекса технического состояния выполняется на основании математических методах оптимизации весовых характеристик функциональных узлов выбранного электрооборудования.

**Ключевые слов:** техническая диагностика, мониторинг, диагностический параметр, контролируемый параметр, интенсивность отказов.

Надежность оборудования прогнозируется во время разработки и проектирования, а также гарантируется во время изготовления на заводе и контролируется специалистами во время эксплуатации. Техническое состояние (ТС) электрооборудования характеризуется некоторыми параметрами в данный момент периода эксплуатации и при некоторых внешних факторах. Факторы надежности и ТС относятся к одному из главных технико-экономических характеристик оборудования и систем [1].

Процесс оценки должен включать в себя следующие этапы:

- и анализ функционирования и вероятных отказов электрооборудования;
- выбор главных узлов, обеспечивающих работу;
- определение диагностических признаков и контролируемых признаков. Аналогичным образом параметры объединяются в группы узлов
- обозначение нормативных показателей параметров и коэффициентов узла для выбранного оборудования;
- анализ диагностических параметров на основе данных, полученных в результате испытаний, диагностики в процессе эксплуатации или на основе заводских параметров;

– расчет и анализ веса коэффициента функциональных блоков группы;  
 – анализ индекса ТС и электрооборудования (ЭО) в целом. Показатель электрооборудования можно представить по шкале баллов от 0 до 100, где 100 баллов – отличный показатель состояния [4].

Практически для любого технического устройства существует пять этапов эксплуатации: обкатка, нормальная работа, старение, износ и утилизация. Модель наислабейшего звена используется для ЭО, которые представляют с точки зрения надежности систему последовательного соединенных элементов; при отказе один элемент выводит из строя весь объект [3].

Поэтапно соединенные элементы структурных схем надежности оборудования представляют собой функциональные узлы (ФУ). Каждый из узлов может рассматриваться как подсистема. Параметры надежности подсистемы считаются отдельно, после рассчитывается результирующая надежность системы. Когда проектируется структурная схема учитываются только те ФУ, которые представляют лучший показатель для оценки технического состояния электрооборудования.

Для всех ФУ оборудования существует группа параметров узла ТС, общий вес которых равен 1 [2]. В табл. 1 показаны весовые коэффициенты групп рассматриваемых параметров трансформатора (ТР).

Таблица 1

Весовые коэффициенты групп контролируемых параметров

№ узла	Группы	Вес групп	Группа параметров технического состояния узла	№ узла	Вес узла параметров
Узел 1	СРН	0,047	Общие параметры	1,1	0,3
			Состояние масла	1,2	0,2
			Состояние механизма привода и контактора	1,3	0,5
Узел 2	МС	0,105	Состояние магнитопровода	2,1	1,0
Узел 3	ОБМ	0,105	Параметры обмоток	3,1	1,0
Узел 4	ИС	0,497	Состояние масла	4,1	0,5
			Хроматографический анализ	4,2	0,5
Узел 5	ВВ	0,246	Общие сведения	5,1	0,25
			Хроматографический анализ	5,2	0,25
			Физико-химический анализ масла	5,3	0,25
			Высоковольтные испытания	5,4	0,25

Используя группы параметров ФУ, можно составить структурную схему надежности см. рисунок условно включающую соответствующие контролируемые параметры (табл. 1).

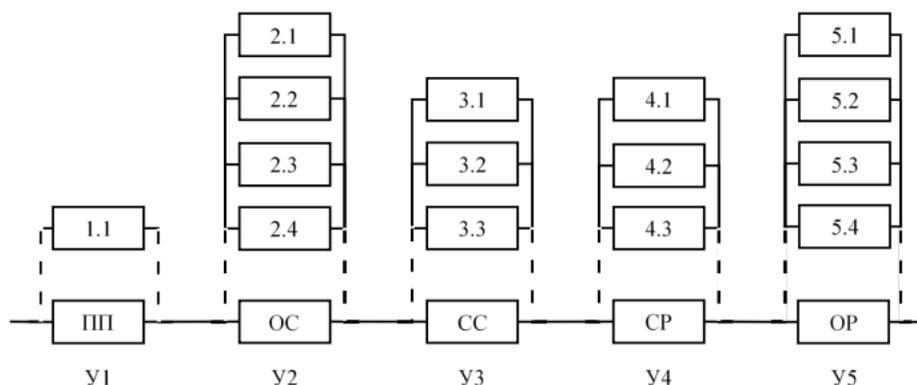


Рис. 1. Структурная схема надежности

В результате исследований выявлены этапы методики оценки надежности электрооборудования, в качестве которого выступают весовые показатели и коэффициенты узлов с их параметрами. Предлагаемая методика основана на построении диаграмм надежности конструкций. Расчет индекса ТС его надежности с учетом весовых показателей групп узлов поможет спрогнозировать возможные отказы оборудования с помощью формулы или применяя машинное обучение (анализ данных) и вид технического воздействия на него.

### Источники

1. Грачева Е.И. Анализ структуры систем цехового электроснабжения предприятий машиностроительной отрасли / Е.И. Грачева, Н.А. Копытова // Проблемы энергетики – 2011. – № 5–6. – С. 73–78.

2. Вольдек А.И., Попов А.С. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов // Общие вопросы теории машин переменного тока – 2010. – С. 14–31.

3. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: Издательский дом МЭИ // Основы теории надежности технических изделий – 2006. – С. 61–63.

4. Приказ Минэнерго России от 26.07.2017 № 676 «Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей» (Зарегистрировано в Минюсте России 05.10.2017 N 48429)

## ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЧЕТЫРЁХПРОВОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1кВ

Шумихина О.А.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
epp.kgeu@mail.ru  
Науч. рук. доц. Грачева Е.И.

В тезисе определены зависимости влияния несимметрии токовой нагрузки на значение относительных потерь электроэнергии в четырехпроводных воздушных и кабельных линиях напряжением 0,4 кВ. Предложены основные мероприятия, направленные на снижение потерь мощности и электроэнергии в четырехпроводных электрических сетях до 1000 В от несимметрии токовых нагрузок.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, несимметричная нагрузка, распределительные сети, номинальное напряжение, симметричные составляющие, трансформаторный пункт.

В эксплуатации, в настоящее время, находится значительное количество ВЛ до 1 кВ с длительно подключённой несимметричной нагрузкой [1]. Это обусловлено неравномерным распределением однофазных электроприёмников по фазам и распространением в трехфазных сетях систем электроснабжения потребителей электроэнергии, симметричное многофазное исполнение которых невозможно или нецелесообразно. В настоящее время несимметричные режимы в электрических сетях являются фактором, существенно снижающим эффективность работы как самих систем электроснабжения, так и потребителей, подключенных к ним [2].

Трёхфазные сети напряжением до 1 кВ предназначены для непосредственного соединения источника питания с потребителями небольшой мощности. Они выполняются в виде четырёхпроводных воздушных и кабельных линий электропередачи, тремя фазными и одним нейтральным проводом (рис. 1), служащим для подключения однофазных приёмников и уравнивания токов несимметрии, возникающих при неодинаковой загрузке фаз. При этом нейтраль, как правило, наглухо заземляется [3].

При постоянном электропотреблении, для ВЛ-0,4 кВ единичной длины, при варьируемых токах в фазах, различных сечениях фазных и нулевых проводов ВЛ и жил КЛ, проведены расчёты и построены зависимости (рис. 2).

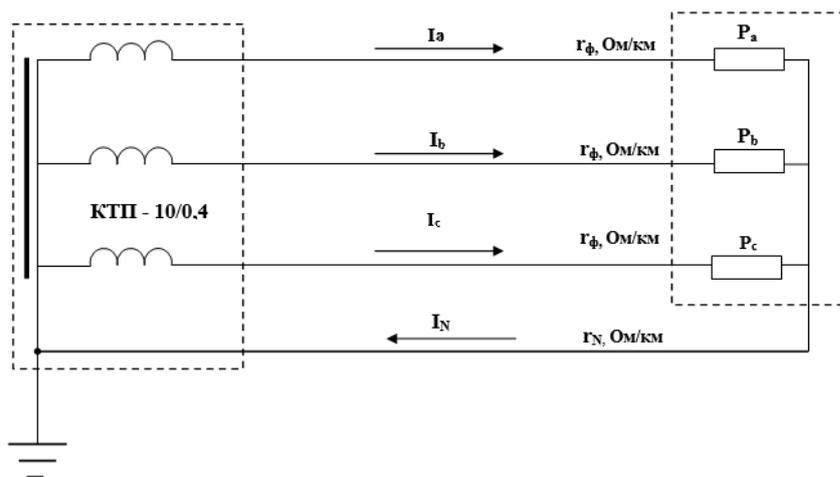


Рис. 1. Участок ВЛ-0,4 кВ с подключённой несимметричной нагрузкой

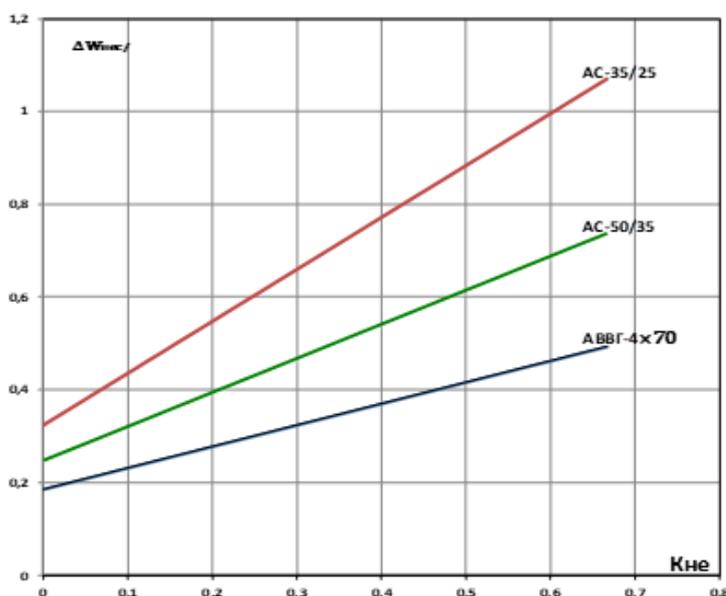


Рис. 2. Влияние несимметрии токовой нагрузки на значение относительных потерь электроэнергии в 4-хпроводных воздушных и кабельных линиях напряжением 0,4 кВ

Проведенные исследования и расчёты показали, что несимметрия нагрузки в трёхфазных 4-х-проводных сетях приводит к значительному росту потерь электроэнергии, значительно превосходящими установленный норматив. Кроме того, при токовой несимметрии существует перегрузка по току проводов линии, значительно превосходящая длительно допустимую, что ведёт не только к ухудшению режима напряжений на вводных устройствах потребителей, но и к значительному снижению надёжности электроустановок вследствие возможного перегрева проводов температурой выше  $70^{\circ}\text{C}$ .

Основными мероприятиями, направленными на снижение потерь мощности и электроэнергии в 4-хпроводных электрических сетях до 1 кВ

от несимметрии токовых нагрузок, являются мероприятия, направленные на:

1) выравнивание величин токовых нагрузок по фазам и их мониторинг,

2) правильный выбор сечений фазных и нулевых проводников при проектировании низковольтных воздушных и кабельных линий электропередачи,

3) применение повторного заземления нулевого проводника при появлении напряжения смещения нейтрали, превышающем допустимые значения,

4) применение токовых защит и УЗО, срабатывающих при увеличении тока в нулевом проводе.

### **Источники**

1. Грачева Е.И., Алимова А.Н., Абдуллазянов Р.Э. Анализ и способы расчета потерь активной мощности и электроэнергии в низковольтных цеховых сетях // Вестник КГЭУ 2018. – № 4 (40). – С. 53-65.

2. Воротницкий В.Э., Загорский Я.Т., Апраткин В.Н., Западнов А.А. Расчеты, нормирование и снижение потерь электрической энергии в городских электрических сетях - ж-л "Электрические станции". – 2000. – № 5. – С. 9-13.

3. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – № 2. – С. 65-74.

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

УДК 621.317.7

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ С УМНЫМИ ПАРКОВКАМИ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ЭХО-СОСТОЯНИЙ

Альзаккар А.М.<sup>1</sup>, Местников Н.П.<sup>2</sup>, Валеев И.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>2</sup> Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск, Россия

<sup>1</sup>Ahmadalzakkar86@gmail.com, <sup>2</sup>Sakhacase@bk.ru

Целью доклада является разработка метода сети эхо-состояний (ESN) для оценки индекса нагрузки устойчивости напряжения (Н-индекс) в интеллектуальной сети и сравнение с производительностью метода многослойного персептрона (МСП). Поставленные задачи решались методом онлайн-оценки устойчивости напряжения, основанным на вычислительном интеллекте: (сеть эхо-состояний-ESN).

**Ключевые слова:** устойчивость, сеть эхо-состояний, Н-индекс, шина.

В работе рассмотрен вопрос обеспечения устойчивости напряжения энергетической системы, являющийся одним из ключевых в процессе планирования и эксплуатации энергосистемы. В любой момент времени рабочее состояние энергосистемы должно быть стабильным, соответствовать различным эксплуатационным критериям, а также должно быть безопасным в случае любого вероятного непредвиденного обстоятельства.

1. Индекс Нагрузки Устойчивости Напряжения (Н-индекс): этот индекс указывает, насколько шины нагрузки далеки от своих пределов устойчивости напряжения, и, следовательно, идентифицирует критические шины. Н-индекс используемый в этой статье, рассчитывается из [1], где  $U_0$  и  $U_L$  — величины напряжения с и без нагрузки на шине, а  $\theta_0$  и  $\theta_L$  — измерения фазового угла напряжения с и без нагрузки соответственно [1]:

$$N - \text{ИНДЕКС} = \frac{4[U_0 U_L \cos(\theta_0 - \theta_L) - U_L^2 \cos^2(\theta_0 - \theta_L)]}{U_0^2} \quad (1)$$

2. Сеть эхо-состояний (ESN): ESN состоящая из динамического резервуара (ДР) с входными, внутренними весовыми матрицами и матрицами обратной связи ( $W_{вх}$ ,  $W$  и  $W_{вых}$ ) соответственно со свойством ESN, была получена в соответствии с шагами, описанными в [2].

Использовались 10 входных нейронных сетей и 2 выходные нейронные сети с линейными функциями, а внутренние блоки состояли из сигмоидальных функций. Было рассмотрено три случая на 20, 50 и 100 внутренних единицах. Необученная сеть управлялась набором обучающих данных, состоящим из значений активной и реактивной мощности на пяти шинах, включая шины нагрузки и три ближайшие шины, в качестве входных данных с расчетным N-индексом желаемых выходных данных на шине 7 и шине 10. Внутренние состояния рассчитывали по уравнению (2):

$$x(n + 1) = f(u(n + 1) W^{BX} + x(n) W + d(n) W^{ВЫХ}) \quad (2)$$

3. Система тестирования: Система тестирования -представляет собой тестирование устойчивости напряжения на 10 шинах с включенными ПЭМ, показанных на рис.1. Энергосистема состоит из объектов, которые описаны в [3, 4].

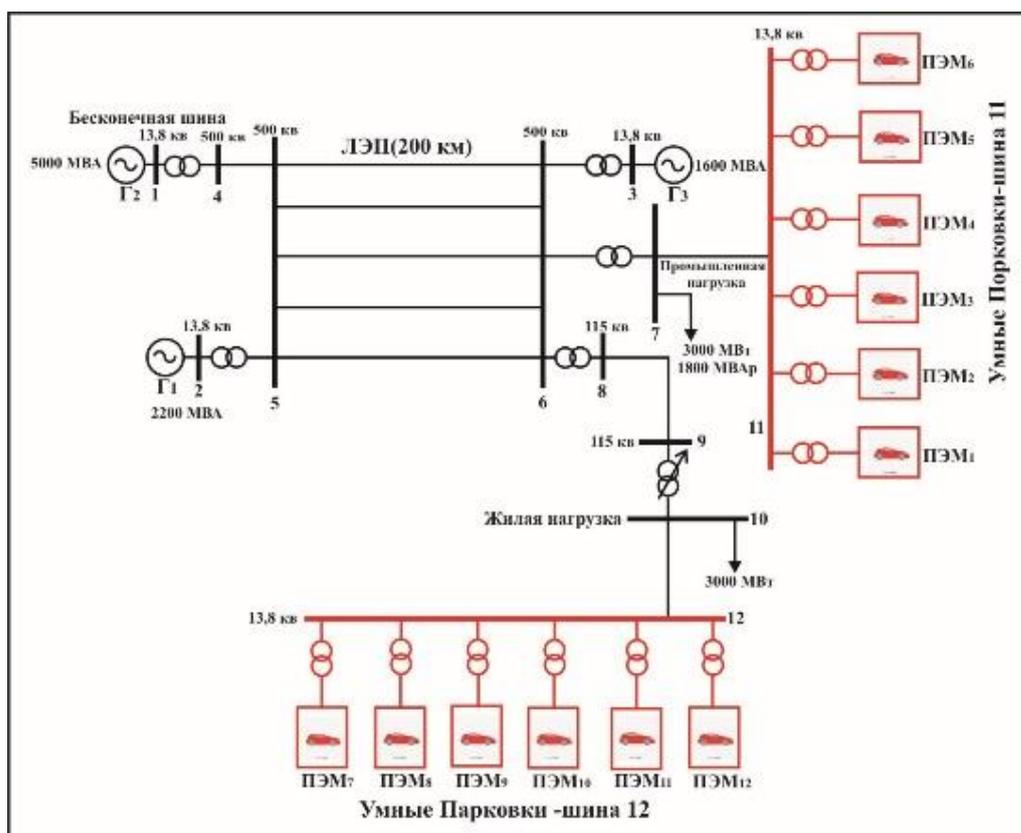


Рис.1. Энергосистема с умными парковками

Затем выполняется онлайн-применение обученной ESN путем применения ESN для прогнозирования N-индекса устойчивости напряжения энергосистемы с подключаемыми электромобилями (ПЭМ).

Графики, показывающие типичный спрос на электроэнергию в течение 24 часов для двух парковок, используемых в этой диссертации, показаны на рис. 2. Графики рис. 2 показывают, что производительность ESN для оценки Н-индекса в энергосистеме имеет более высокую точность по СКО, чем у МСП. График Н-индекса, оцененный с использованием ESN, близко соответствует рассчитанному Н-индексу.

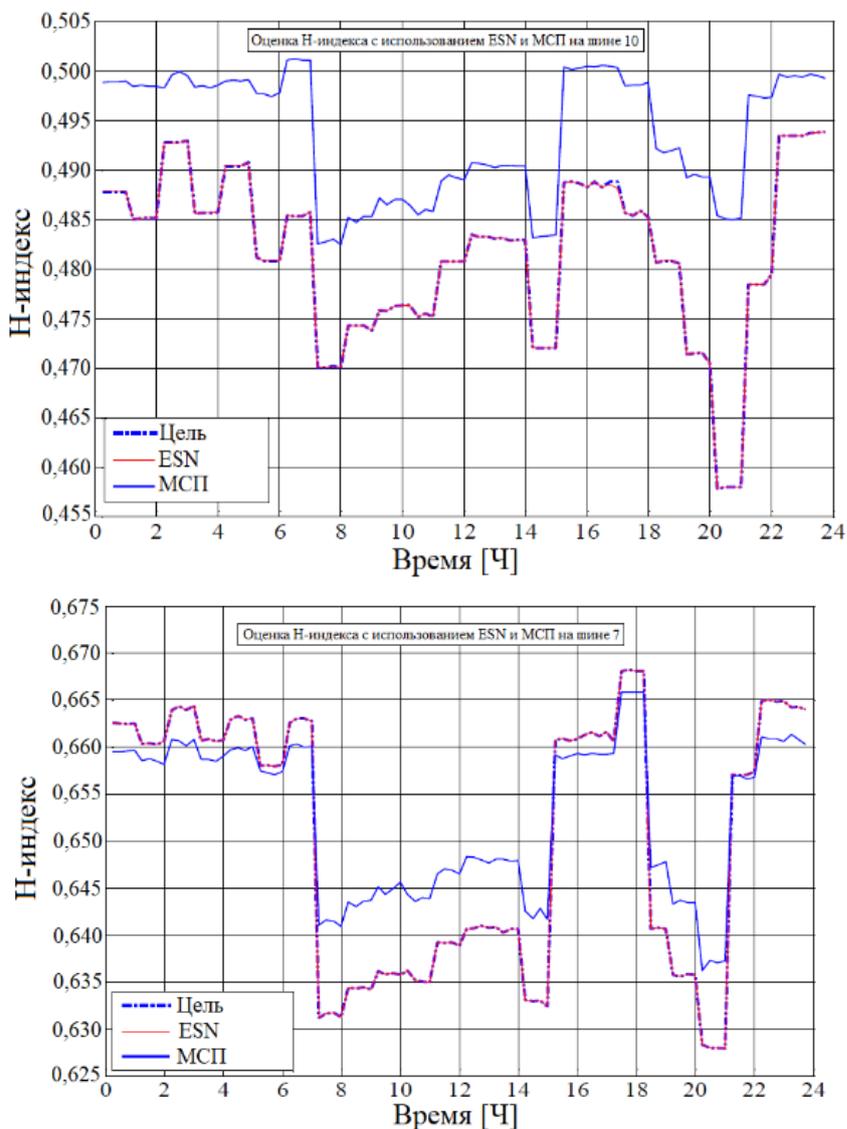


Рис.2. Оценка Н-индекса на (А. шине 10; Б. шине 7).

В ходе проведения исследований авторами статьи сформулированы следующие выводы: Разработан метод, основанный на сети эхо-состояний (ESN) для оценки Н-индекса; показаны выводы моделирования метода сети эхо-состояний в системе из 10-шин; изучена производительность ESN для оценки Н-индекса в интеллектуальной сети; представлена разработка ESN и дано сравнение точности с методом МСП оценки Н-индекса на двух шинах нагрузки.

## Источники

1. Альзаккар А., Местников Н.П., Максимов В.В., Валеев И.М., Оценка индекса устойчивости напряжения электрических сетей, питающих зарядные станции электромобилей с применением многослойного персептрона // Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики. – 2022. – Т. 24. – №. 2. – С. 36–49.

2. Mestnikov N., Vasilyev P. F., Davydov G. I., Khoyutanov A. M. and Alzakkar A. “Applicability of photoelectrical solar units inside domical-structures in northern conditions,” iPolytech Journal, Proceedings of Irkutsk State Technical University, – Vol . 25. – №. 4. – 2021.

3. Валеев И. М., Альзаккар А.М.Н. Гармоники и их влияние при определении метода компенсации реактивной мощности в электрических сетях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 1 (45). – С. 24–39.

4. Alzakkar A., Maksimov V.V., Samofalov Y., Piyasov I., Valeev I. The impact of electrical interconnection between countries on the stability of electrical power systems// 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). – 2022.

УДК 004.89

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАФИКОВ РЕМОНТОВ В ДИСПЕТЧЕРСКИХ ЦЕНТРАХ

Булыгин К.А.<sup>1</sup>, Булыгина О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал АО «СО ЕЭС» Смоленское РДУ, г.Смоленск, Россия

<sup>2</sup>Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске, г.Смоленск, Россия

mostik-kostik@mail.ru

В тезисе рассматриваются вопросы построения интеллектуальной системы планирования ремонтов электроэнергетического оборудования в диспетчерских центрах АО «СО ЕЭС» в условиях развития единой информационной среды на базе технологии СІМ. Предлагается усовершенствовать алгоритмы формирования базы данных совместимых/несовместимых ремонтов, ввести понятие комплексного коэффициента приоритета ремонта, а также понятие агента для целей создания мультиагентной системы планирования ремонтов. Представлены этапы автоматизированного формирования предварительного графика ремонтов и архитектура агента в составе мультиагентной системы планирования ремонтов электроэнергетического оборудования.

**Ключевые слова:** планирование ремонтов, СИМ, алгоритм, приоритет, несовместимый ремонт, мультиагентная система, предварительный график

К настоящему моменту в АО «СО ЕЭС» осуществляется формирование единой информационной модели (ИМ) на базе технологии СИМ, внедрена интеграционная платформа, обеспечивающая функционирование в единой программной среде различных по функционалу комплексов АСДУ. Ряд решаемых диспетчерскими центрами (далее – ДЦ) остаются сложно автоматизируемыми виду ряда особенностей. Так, качество формирования сводного годового (месячного) графика ремонтов ЛЭП и электросетевого оборудования (далее – ГР) практически полностью зависит от знаний, опыта и коммуникабельности специалистов ДЦ и требует значительных трудозатрат. В условиях формирования единой информационной среды АО «СО ЕЭС» становится целесообразным построение интеллектуальной системы формирования ГР [1], в целях минимизации трудозатрат и вероятности ошибок, повышения качества планирования ремонтной кампании.

Для формирования интеллектуальной системы планирования ремонтов электроэнергетического оборудования предлагается:

1. Усовершенствовать алгоритмы формирования базы данных совместимых/несовместимых ремонтов:

- применить методы машинного обучения для автоматизации процесса поиска/актуализации недопустимых совмещений;
- перейти к использованию методов нечёткой логики для машинной оценки допустимости/недопустимости наиболее сложных совмещений.

2. Ввести понятие и определить методику расчёта комплексного коэффициента приоритета ремонтов, который должен обеспечивать учёт ряда параметров, таких как значение индекса технического состояния, статистики аварийности, частоты проведения ремонтных работ и т. п.

3. Определить каждую единицу основного и вспомогательного электроэнергетического оборудования в составе СИМ-модели как отдельный агент, имеющий возможность агрегировать данные о своем техническом состоянии, образовывать связи различных категорий с другими элементами модели и базами данных [2].

На начальном этапе целью создания такой системы является создание интеллектуальной системы формирования предварительного ГР ремонтов (рис. 1).



Рис. 1. Этапы автоматизированного формирования предварительного ГР

Основой для построения мультиагентной системы планирования ремонтов может стать сеть потребностей-возможностей (порождающая ПВ-сеть) [3]. В таком случае образуется множество  $N$ , где между агентами (множество агентов  $A$ ) в каждый рассматриваемый момент времени  $t$  будут образовываться связи (множество отношений  $R$ ) различных типов, в зависимости от исходных данных и заданных целей (множество целей  $G$ ). Так ЛЭП 110 кВ, являясь агентом 1, используя инструменты обмена и обработки исходных данных, формирует связи матчинга, обменивается данными с прочими агентами и осуществляет поиск конфликтов. Для урегулирования конфликта используется инструмент принятия решений (множество решений  $P$ ) [4]. Агент с наименьшим приоритетом изменяет срок своего ремонта, условия ремонта, или формирует отказ на выполнение работ в текущем интервале планирования.

$$N = \{A, R, P, G\}.$$

Обобщённая архитектура агента ПВ-сети планирования ремонтов электроэнергетического оборудования представлена на рис. 2.

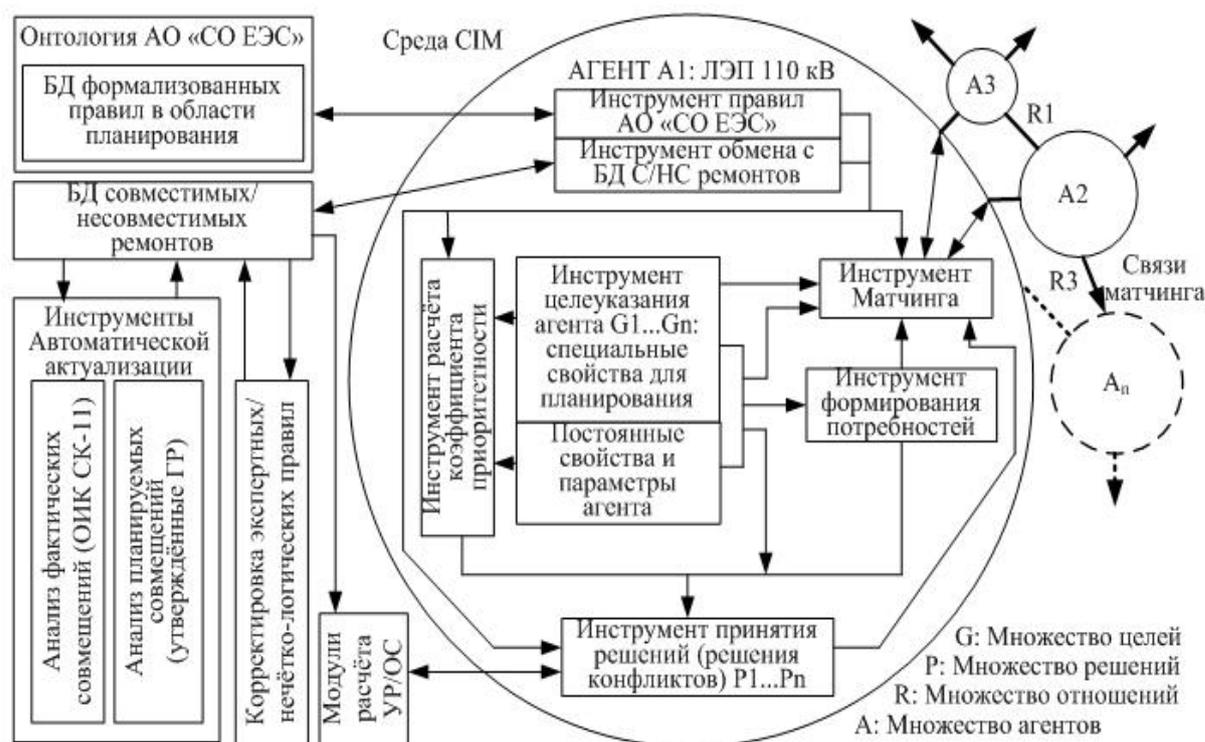


Рис. 2. Обобщённая структура агента ПВ-сети планирования

## Источники

1. А.В. Остроух. Введение в искусственный интеллект//Научно-инновационный центр. – 2020. – С. 110-117.
2. Спицина И.А., Аксенов К.А. Мультиагентный метод анализа и синтеза информационных систем. Издательство Уральского университета. Екатеринбург. – 2017. – С. 19-21.
3. Боргест Н.М., Симонова Е.В. Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию. Издательство СГАУ. Самара, 2009. [Электронный ресурс]. <http://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-izdaniya/Osnovy-postroeniya-multiagentnyh-sistem-ispolzuushih-ontologiu-ucheb-posobie-Tekst-elektronnyi-87260/1/Боргест%20Н.М.%20Основы%20построения%202009.pdf> (дата обращения: 22.07.22).
4. Третьяков Е.С. Методология разработки самоорганизующихся мультиагентных информационно-аналитических систем по сбору и обработке данных: дис. к-та техн. наук. Москва, 2020. [Электронный ресурс]. [https://ds.mephi.ru/documents/382/Третьяков\\_Е\\_С\\_Текст\\_диссертации.pdf](https://ds.mephi.ru/documents/382/Третьяков_Е_С_Текст_диссертации.pdf) (дата обращения: 22.07.22).

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Бызов А.А.<sup>1</sup>, Трифонов Е.А.<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
artem-byzov@inbox.ru, trifonov2001Genja@mail.ru

Науч. рук. доц. Кубарев А.Ю.

В связи с развитием и трансформацией энергосистем требования к ним постоянно изменяются и становятся выше, что в результате привело к их масштабной автоматизации с помощью информационных технологий. В статье рассматриваются направления их развития, решаемые проблемы, а также перспективы на ближайшее будущее.

**Ключевые слова:** цифровизация, энергетика, электрические сети, информационные технологии, автоматизация.

Развитие информационных технологий в последние годы положительно повлияли на уровень жизни людей, что в последствии сказалось на требования к безопасности и надежности электрических сетей. В связи с этим энергосистема в последние годы претерпела масштабные преобразования, что положительно повлияло на степень автоматизации энергосистем. В настоящее время системы автоматизации используют современные информационные технологии для контроля рабочих параметров энергосистем. Операторы электростанций могут контролировать систему посредством контроля работы энергосистемы в режиме реального времени, дистанционного управления, в соответствии с условиями ее работы, а также быстро и точно определять отказ системы и анализировать необходимые данные.

Система автоматизации электроэнергетики активно используется, в том числе в широком спектре социальной повседневной жизни, для производства и передачи электроэнергии, что в конечном итоге повлияло на требования к системам и усложнило их развитие. В целях удовлетворения социальных требований, повышения эффективности работы персонала энергосистемы и снижения сложности работы разработан ряд автоматизированных систем с использованием информационных технологий в энергосистеме, таких как система релейной защиты, система онлайн-мониторинга и система автоматического управления. Используя эти передовые технологии, стало возможным четко показать подробную

работу системы питания, чтобы помочь персоналу быстро устранять проблемы, делая систему питания более безопасной и надежной [1].

Система автоматизации для информационных технологий, технологий управления и автоматизации, а также связанных с ними технологий, основанных на производстве и передаче электроэнергии подстанциям и другим модулям, интегрированным вместе в сложную структуру, созданная таким образом, чтобы достичь полного мониторинга и контроля автоматизацией электросети для безопасной и стабильной работы электростанции, заложила хороший фундамент для дальнейшей работы. В настоящее время система автоматизации электроснабжения, как гибкая системная платформа, не только имеет функцию обновления системного программного обеспечения, но также обладает определенной степенью открытости, которая может включать просмотр веб-страниц, запросы и другие функции, а электронное информационное оборудование является реализацией системы электронной автоматизации, обеспечиваемой аппаратным и программным обеспечением [2]. Аппаратная часть системы электронной автоматизации в основном собирает телеметрию и телеметрические данные в электросети и настраивает соответствующие параметры путем настройки соответствующих команд, а затем настраивает соответствующие параметры работы оборудования. Программное обеспечение электронной системы автоматизации отвечает за контроль выработки электроэнергии, планы и другие связанные с этим цели. Таким образом, на основе современных информационных технологий, система автоматизации совершает мониторинг всей энергосистемы.

Начиная с 1990-го года применение информационных технологий в сфере энергетики стало особо актуально, что было связано с различными реформами в данной области. В результате длительного периода научных исследований и разработок системы автоматизации стали прекрасными помощниками. В настоящее время применение информационных технологий, особенно включающих в себя искусственный интеллект, который способен анализировать компьютерные данные для решения сложных статистических задач, совершенствуют цифровой уровень энергосистем. Кроме того, при строительстве автоматизированной подстанции начали использовать оборудование автоматизации для замены обычных контрольно-измерительных приборов и устройств релейной защиты, что необходимо для эффективной и стабильной работы подстанций. В то же время, использование интеллектуальных онлайн и оффлайн систем мониторинга необходимы для обеспечения экономного расхода ресурсов, надежности, эффективности и безопасности распределительной сети, а также поддержки хорошего рабочего состояния.

В настоящее время использование цифровых технологий стирает грань между традиционными поставщиками и потребителями энергии и создает возможности для потребителей из всех секторов спроса напрямую участвовать в энергосистеме, балансируя спрос и предложение в режиме реального времени [3]. Это обеспечивается: появлением у потребителя возможности изменять свое энергопотребление в зависимости от ситуации в энергосистеме (отклик спроса); увеличением доли профессиональных потребителей, имеющих собственные источники производства или хранения энергии и вносящих свой вклад в развитие распределенных энергоресурсов; внедрение «умной зарядки» электромобилей, которая переключает спрос в непиковые периоды (экономия инвестиций в новую электроэнергетическую инфраструктуру); использование новых инструментов, таких как блокчейн, для облегчения работы локальной системы торговли энергией.

Применение цифровых технологий в электроэнергетике меняет всю бизнес-модель отрасли, что говорит о том, концепция Интернета энергии (IoE) уже имеют большой спрос. Его характерными чертами являются: распределённое производство электроэнергии; потоки электроэнергии становятся двунаправленными; «вещи» становятся участниками нового рынка электроэнергии; энергия мобильна и доступна в любом месте, как мобильный интернет.

Таким образом, развитие энергетического сектора с использованием уникальных информационных технологий занимает очень важное место в автоматизации. Данное органичное сочетание способствует их постоянному совершенствованию и достижению эффективной и безопасной работы, а также удовлетворяет потребности населения в электроэнергии.

### **Источники**

1. Микешина А.А. Применение современных информационных технологий для планирования развития электрических сетей // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2010. – Т. 137. – С. 910-913.

2. Галимова И.И. Сулейманов М.М. Применение современных информационных технологий в энергетике // Моя профессиональная карьера. – 2019. – Т. 3. – № 5. – С. 283-286.

3. Ромашкина А.Ю. Информационные технологии в электроэнергетике // Молодой ученый. – 2015. – №3. – С. 76-78.

## УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Васильченко Д.Я.

ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Россия

dy.va.99@mail.ru

Науч. рук. доц. Воронин А.А.

В тезисе рассмотрены вопросы: наиболее выгодное место установки солнечной электростанции (СЭС), а также влияние генерации ВИЭ при утяжелении исходного режима на примере моделирования внедрения СЭС в существующую часть энергосистемы г. Самара. Математическое моделирование и расчёт электрических режимов энергосистемы были произведены в программном комплексе (ПК) RastrWin 3. В процессе практического исследования была получена зависимость запаса статической устойчивости по напряжению от мощности генерации СЭС при утяжелении исходного режима. Был составлен алгоритм эффективного автоматизированного управления режимом работы СЭС с учётом требований к ВИЭ, работающих в составе энергосистемы.

**Ключевые слова:** солнечные электростанции, ВИЭ, управление режимами, алгоритм управления, статическая устойчивость.

Актуальность работы обусловлена потребностью формирования материально-технической базы, необходимой для систематизации проектирования и диспетчеризации новых энергообъектов на основе ВИЭ, объём которых наращивается согласно энергетической стратегии России на период до 2035 года [1]. На сегодняшний день существует большое множество структур и вариантов построения СЭС [2], в данной работе будет рассмотрен вариант построения сетевой СЭС, работающей параллельно с городской энергосистемой.

Рассматривая вопрос влияния СЭС, работающей параллельно с городской энергосистемой на параметры её режима, целесообразно рассматривать солнечные электростанции как источник активной мощности с вытекающей из этого способностью к регулированию частоты прилегающей сети. Малая выработка СЭС реактивной мощности обусловлена высоким значением коэффициента мощности сетевых инверторов  $\cos\varphi = 0,99$ .

При проектировании электроэнергетических систем, имеющих в своём составе ветряные и солнечные электростанции, должны

учитываться предъявляемые к ним требования, определяющие влияние объектов генерации ВИЭ на параметры электрических режимов прилегающей сети [3].

В качестве примера, в ПК RastrWin 3 было произведено математическое моделирование и расчёты режимов модели СЭС «Кировская» установленной мощностью 75 МВт, работающей параллельно с энергосистемой г. Самара.

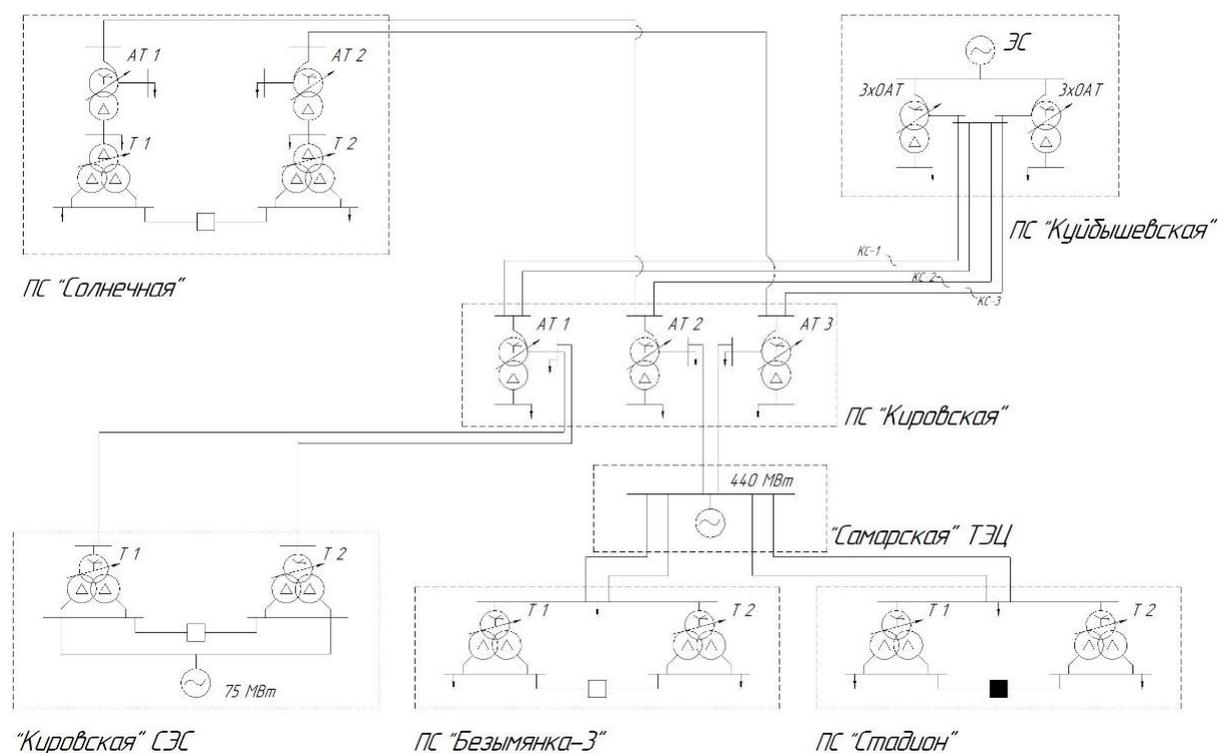


Рис. 1. Расчётная эквивалентная схема части Самарской энергосистемы

Для определения наиболее выгодного места присоединения проектируемой СЭС были рассмотрены пять вариантов выдачи мощности СЭС в городскую энергосистему и проанализированы следующие параметры: суммарные потери активной и реактивной мощности, комплексная нагрузка балансирующего узла и перетоки мощности в контролируемых сечениях трёх ЛЭП 220 кВ от ПС «Куйбышевская» до ПС «Кировская» (КС-1, КС-2, КС-3). Сравнение результатов расчёта нормального режима для пяти вариантов приведены в табл. 1. Проанализировав результаты, исходя из оптимальной загрузки по мощности в КС ЛЭП, оптимального потребления мощности из внешней энергосистемы и наименьших потерь мощности в городской сети, наиболее выгодным вариантом был выбран режим работы, в котором СЭС выдаёт всю вырабатываемую мощность на РУСН АТ1 ПС «Кировская».

Сравнение результатов расчёта нормального режима

№ п/п	Режим работы	Потери активной мощности $\Delta P_{\Sigma}$ , МВт	Потери реактивной мощности $\Delta Q_{\Sigma}$ , МВАр	Комплексная нагрузка балансирующего узла $S_{н}$ , МВА	Перетоки мощности, $S_{пер}$ МВА		
					КС-1	КС-2	КС-3
1	Без учёта СЭС	2,525	38,927	224,9+j210,4	103,5+j72,7	29,4+j46,9	34,5+j46,9
2	СЭС выдаёт мощность на СН АТ1 ПС «Кировская»	2,416	42,822	150,5+j206,7	29,1+j69,8	29,4+j46,9	34,5+j47
3	СЭС выдаёт мощность на СН АТ2 ПС «Кировская»	3,051	52,881	150,5+j216,6	103,5+j72,7	70,2+j43,9	68,3+j43,2
4	СЭС выдаёт мощность на СН АТ1 и СН АТ2 ПС «Кировская»	2,528	45,202	150,3+j209,1	58+j60,5	45,4+j40,8	47,7+j41,4
5	СЭС выдаёт мощность на СН АТ1 и СН АТ3 ПС «Кировская»	2,561	45,369	150,4+j209,3	57,7+j60,5	42,4+j41,4	50,3+j40,7

Далее в ПК RastrWin 3 были произведены утяжеления исходного режима с увеличением нагрузок с шагом в 10 % на РУСН 110 кВ всех трёх автотрансформаторов ПС «Кировская». На основе данных процесса утяжеления были построены зависимости величины напряжения на РУСН трёх АТ ПС «Кировская» от увеличения нагрузки на шинах данной подстанции. Полученные зависимости для наиболее выгодного варианта приведены на рис. 3.

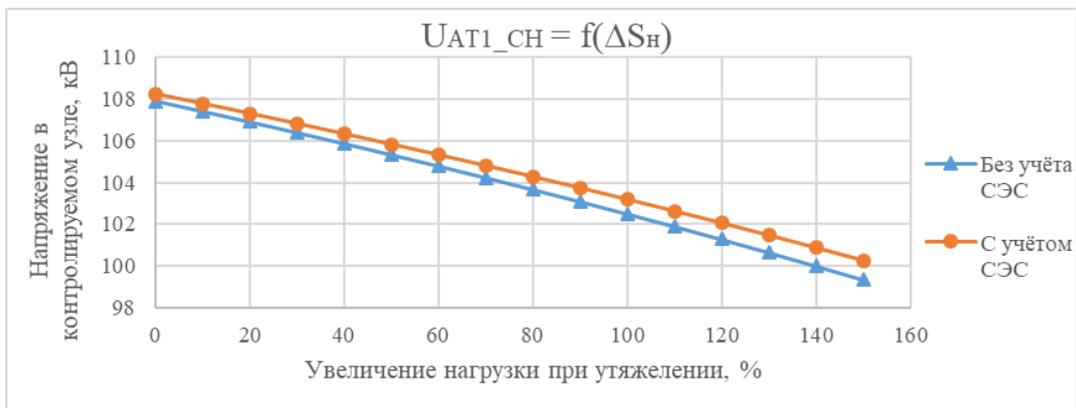


Рис. 3. Зависимость напряжения на РУСН АТ1 от увеличения нагрузки

Представленная зависимость подтверждает вывод, приведённый в работе [4], о том, что максимальный эффект по повышению статической устойчивости обеспечивается при расположении ВИЭ в дефицитных районах.

Представим алгоритм работы, учитывающий требования [3], (см. рис. 4).

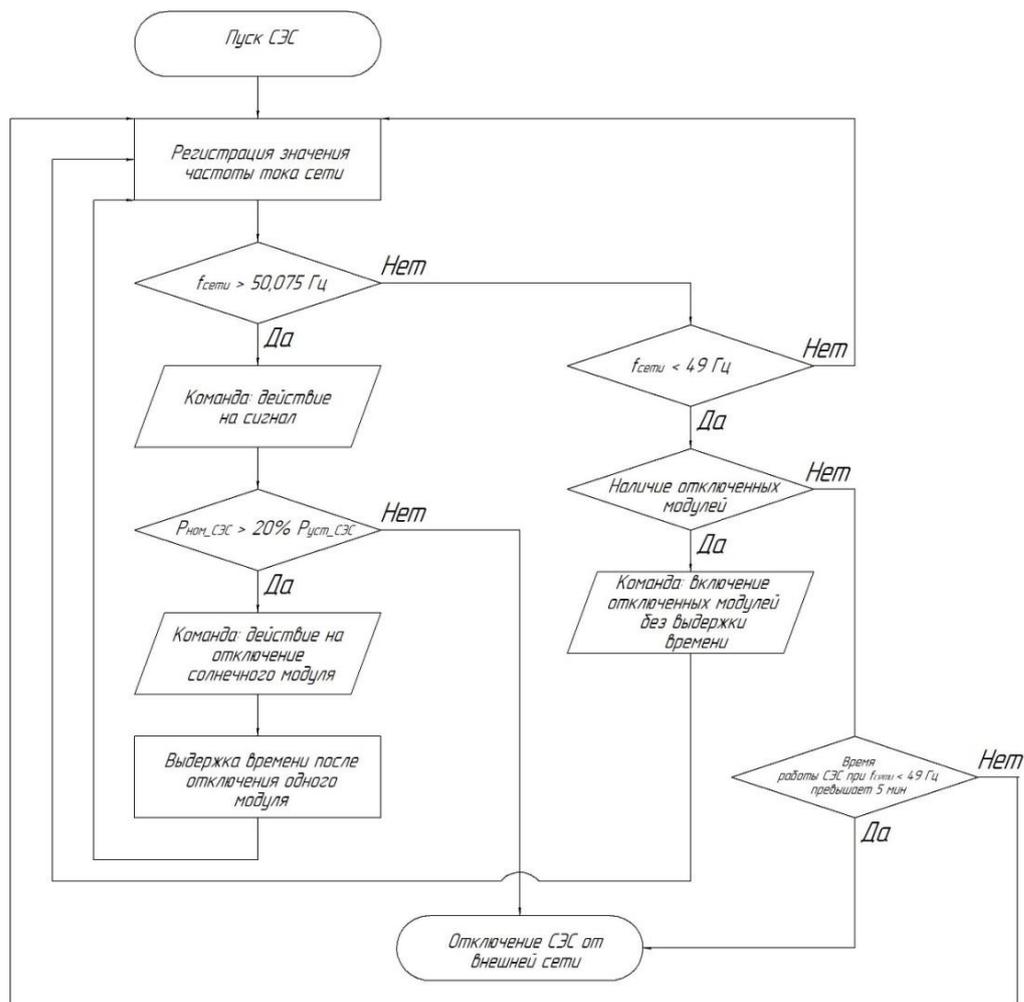


Рис. 4. Блок-схема алгоритма автоматизированного управления режимом работы СЭС

Обобщая результаты исследования, можно сделать следующие выводы:

- максимальный эффект по повышению статической устойчивости обеспечивается при концентрированном расположении ВИЭ в дефицитных районах;
- наращивание генерируемых мощностей ВИЭ, включенных в дефицитные части существующих энергосистем, имеет положительный технический и экономический эффекты;
- ценность проведённого исследования заключается в формировании ориентира развития зелёной энергетики

### **Источники**

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года // ac.gov.ru: Документы. [Электронный ресурс]. URL: <https://ac.gov.ru/files/content/1578/11-02-14-energostrategy-2035-pdf.pdf>. (дата обращения: 12.08.22).
2. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников - Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – 125 с.
3. Совместное заседание секции «Управления режимами энергосистем РЗА» и секции «Проблемы надёжности и эффективности релейной защиты и средства автоматического системного управления в ЕЭС России» НП «НТС ЕЭС» по теме «Требования к системам регулирования, управления и защиты возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) при их работе в составе ЕЭС России». - Москва, 02 августа 2017 г.
4. Управление режимами электрических сетей с распределенной малой генерацией (на примере Монгольской энергосистемы): диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / Энсайхан Э., Фишов А.Г. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. – 24 с.

УДК 621.315.177

## **КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ**

Гараев А.А., Маклецов А.М.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Ainur\_garaev\_2000@mail.ru

Актуальность данного тезиса заключается в том, с внедрением ИЕС 61850, коммуникативная связь будет использоваться для автоматизации подстанции, а также

для целей защиты внутри подстанции и между подстанциями. Подстанции являются ключевыми компонентами энергосистемы, облегчая эффективную передачу и распределение электроэнергии, а системы автоматизации подстанций обеспечивают возможность их управления и мониторинга в режиме реального времени и способствуют максимальной доступности, эффективности, надежности, безопасности и интеграции данных.

**Ключевые слова:** цифровая подстанция, контрольно-измерительные приборы.

Применение новых технологий контроля, измерения, управления и передачи данных в пределах подстанции позволит коренным образом пересмотреть структуры и средства обеспечения надежности защиты силового оборудования, повышения эффективности и сокращения времени технического обслуживания всех вторичных систем.

Цифровая подстанция обеспечивает ее надежность и экономичность на протяжении всего жизненного цикла за счет использования вторичной технологии (например, цифровых защитных устройств, датчиков и компонентов автоматизации) а также коммуникационные технологии на основе Ethernet и стандартные протоколы связи (например, IEC 61850, Goose). Помимо вторичной технологии, для использования дополнительного потенциала подстанции с точки зрения эксплуатационной эффективности и безопасности используются новые первичные технологические разработки, такие как нетрадиционные трансформаторы тока и напряжения.

Цифровая подстанция не является статической конструкцией, которая не меняется в течение всего жизненного цикла. Вместо этого он является гибким компонентом в сети электроснабжения, который постоянно адаптируется к требованиям и условиям на протяжении всего своего жизненного цикла. Кибербезопасность является наиболее важным аспектом в этом отношении, поскольку цель заключается в том, чтобы поддерживать систему со всеми ее продуктами в актуальном состоянии в любое время, чтобы уменьшить риск перебоев в работе.

Использование оптических ТТ и ТН обусловлено широкой полосой пропускания, расширенным диапазоном токов (10–12000А), повышенной безопасностью, устойчивостью к электромагнитным помехам, простотой установки (рис. 1).

Измерительный преобразователь тока (ЦТТ) предназначен для измерения и передачи параметров тока приборам измерения, учета, защиты, автоматики, сигнализации и управления в сетях переменного и постоянного тока на номинальное напряжение 6(10)–110 кВ (на более высокие классы напряжения – выполняется по согласованию) с частотой 50 и 60 Гц (рис. 2).

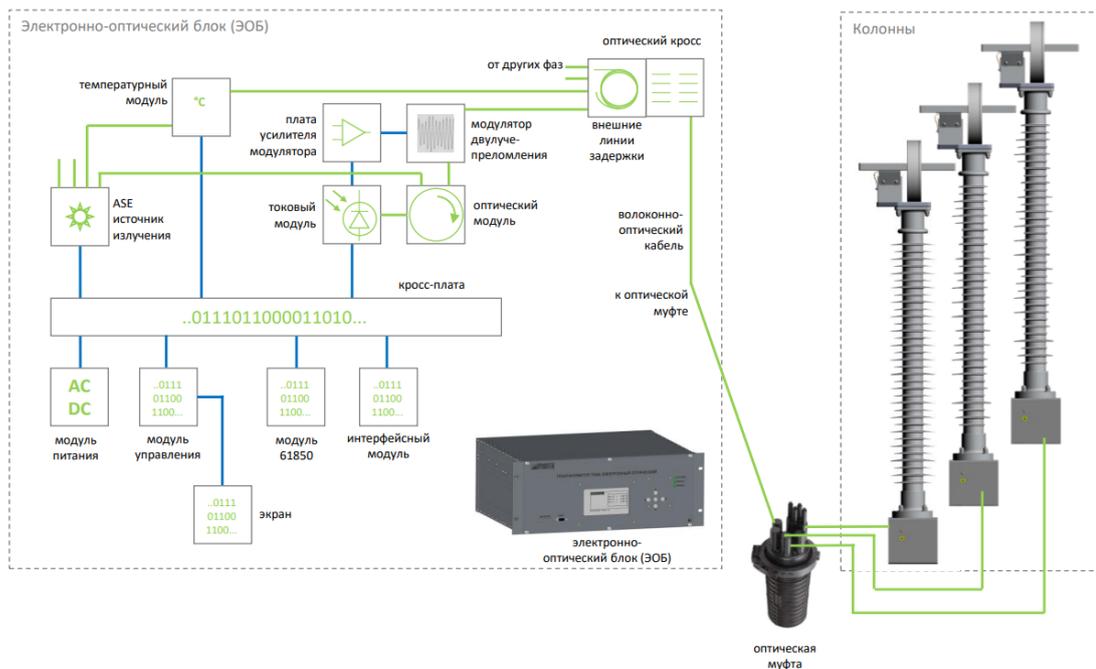


Рис. 1. Структура схемы цифрового трансформатора тока

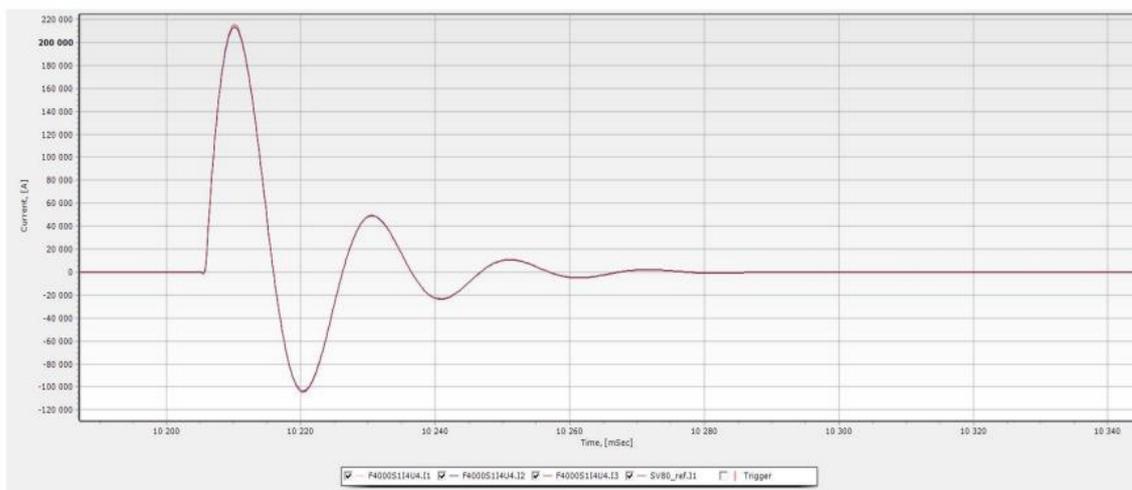


Рис. 2. Показатель высокой точности трансформатора тока в переходных моментах

Измерительный трансформатор напряжения (ЦТН) предназначен для измерения и передачи параметров напряжения приборам измерения, учета, защиты, автоматики, сигнализации и управления в сетях переменного и постоянного тока на номинальное напряжение 6(10) – 110 кВ с частотой 50 и 60 Гц (рис. 3).

Преимущества ЦТН состоит в том, что мы исключаем опасные перенапряжения, имеем широкий частотный диапазон, широкий температурный диапазон. ЦТН имеют малые габариты, они взрыво и пожаробезопасны.

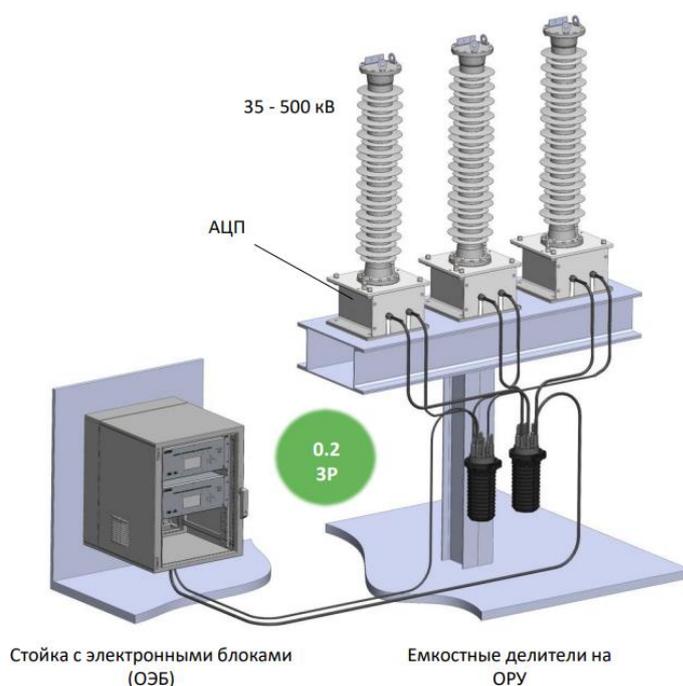


Рис. 3. Цифровой трансформатор напряжения

Оборудование системы управления в подстанции является жизненно важной частью, которая контролирует, защищает и контролирует передачу электроэнергии. Возрастающая сложность подстанций на сегодняшний день, наряду с увеличением передаваемой мощности и увеличением уровня тока неисправности, означает увеличение требований к оборудованию управления и защиты. Общей целью является обеспечение максимальной надежности обслуживания. Гибкость и надежность также являются важными факторами для достижения полной надежности.

### Источники

1. IEC 60044-7. Instrument transformers. Part 7. Electronic volt. transformers.
2. Моржин Ю.И. Цифровая подстанция ЕНЭС / Ю.И. Моржин, С.Г. Попов, П.А. Горожанкин В.Г. Наровлянский, М.А. Власов, А.А. Сердцев // ЭнергоЭксперт. – 2011. – № 4 (27). – С. 27-32.
3. Протокол МЭК 61850. Коммуникационные сети и системы подстанций. Общий обзор для пользователей. Drew Baigent, Mark Adamiak, Ralph Mackiewicz.
4. СО 34.35.310 (РД 34.35.310-97). Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем.
5. Большаков О.О полноте реализации цифровой подстанции.

[Электронный ресурс]. <http://digitalsubstation.com/blog/2016/02/15/o-polnote-realizatsii-tsifrovoj-podstantsii/> (дата обращения: 12.09.22).

6. Гельфанд А.М. Перспективы создания цифровых программно-аппаратных комплексов подстанций ЕНЭС.

7. Старостин Н.И., Рябко М.В., Чаморовский Ю.К., Губин В.П., Сазонов А.И., Моршнева С.К., Коротков Н.М. Интерферометрический волоконно-оптический материал 318, Электрооборудование, 2010 г. – Vol 318.

УДК 343.711.63

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Гарифуллина А.Р., Сабитов А.Х.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
Albinami@yandex.ru

В статье рассмотрены различные методы диагностики кабельных линий. Проведено сравнение методов. Рассмотрены основные достоинства и преимущества.

**Ключевые слова:** диагностика, кабельная линия, неразрушающий метод, частичный разряд, коэффициента мощности, возвратное напряжение и ток, рефлектометрия.

Для выявления наиболее оптимального способа диагностики необходимо осуществление сравнения методик, характеризующихся различными принципами определения состояния изоляции кабельных линий. В табл. 1 приведены результаты сравнения наиболее распространенных методов диагностики по критериям, указанным выше.

Сопоставляя специфические особенности каждого неразрушающего метода диагностики изоляции кабельных линий, необходимо отметить следующее. Указанные методы являются безопасными для оперативного персонала при условии соблюдения методик проведения исследования, отраженных в соответствующих нормативных документах, а также в технической сопроводительной документации заводов-изготовителей диагностирующего оборудования.

На погрешность измерений данными методами в разной степени воздействует наличие источников импульсных сигналов (высокочастотных и низкочастотных помех) разного рода.

## Анализ неразрушающих методов диагностики КЛ

	Безопасность проведения	Влияние помех	Необходимость многократных измерений	Проведение измерений под	Продолжительность		
					менее 1 часа	от 1 до 2 часов	более 2 часов
1	2	3	4	5	6	7	8
Измерение tg $\delta$	+	+	+			+	
Метод измерения и анализа возвратного напряжения и тока релаксации	+	+	+				+
Метод рефлектометрии	+	+				+	
Тепловизионный контроль (ТВК)	+			+	+		
Измерение характеристик ЧР	+	+	+	+		+	

Наличие помех определяет неэффективность использования методов измерения коэффициента мощности, возвратного напряжения и тока, а также рефлектометрии в диагностических целях даже на выведенном в ремонт оборудовании. Применение перечисленных методов применительно к кабельным линиям под рабочим напряжением оказалось неэффективным. Тепловизионный метод контроля такого недостатка не имеет, так как диагностирующий параметр в большей степени зависит от действующего значения рабочего тока, чем от частоты. Метод измерения частичных разрядов весьма зависим по принципу своего действия от внешних помех, главным образом помех, находящихся в частотном диапазоне коронных разрядов на токоведущих частях высоковольтного оборудования.

Применительно к методу измерения ЧР, данная проблема решается с помощью применения различных методов селекции сигнала. Отделение внешних помех от собственно сигналов ЧР, возникающих внутри изоляции контролируемого объекта, делает возможным применение данного метода в режиме on-line, что сокращает время на вывод КЛ в ремонт для проведения диагностики и не влияет на надежность схемы электропитания.

Наиболее длительное пребывание на объекте диагностирования предполагает метод измерения возвратного напряжения и тока релаксации. Только на снятие остаточного заряда, необходимого для обеспечения качественного измерения, затрачивается не менее 2 часов, что делает

данный метод неэффективным для осуществления комплекса диагностических мероприятий на предприятиях с большим количеством КЛ, таких, например, как городские распределительные сети. Для эффективного выполнения графика диагностических исследований процесс измерения должен занимать не более 2 часов, что присуще остальным методам диагностики, за исключением тепловизионного контроля – измерения производятся моментально и не требуют проведения технических мероприятий, сопровождающих отключения в электроустановках.

При всех положительных эффектах метода тепловизионного контроля: отсутствии необходимости в многократных измерениях и влиянии паразитных токов и помех на результат измерения, компактности измерительного устройства, к тому же, это единственная методика, для которой регламентированы значения диагностического параметра (температура), данный метод обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, диагностике методом ТВК поддаются видимые участки кабельных линий, измерение температуры КЛ для участков, проложенных в траншее, не представляется возможным. Во-вторых, оценка состоянию изоляции дается общая, в целом метод является неточным и дает интегральную оценку состояния изоляции. То же самое следует отметить для методов измерения  $\tan\delta$  и тока релаксации. Методы высокочастотной и импульсной рефлектометрии способны локализовать место обрыва КЛ и короткое замыкание на линии, однако в силу ограничения линии по длине и сильному влиянию помех различного рода исключается возможность локализации дефекта изоляции и оценки степени разрушения изоляции.

Измерение характеристик частичных разрядов (ЧР) позволяет локализовать неоднородности и опасные включения в толще изоляции. Значительные отклонения от нормы фиксируются не только в предпробивной период, когда началось интенсивное разрушение изоляции, а на ранней стадии развития разрушения.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальным методом диагностики кабельных линий является метод измерения частичных разрядов. Наличие ЧР является первым тревожным сигналом, способным предупредить о надвигающейся угрозе выхода кабельной линии из строя. Важнейшими преимуществами данного метода являются возможность локализации развивающегося дефекта и мониторинга состояния изоляции КЛ в динамике, селекция сигналов ЧР позволяет произвести отстройку от внешних помех и производить

диагностику под рабочим напряжением. Данный метод, используемый совместно с испытанием оболочки кабеля, является на сегодняшний день наилучшим методом контроля качества работ по прокладке и монтажу кабельной линии.

### Источники

1. Инструкция по эксплуатации силовых кабельных линий. Часть 2. Кабельные линии напряжением 110-500 кВ. – Москва: Огни, 2014. – 526 с.

2. Коржов А.В Влияние электрического и магнитного полей на интенсивность частичных разрядов в изоляции // Кабели и Провода. М., 2012. – № 1 (332). – С. 16-21

3. Rorkowska B., Wlodek R. Pulse height analysis of partial discharges in air // IEEE Trans Elec. Insul. – 2013. – 28, N 6. – С 932 - 940.

4. Самарханова, Р.И. Методы диагностики мест повреждения кабельных линий / Р.И. Самарханова, Д.М. Валиуллина // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 20–21 октября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Издательско-полиграфическая компания "Бриг", 2022. – С. 207-208.

5. Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 07 апреля 2021 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – 226 с.

6. Казка, М. В. Разработка алгоритмов проведения симметрирования нагрузок вдоль линий электропередач 0,4 кВ / М. В. Казка, Н. А. Губарев, А.М. Маклецов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 146-150.

7. Воронцов, Г. Н. Анализ технологий smart grid как перспективный способ повышения энергосбережения в бытовом секторе / Г. Н. Воронцов, Р. Н. Мухаметжанов // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 77-80.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ШИН С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА COMSOL MULTIPHYSICS

Гервасьева Ю.Р., Максимов В.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
yuliya-gervaseva@yandex.ru

В тезисе рассматриваются теоретические вопросы программного комплекса COMSOL Multiphysics при моделировании токопроводящих шин в статическом DC-режиме и в AC-режиме на промышленной частоте. Излагается алгоритм использования программы, позволяющий освоить тонкости работы и получить расчетные данные, необходимые для принятия технических решений.

**Ключевые слова:** моделирование, шины, интерфейс, частота, режимы.

COMSOL Multiphysics – это программная среда для моделирования и оптимизации любой физической или физико-химической системы. COMSOL позволяет решать, как прямые задачи, т.е. по заданным входным данным описывать поведение системы или режим работы устройства, так и обратные задачи, т.е. задачи по определению некоторых неизвестных параметров по известным данным, например, эмпирические [1].

Шины и токопроводящие системы находят широкое промышленное применение в распределении электроэнергии и других электротехнических установках. Численное моделирование позволяет повысить эффективность разработки таких устройств за счет качественного расчета электрических параметров и характеристик.

### 1. Токопроводящая шина.

Токопроводящая шина - это две медные пластины, соединенные шиной в форме уголка через титановые болты (рис. 1). Один конец пластины заземлен, а на второй через терминал подается ток 1 кА, далее посмотрим на систему работы в статике и на промышленной частоте в 50 Гц. Мы предположим, что в процессе работы шина греется при протекании тока, а параллельно производится ее охлаждение в качестве меры которой зададим коэффициент теплоотдачи 50 Вт/(м<sup>2</sup>·К). В качестве модификации рассмотрим режим x5 по току и x2 по охлаждению [2].

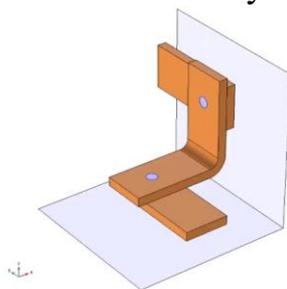


Рис. 1. Геометрия модели токопроводящей шины

## 2. Моделирование токопроводящих шин в DC-режиме.

DC-режим, с точки зрения численного моделирования предполагает решение закона сохранения тока в области проводника. В COMSOL Multiphysics для этих целей следует использовать интерфейс группы Electric Currents в связке с исследованием Stationary. Постановка задачи моделирования токопроводящей шины в DC-режиме – зададим электрические граничные условия (заземление, потенциал/терминал), а на выходе получим распределение потенциала, плотности тока и различные сосредоточенные характеристики, в числе которых рассеянная мощность, сопротивление и проводимость [3].

В ходе моделирования получаем результаты токопроводящей шины в DC-режиме:

1) DC: плотность тока и распределения потенциала в шине (рис. 2 (а));

2) DC: удельная мощность потерь и рассеянная интегральная мощность (рис. 2 (б)).

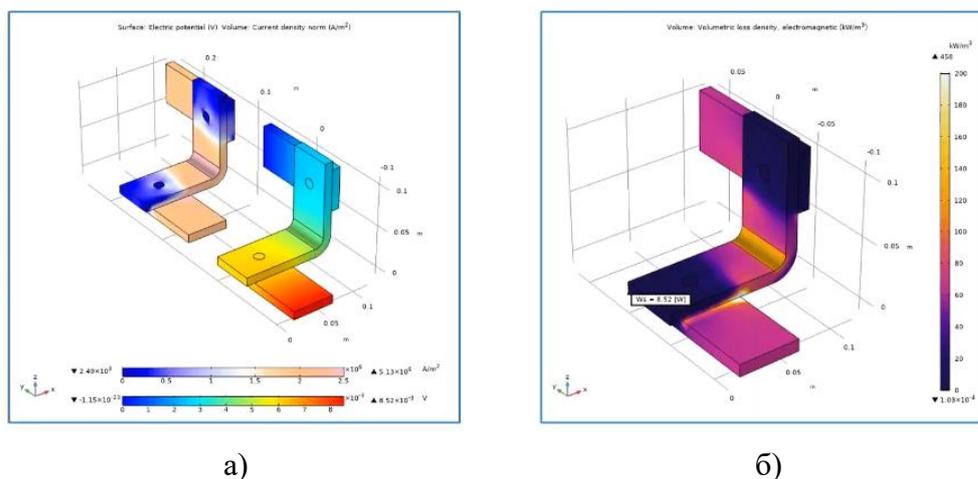


Рис. 2. Результаты расчета токопроводящей шины в DC-режиме

## 3. Моделирование токопроводящих шин в AC-режиме.

При моделировании задач с проводящими элементами, в динамике очень важно учитывать индукционный эффект, поэтому здесь используется интерфейс Magnetic Fields и исследование Frequency Domain. В расчет нужно включить не только саму шину, но и окружающее пространство для корректного моделирования полей и краевых эффектов. Для удобства используют условие Coil, предназначенное для эффективного моделирования проводников с током. На выходе получим распределение магнитной индукции, плотности тока, а также рассеянной мощности, характеристики сопротивления и индуктивности.

Coil позволяет упростить задачу как с расчетной, так и с интерфейсной точки зрения. Фактически она устраняет необходимость явного расчета электрической части задачи. Так же возможно задавать в единый Coil домены с разными материалами с постоянными свойствами [3].

В ходе моделирования получаем результаты токопроводящей шины в АС-режиме:

1) АС: Распределение магнитной индукции и плотности тока в шине (рис. 3 (а));

2) АС: Удельная мощность потерь и рассеянная интегральная мощность (рис. 3 (б)).

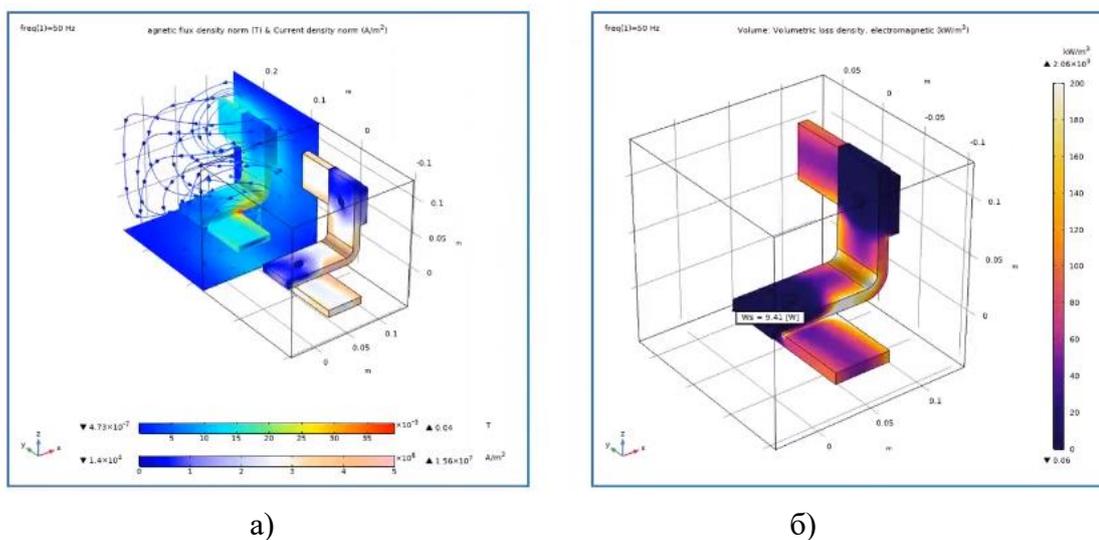


Рис. 3. Результаты расчета токопроводящей шины в АС-режиме

## Источники

1. Красников, Г.Е. Моделирование физических процессов с использованием пакета Comsol Multiphysics: Учебное пособие / Красников Г.Е., Нагорнов О.В., Старостин Н.В. - Москва: НИЯУ "МИФИ", 2012. – 184 с.

2. Сальников В.Б., Беляков В.А. Расчеты с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics: методические указания к курсовому и дипломному проектированию / В.Б. Сальников, В. А. Беляков; Мин-во образования и науки Рос.Федерации, Урал. федер. университет. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 40 с.

3. Pryor, Roger W. Multiphysics Modeling: Using COMSOL 5 and MATLAB / Roger W.Pryor. Mercury Learning & Information, LLC. – 2015.

7. Яхин Ш.Р., Галиев И.Ф. Оптимизация вариантов секционирования распределительной сети с оценкой их эффективности // Chronos. – 2022. – Т. 7. – № 7(69). – С. 38-39.

8. Инновационное развитие науки: фундаментальные и прикладные проблемы / А. С. Анацкая, Д. Б. Арганчиева, А. Т. Ахмедов [и др.]. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2021. – 412 с. – ISBN 978-5-00174-392-7. – DOI 10.46916/03122021-1-978-5-00174-392-7.

УДК 62-523, 62-529

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Голенищев-Кутузов А.В., Семенников А.В., Миронов С.П.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

alex.kutuzov@mail.ru, samposebe@gmail.com, mironov51288@mail.ru

С целью повышения эффективности работы солнечных установок применяют различные системы автоматического управления, позволяющие отслеживать положение солнца и тем самым повышать коэффициент полезного действия установки. Мы предлагаем цифровую систему управления приводом платформы солнечной батареи, которая будет функционировать в полностью автономном режиме при выработке электроэнергии.

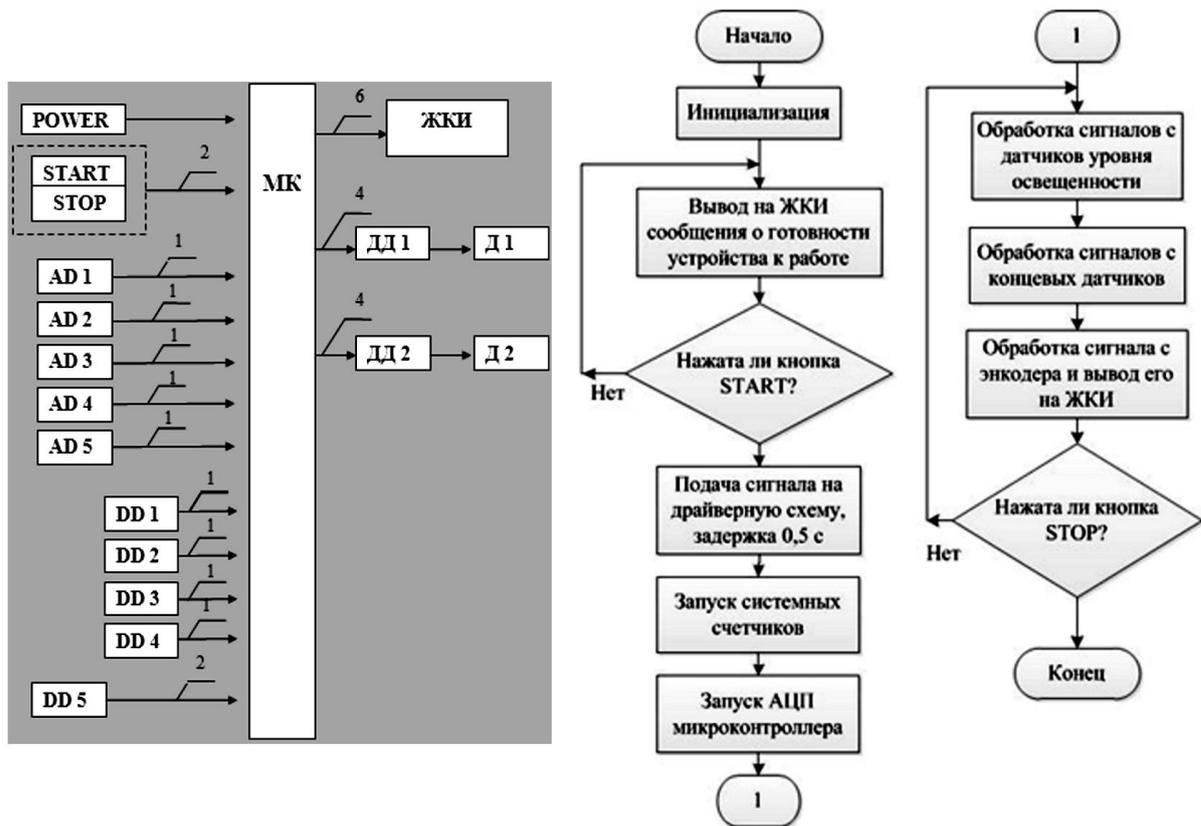
**Ключевые слова:** солнечная батарея, альтернативная электроэнергетика, система автоматического управления, автоматическая ориентация, автономный режим.

В настоящее время активно развиваются различные направления альтернативной электроэнергетики. Яркий тому пример – солнечные установки, которые находят все большее применение и становятся основными устройствами преобразования солнечной энергии в электрическую. Из опыта известно, что солнечные батареи генерируют максимальную энергию только в том случае, когда они располагаются точно перпендикулярно направлению падения солнечных лучей, а данная ситуация происходит только один раз в день. В остальное время эффективность работы солнечных элементов составляет около 10 %. Значительно повысить эффективность солнечной установки можно, если снабдить ее поворотным механизмом, оснащенным автоматической системой слежения за солнцем.

Предложенная нами система управления работает следующим образом. Датчики интенсивности солнечного излучения измеряют текущий уровень освещенности и передают данные о нём на микроконтроллер. Написанная для микроконтроллера программа производит расчёт разности в показаниях отдельных пар датчиков, отвечающих за горизонтальное

и вертикальное вращение, и сравнение результатов с задающим воздействием. Далее полученная ошибка (разность сигналов) в виде управляющего воздействия поступает на исполнительный орган – подвижный диск или подвижную платформу. Подвижная часть, в свою очередь, поворачивает на определённый угол солнечную батарею, обеспечивая, таким образом, её ориентацию по положению солнца. Концевые датчики передают сигнал на микроконтроллер при достижении подвижной частью одного из двух конечных положений. С их помощью обеспечивается возможность поворота в диапазоне от 0° до 90° для подвижной платформы и от 0° до 270° для подвижного диска [1, 2].

Функциональная схема системы автоматического управления и алгоритм функционирования управляющей программы представлены на рисунке слева и справа соответственно.



Функциональная схема системы автоматического управления (слева) и алгоритм функционирования управляющей программы (справа)

На функциональной схеме приняты следующие обозначения: POWER – выключатель питания установки; МК – микроконтроллер, включающий АЦП и ШИМ на кристалле; START – кнопка включения установки; STOP – кнопка выключения установки; AD 1, AD 2, AD 3,

AD 4, AD 5 – аналоговые датчики уровня освещенности (после нажатия на кнопку START на них подается питание, и данные с этих датчиков попадают на входы АЦП микроконтроллера); DD 1, DD 2, DD 3, DD 4 – цифровые датчики конечного положения исполнительных звеньев; DD 5 – цифровой датчик, регистрирующий угол поворота подвижного диска – инкрементальный энкодер; ЖКИ – жидкокристаллический дисплей со встроенным контроллером, отображающий значения основных параметров (угол поворота вала привода вертикального вращения и угол поворота подвижного диска); ДД 1, ДД 2 – драйверы двигателей, осуществляющие силовую развязку цифровой системы управления и электродвигателя; Д 1, Д 2 – электродвигатели постоянного тока.

Процедура обработки информации с датчиков уровня освещенности происходит следующим образом [3]. Сперва происходит съем сигнала с горизонтальной пары датчиков, отвечающих за поворот вдоль вертикальной оси. Если показания датчиков равны, следовательно, относительно вертикальной оси платформа сориентирована верно, и угол рассогласования составляет меньше  $10^\circ$ . Если же они не равны, то вычисляется разница между их показаниями, и, в зависимости от ее знака, микроконтроллер подает либо прямой, либо реверсивный сигнал на привод вертикального вращения. Затем цикл повторяется, и так до тех пор, пока разница в показаниях датчиков не станет равна нулю. Далее осуществляется наведение в горизонтальной плоскости по той же схеме. Но здесь съем показаний осуществляется уже с вертикальной пары датчиков. Процесс наведения заканчивается, когда разница в показаниях обоих датчиков становится равной нулю [4].

Таким образом, предложенная система автоматического управления способна в полностью автономном режиме настраивать ориентацию солнечной батареи в пространстве так, чтобы солнечные лучи падали точно перпендикулярно поверхности панели, что позволяет значительно повысить эффективность работы всей установки.

### Источники

1. Подураев, Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение: уч. пос. / Ю.В. Подураев. - М.: Машиностроение. – 2007. – 261 с.
2. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани – СПб.: Невский Диалект. – 2001. – 557 с.
3. Датчики уровня освещенности, приближения и цвета компании Avago Technologies [Электронный ресурс]. [http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2006\\_7\\_68.php](http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2006_7_68.php) (дата обращения 12.09.22).

4. Устройство слежения за солнцем 01ARX1 [Электронный ресурс]. [http://www.aktuator.ru/Solar\\_Actuator/01ARX1.shtml](http://www.aktuator.ru/Solar_Actuator/01ARX1.shtml) (дата обращения 12.09.22).

УДК 621.314.222.8

## ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Долматов Е.Н., Суворов А.А., Мухаметжанов Р.Н.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
artyom.suvorov01@mail.ru

В данной работе проведен анализ научных источников и раскрыты вопросы отличительных особенностей высоковольтных оптических трансформаторов тока и напряжения. Приводится краткая характеристика обозначенных устройств в контексте рассмотрения преимуществ их использования, по сравнению с традиционными измерительными преобразователями электрических величин.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, измерительные устройства, оптические преобразователи, трансформатор тока, трансформатор напряжения.

В настоящее время современные исследователи проблем развития отечественных интеллектуальных сетей электроснабжения Smart Grid и внедрения в электроэнергетику России цифровых подстанций подчеркивают важность и неизбежность замены традиционных систем измерения на цифровые [1]. Такое положение дел стало причиной активного распространения идей повсеместного внедрения измерительных оптических трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН). Последние относятся к преобразовательным устройствам и в научной литературе упоминаются под названием ОПТН (оптические преобразователи тока и напряжения) [2]. ОПТН характеризуются рядом особенностей, существенно отличающихся от традиционных измерительных ТТ и ТН [3, 4]. В настоящее время в рецензируемых изданиях присутствует довольно незначительная часть информации, касающейся достоинств ОПТН, что обуславливает актуальность написания настоящей работы.

При переходе к рассмотрению вопроса отличительных особенностей высоковольтных ОПТН ключевыми тезисами в литературе, посвященной электроэнергетическим системам и оборудованию, являются их характерные преимущества перед классическими газовыми, масляными, электромагнитными и др. трансформаторами [5, 6, 7]:

1. Отсутствие требования замены масла, а также частого проведения ремонтных работ. Действительно, при эксплуатации ОПТН достаточно раз в шесть лет проводить процедуру проверки, что играет существенную роль в плане технико-экономической эффективности.

2. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) оптических ТН, в отличие от АЧХ электромагнитных измерительных ТН, практически линейна на большом участке килогерцового диапазона (рисунок 1), что дает возможность более эффективно реализовывать процессы контроля и мониторинга качества электроэнергии, а также при необходимости оценивать до ста гармонических составляющих в цепях.

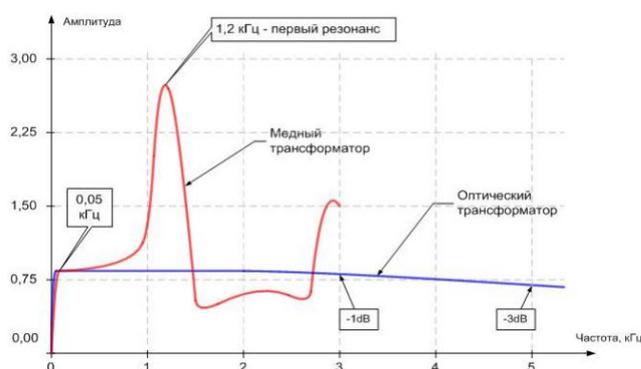


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика ТН

3. ОПТН характеризуются меньшими показателями погрешности измерений. Если единицы процентов погрешности измерений в повсеместно эксплуатируемых традиционных измерительных трансформаторах наблюдаются в области рабочих токов, меньших двадцати процентов от номинального, то в оптических трансформаторах такого результата можно добиться в диапазоне от  $(0,2-200\%)I_{\text{НОМ}}$ . Для большей наглядности на рисунке 2 представлены иллюстрации графика погрешностей оптического ТН и улучшенных точностных характеристик оптического ТТ.

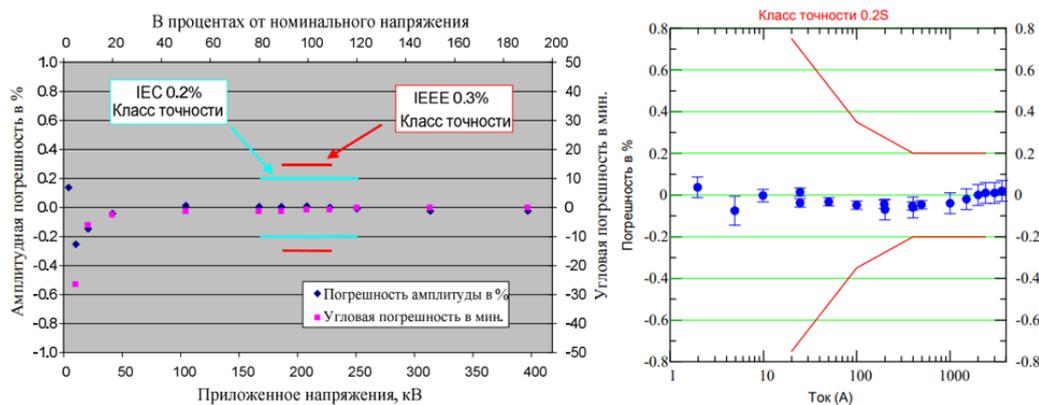


Рис. 2. Погрешности оптических ТН и ТТ

4. Измерение параметров тока, осуществляемое с помощью оптических трансформаторов, не требует дополнительного энергопотребления, в то время как реализация данного процесса традиционными измерительными ТТ приводят к некоторым потерям.

5. Многие ОПТН имеют в наличии встроенную функцию самодиагностики, что открывает для персонала возможность удаленного мониторинга за их режимом работы и состоянием в целом. Помимо этого, данная функция, в большинстве моделей ОПТН включает в себя элементы прогнозирования возможного отказа работы и поломки устройства.

6. ОПТН считаются более безопасными для людей и оборудования, поскольку их изоляционные колонны заполняются азотом (N), который значительно снижает вероятность возникновения на выводах сверхминального напряжения при осуществлении процесса размыкания вторичных электрических цепей.

7. Массогабаритные параметры у оптических ТТ существенно ниже, чем у многих традиционных трансформаторов тока. Для сравнения достаточно привести в качестве примера две распространенные модели обеих разновидностей устройств – ТГФ-220 и НХСТ-245. Высота и вес первого – более 3,5 метров и 900 кг, а второго – менее 3 метров и 65 кг соответственно.

Таким образом, в настоящей работе приведена информация о ключевых преимуществах оптических преобразователей тока и напряжения, идея повсеместного внедрения которых в электроэнергетику страны сегодня получает активное распространение. Ожидается, что перечисленные достоинства обозначенных устройств помогут заинтересованным исследователям в изучении проблемы замены традиционных систем измерения на оптические.

### **Источники**

1. Финаев В.И., Скубилин М.Д., Заргарян Ю.А. Волоконно-оптические преобразователи в электроэнергетике // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2019. – № 2. – С. 213-222.

2. Киселёв Г.Ю., Соколов Д.С., Полуянова М.С. Измерительные волоконно-оптические трансформаторы тока и напряжения // Вестник современных исследований. – 2018. – № 5. – С. 473-474.

3. Найденов А.Д. Оптические трансформаторы напряжения // Вестник науки и образования. – 2020. – № 8. – С. 23-27.

4. Михалойвич Б.И., Дударенко А.Д. Использование оптических трансформаторов тока // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 12. – С. 44-46.

5. Смирнов В.В., Кавун А.И. Сравнительный анализ волоконно-оптических преобразователей тока и напряжения и электромагнитных измерительных трансформаторов // Энергетические установки и технологии. – 2018. – № 4. – С. 92-95.

6. Нигматзянов Р.И., Абдрашитов Д.Р., Куракина О.Е., Воркунов О.В. Испытания изоляции электрических аппаратов // Заметки ученого. – 2022. – № 6. – С. 204-206.

7. Краснова К.А., Козлов В.К. Измерение сопротивления изоляции трансформатора тока // Наука и образование в условиях мировой нестабильности: проблемы, новые этапы развития: Материалы II международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 30 апреля 2022 года. – г. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Манускрипт". – 2022. – С. 309-310.

8. Козлов В.К., Куракина О.Е., Минегалиев И.М. Применение оптической спектроскопии для определения содержания воды в изоляционном масле // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 22 апреля 2022 года / Редколлегия: В.В. Максимов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет. – 2022. – С. 178-183.

УДК 621.311.1

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ТОКА РЕЗОНАНСНЫХ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ И ПЕРЕХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ РЕЗОНАНСЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ В РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЦЕПИ**

Иркагалиева И.И., Хузяшев Р.Г.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
irkagalieva2001@mail.ru

В данной работе приводится сопоставление амплитуды тока резонансных вынужденных колебаний и переходного сигнала при резонансе напряжений и токов в реактивных элементах цепи.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, программный пакет PSCAD, резонансные колебания.

Аналитическое решение для параметров переходного сигнала известно лишь для одноконтурной RLC-цепи [1,2]. Параметры вынужденных резонансных колебаний выражаются аналитически или получаются численно для произвольной многоконтурной цепи. Представляет интерес сопоставление амплитуд тока вынужденных резонансных колебаний и переходного сигнала для одинаковых цепей.

В программном пакете PsCad была смоделирована двухконтурная цепь (рис.1). Параметры схемы: переменный источник ЭДС (напряжение 100 В, частота 15924 Гц, активное последовательное сопротивление 0,001 Ом, активное параллельное сопротивление 0,001 Ом, индуктивное параллельное сопротивление 0,001 Гн); активные сопротивления 1 Ом; емкостное сопротивление 0,1 мкФ; индуктивное сопротивление 0,001 Гн. Период и частота свободных колебаний схемы (расчетные):

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{0,001 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}} = 6,28 \cdot 10^{-5} \text{ с} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^{-5}} = 15923,6 \text{ Гц} = 15,9 \text{ кГц} \quad (2)$$

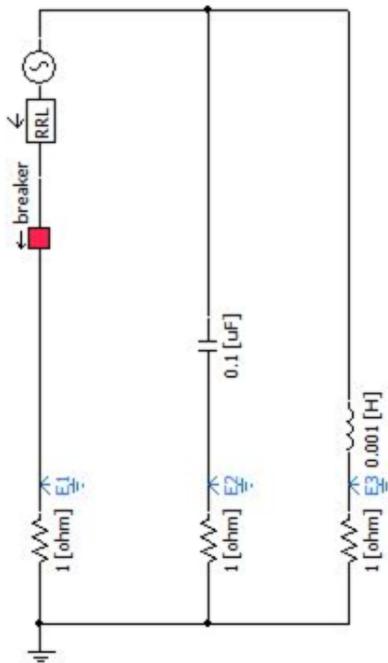


Рис.1. Двухконтурная схема

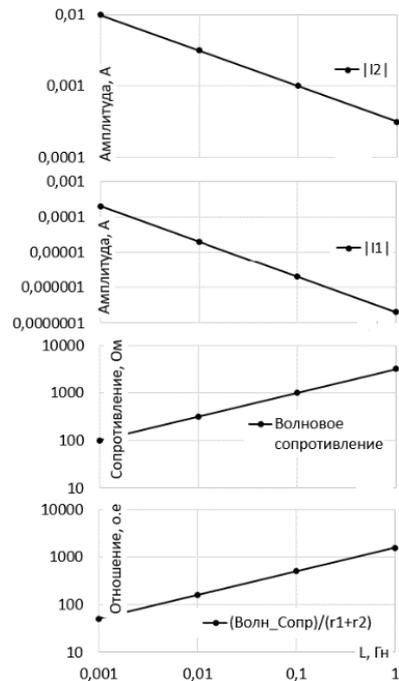


Рис.2. Резонансные вынужденные колебания тока при C=0,1 мкФ

На рис. 2 представлены расчетные параметры резонансных вынужденных колебаний тока на частоте  $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$  при амплитуде E=1 В,

$C=0,1$  мкФ и значения волнового сопротивления  $Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}}$ . Согласно численным результатам на рис.2 величина амплитуды колебаний тока в ветках Z2 и Z3 рассчитывается как величина ЭДС деленная на волновое сопротивление. Величина амплитуды колебаний тока в ветке Z1 равна амплитуде тока в ветке Z1 деленную на добротность  $Q = \frac{Z_B}{r_1+r_2}$ .

Результаты численного решения в программном пакете PsCad представлены на рис 3.

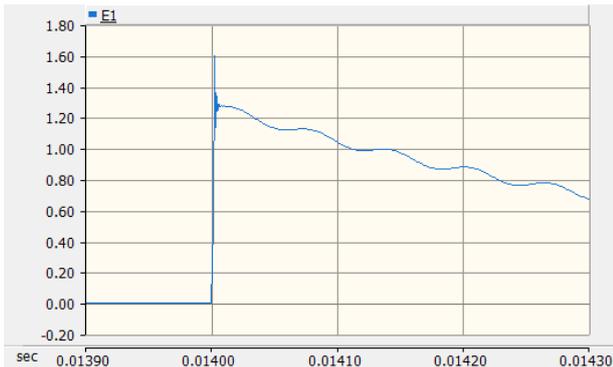


Рис.3. Осциллограмма тока в ветви Z1

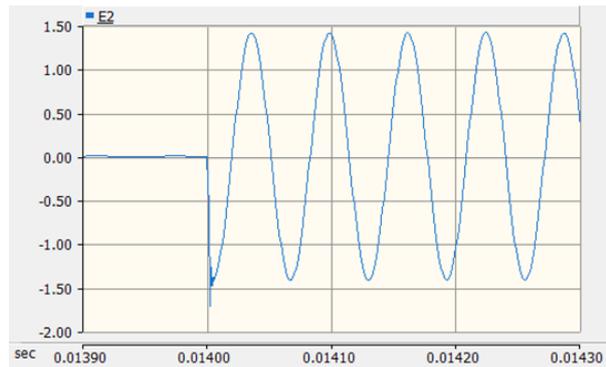


Рис.3. Осциллограмма тока в ветви Z2

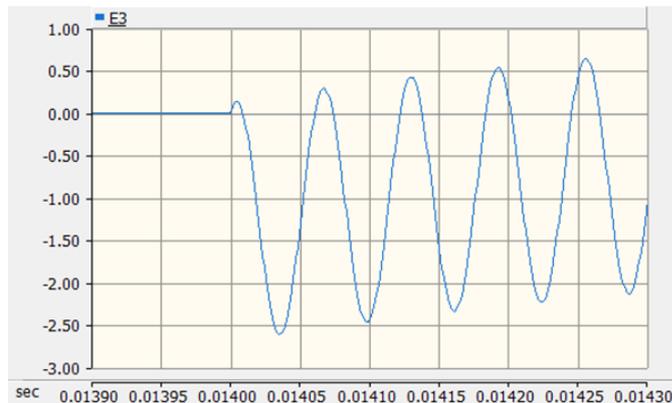


Рис.3. Осциллограмма тока в ветви Z3

Параметры смоделированных колебаний на рис. 3 иллюстрируют механизм резонанса токов и соответствуют установившимся расчетным значениям на рис.2 при индуктивности  $L = 0,001$  Гн (напряжение источника ЭДС 1 В). Амплитуда резонансных колебаний тока 1,4 А (рис. 3 б, в), что соответствует амплитуде тока 0,01 А (рис.2) при меньшей величине напряжения источника ЭДС. Установившийся ток в Z1 величиной 0,05 А на рис. 3а меньше, чем в Z1 и в Z2 и согласуется с амплитудой тока 0,0002 А на рис. 2. В переходном режиме доминируют две моды, соответствующие контурам Z1\_Z2 и Z1\_Z3 (постоянная времени  $600$  мкс  $= L/R = 0,001/2$  с  $= 500$  мкс). Доминирует переходной процесс

в контуре  $Z1\_Z3$  с постоянной времени  $RL= 2$  мс. Амплитуда тока в установившемся режиме в ветке  $Z1 - 0,02$  А, в ветках  $Z2$  и  $Z3 - 1,4$  А (по графикам рис.3).

В установившемся режиме вынужденных резонансных колебаний в многоконтурной цепи распределение амплитуд колебаний тока определяется механизмом резонанса. В резонансных контурах, т. е. контурах с минимальным сопротивлением на резонансной частоте, формируется амплитуда тока пропорциональная возмущению и обратно пропорциональная волновому сопротивлению контура.

### Источники

1. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Васильев В.Д., Тукаев С.М. Практическая реализация волнового метода определения места повреждения в разветвленных распределительных электрических сетях 6(10) кВ. // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019. – № 2. – С. 98-107.

2. Куракина О.Е., Быртов И.П. Современные методы диагностики контроля высоковольтного оборудования // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Москва, 11 июля 2022 года / Редколлегия: Л.К. Гуриева [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ИРОК", ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. – С. 137-139.

3. Козлов В.К., Иванов Д.А., Киржацких Е.Р. Автономное устройство для измерения напряжения с дистанционной передачей информации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2022. – № 10. – С. 1-9. – DOI 10.25791/pribor.10.2022.1363.

4. Хабибуллин И.И., Маклецов А.М. Влияние отклонений параметров напряжения на работу асинхронного двигателя // Фундаментальные и прикладные исследования: концепты, методики, новации: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 12–13 мая 2022 года. – Ростов-на-Дону: Профпресслит, 2022. – С. 290-292.

5. Банникова В.Ю., Гарифуллин М.Ш. Оценка надежности электрооборудования с помощью индекса технического состояния // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах, Казань, 28–30 апреля 2021 года. Том 1. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 7-9.

## МОБИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Калиева М.О., Максимов В.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
kalieva.munara2001@gmail.com

В данной работе рассматриваются перспективные способы проведения диагностических испытаний по выявлению различных неисправностей, например, частичных разрядов и их локализации в трансформаторах. Дается оценка эффективности использования мобильных комплексов для проведения диагностики силовых трансформаторов.

**Ключевые слова:** диагностические испытания, трансформатор, сверхнизкие частоты, ультравысокие частоты, частичные разряды.

Силовые трансформаторы являются основополагающим электрооборудованием системы электроснабжения. Учитывая различные факторы, негативно влияющие на работу трансформатора, постоянное определение фактического состояния стало неотъемлемой частью эксплуатации данных устройств. Несмотря на надежность, выход из строя для данного оборудования не является редкостью. На сегодняшний день проблема обеспечения постоянной, безаварийной подачи электроэнергии решается постоянным мониторингом технических характеристик трансформаторов. Предотвращением развития негативных процессов на ранних стадиях. Прогнозированием остатка ресурса и его продления [1].

Одним из распространенных методов диагностики трансформаторов является диагностика частичных разрядов. Данные дефекты способны негативно влиять на свойства изоляции. Однако повреждения, нанесенные частичными разрядами можно обнаружить и локализовать на ранних стадиях. Обнаружить частичные разряды можно с помощью метода, основанного на использовании электромагнитных волн ультравысокой частоты. Данный метод основан на сопоставлении отрезков времени, необходимых для преодоления расстояния электромагнитной волной от частичного разряда до специальной антенны. Плюсом использования данного метода является возможность постоянного мониторинга наличия, место нахождения и степени развития частичного разряда, что в свою очередь позволит корректировать график плановых ремонтных работ, заблаговременно предотвратить аварийные ситуации. Существенным

минусом данного метода является трудность монтажа ультравысокочастотных антенн, зачастую приходится устанавливать диэлектрические окна в масляном баке [2].

Еще одним перспективным методом диагностики частичных разрядов является испытание напряжением сверхнизкой частоты. Данный метод хорошо зарекомендовал себя при диагностике кабельных линий. Плюсами данного метода являются отсутствие негативного разрушающего эффекта, снижающего срок эксплуатации оборудования, используемое при этом оборудование является мобильным, не имеет сложностей в монтаже, помимо нахождения частичных разрядов, дает оценку остаточному ресурсу и диэлектрическому состоянию изоляции. Примером такого оборудования являются диагностические комплексы от компании BAUR [3].

Третьим распространенным методом, на основе которого создаются мобильные комплексы, стал акустический метод. Данный метод характеризуется быстротой и повышенной информативностью, способен учитывать температурное влияние. Используется для диагностики силовых трансформаторов тяговых подстанций, расположенных вдоль железнодорожных путей. Минусами данного метода является относительная точность [4].

Также мобильные комплексы для диагностических испытаний силовых трансформаторов используются на судах. На основе ранее проводимых исследований, можно выделить следующие параметры, измерение которых, необходимо проводить при диагностике силовых трансформаторов: омическое сопротивление обмоток, опыт холостого хода при малом напряжении, опыт короткого замыкания, сопротивление при коротком замыкании, сопротивление при коротком замыкании в частотном диапазоне [5,6]. На данный момент наиболее функциональными являются устройства фирмы Omikron (Tristrano-600) и компании Megger (TRAX). В то время как отечественные приборы уступают в функциональности и удобстве транспортировки.

Исходя из выше сказанного, рассмотренные методы диагностики имеют хорошие перспективы развития. Использование мобильных комплексов для испытания силовых трансформаторов имеет экономическое обоснование. Важно учесть, что на данный момент, за рубежом данные комплексы получили большее развитие, чем в нашей стране. Также стоит отметить, что данные комплексы используются в основном для диагностики трансформаторов среднего напряжения.

## Источники

1. Гусев О.В., Борзихин А.А. Автоматизированные системы контроля состояния силовых трансформаторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 3. – С. 96-100
2. Чайка В.С. Диагностика развивающихся дефектов силовых трансформаторов методом регистрации частичных разрядов // 21 век: фундаментальная наука и технологии. Материалы XXI международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 145-149.
3. BAUR PHG 70 TD/PD – [Электронный ресурс] – URL: [https://www.pergam.ru/catalog/electrical\\_equipment/high\\_voltage/portable\\_measuring\\_partial\\_discharges/PHG\\_TD\\_PD.htm](https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/high_voltage/portable_measuring_partial_discharges/PHG_TD_PD.htm) (Дата обращения: 30.09.22)
4. Волчанина М.А., Кузнецов А.А., Горлов А.В. Повышение достоверности диагностирования силовых трансформаторов в условиях сезонных изменений температуры // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 4 (53). – С. 33-38
5. Калинин И.М., Савченко О.В., Хмель М.Ю. Испытания, проверки и диагностическое обеспечение судовых силовых трансформаторов среднего напряжения // Труды Крыловского государственного научного центра. 2022. № 2 (400). С. 103-115.
6. Яхин, Ш. Р. Оптимизация вариантов секционирования распределительной сети с оценкой их эффективности / Ш. Р. Яхин, И. Ф. Галиев // Chronos. – 2022. – Т. 7. – № 7(69). – С. 38-39.

УДК 621.315.615.2

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ПО КООРДИНАТАМ ЦВЕТНОСТИ

Корникова А.А., Козлов В.К.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
platonovaanje@yandex.ru

В данной работе приведены значения для определения марки трансформаторного масла на основе RGB анализа, по цвету, полученному на фотодиоде датчика при освещении образцов масел.

**Ключевые слова:** изоляция, трансформаторное масло, колориметрический метод, кислотное число.

Неотъемлемой частью изоляции силовых трансформаторов и реакторов, масляных выключателей, измерительных трансформаторов

и вводов, является трансформаторное масло, которое используется так же в качестве охлаждающей среды [1].

Под воздействием различных негативных факторов (высокая нагрузка и высокие температурные условия, влага, кислород воздуха и т. д.) свойства диэлектрической жидкости начинают значительно ухудшаться. Эти изменения приводят к ухудшению свойств электрической изоляции и к старению масла, вызывая пробой и плохое охлаждение оборудования, что впоследствии приводит к выходу из строя трансформатора [2]. Поэтому регулярный контроль трансформаторного масла крайне важен для энергетической отрасли [3].

Для правильной диагностики необходимо знать марку масла. Мы планируем разработать методику определения марку трансформаторного масла колориметрическим методом на основе RGB (Red, Green, Blue-красный, зелёный, синий).

### Результаты опыта и их обсуждение.

С этой целью были испытаны следующие образцы изоляционного масла (табл.1).

Таблица 1

№	№ пробы	Марка масла	Кислотное число мг КОН/г	Марка трансформатора	Дата включения в работу, год
1.	1	ГК(ВГ)	0,002	ТРДН-63000/110 У1	2005 г.
2.	2	ГК(ВГ)	0,002	ТРДН-63000/110 У1	2005 г.
3.	3	Т-1500	0,0069	ТРНДЦН-40000/25000/110	1988 г.
4.	5	ГК	0,001	ТРДН-40000/110 У1	2011 г.
5.	6	ГК	0,001	ТРДН-40000/110 У1	2011 г.
6.	8	Т-1500	0,009	ТДН-16000/110	1995 г.
7.	9	ТКп	0,0014	ТДН-10000/110	1988 г.
8.	10	ГК	0,007	ТРНДЦН-40000/25000/110	2000 г.
9.	11	ГК	0,006	ТРНДЦН-40000/25000/110	1999 г.
10.	12	Т-1500	0,004	ТДН-16000/110	1992 г.

Чтобы исследовать координаты цветности изоляционного масла, мы собрали устройство, показанное на рисунке.

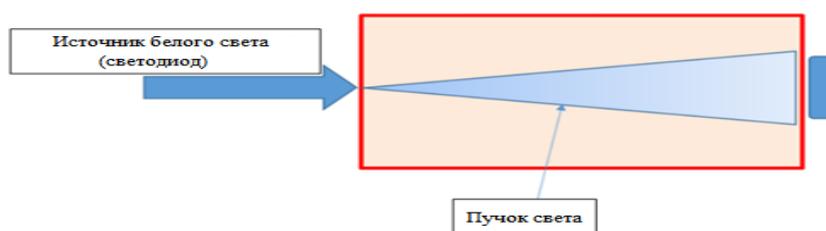


Схема устройства

Когда образцы масла, приведенные в таблице 1, облучаются белым, фиолетовым или зеленым светом, передаваемое излучение изменяется от светло-голубых до желтых тонов. В середине проходящего излучения были получены следующие значения RGB (Таблица 2).

Таблица 2

№	№ пробы	Освещение белым цветом			Освещение фиолетовым цветом			Освещение зелёным цветом		
		R	G	B	R	G	B	R	G	B
1.	1	2	95	253	0	178	253	5	103	3
2.	2	1	94	218	0	156	254	47	119	1
3.	3	117	126	43	27	45	51	151	181	7
4.	5	1	179	254	0	161	255	38	92	4
5.	6	2	206	252	0	246	239	53	105	4
6.	8	108	161	100	7	50	56	185	197	6
7.	9	110	165	124	2	115	161	174	199	7
8.	10	1	159	188	2	123	247	78	162	8
9.	11	1	151	248	1	141	254	60	113	7
10.	12	1	131	162	0	130	237	130	155	7

Далее анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что для марки масла ГК (ВГ) значения RGB для координат цветности изоляционного масла изменяются в одном диапазоне соответственно и имеют прозрачный, более светлый оттенок. Аналогично координаты цветности изоляционного масла для марок Т-1500, ТКп и ТСП изменяются в одном диапазоне. Марка Т-1500 имеет желтоватый оттенок, марки ТКп и ТСП имеют более темные тона, чем предыдущие марки.

Знание марки масла важна для объективной оценки состояния масла и влияет на более качественную и точную диагностику масла [4, 5]. Поэтому планируется сформировать методику на основе колориметрического метода, который представляет собой измерение координат цветности масел, с помощью которой можно определить марку масла и выявить, насколько состояние масла отклонилась от изначальных данных без химической диагностики.

### 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 г. – 144с.

3. Гарифуллин М.Ш. Оценка диагностической ценности показателей качества изоляционного масла для систем мониторинга состояния трансформаторов // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2013. № 5-6. – С. 131–134.

4. Валиуллина Д. М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К., Садыков Э.М. Влияние твердых частиц, дисперсно-коллоидных структур и других неоднородностей на цвет трансформаторного масла // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 2-2(70). – С. 64-68.

5. Визуальное определение параметров качества трансформаторного масла / Д. М. Валиуллина, Р. А. Гиниатуллин, Ю. К. Ильясова [и др.] // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 3-1(71). – С. 33-37.

УДК 621.316

## УЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Малькова Я.Ю.<sup>1</sup>, Уфа Р.А.<sup>2</sup>, Литвинов С.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», г. Томск, Россия

<sup>3</sup>ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Новый Уренгой, Россия

yamalkova96@gmail.com, hecn@tpu.ru, litvinovsa95@mail.ru

Возобновляемая энергетика имеет широкое применение для обеспечения электроэнергией изолированных от централизованного энергоснабжения потребителей. При внедрении нового объекта в существующую энергосистему необходимо определить его оптимальные параметры и совместно размещаемого с ним оборудования, в том числе, системы накопления энергии. В статье отражены особенности учета критерия солнечной активности при решении соответствующей оптимизационной задачи.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, система накопления энергии, оптимизационная задача, суточный график нагрузки, суточный график генерации, анализ, оптимальные параметры.

Перспективной областью применения объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в настоящее время являются, преимущественно, индивидуальные потребители электроэнергии и относительно небольшие энергорайоны, находящиеся в значительном удалении

от централизованного энергоснабжения. Так, обеспечение электроэнергией данных потребителей может быть реализовано тремя путями: во-первых, посредством создания технической возможности и непосредственно подключения к основной энергосистеме (сетевое подключение); во-вторых, посредством локальной установки местной генерации – дизельного генератора; и, наконец, посредством локальной установки местной генерации – объекта ВИЭ и сопутствующего оборудования, в том числе, системы накопления энергии (СНЭ). Отметим, что необходимость установки последней в составе местной генерации обусловлена непостоянством выработки мощности объектом ВИЭ, определяемой зависимостью от суточных и сезонных погодных изменений в месте непосредственного размещения самого объекта.

Из трех представленных вариантов обеспечения электроэнергией изолированных потребителей уже сегодня, при текущем уровне развития технологий, более предпочтительным и экономически целесообразным во многих случаях выступает локальная установка местной генерации, представленной объектом ВИЭ. Так, обеспечение сетевого подключения изолированного потребителя, как правило, является достаточно дорогостоящим мероприятием, а местная установка дизельного генератора, помимо возможной дороговизны эксплуатации ввиду завышенной стоимости доставки дизельного топлива до труднодоступных мест локализации потребителя, характеризуется также негативным влиянием на состояние окружающей среды.

Внедрение в существующую энергосистему объекта ВИЭ сопровождается процедурой определения оптимальных параметров предполагаемого к установке оборудования и режимов его работы посредством решения соответствующей оптимизационной задачи [1].

В качестве объекта ВИЭ здесь и далее подразумеваются солнечные панели. Покажем, насколько важен учет критерия солнечной активности, соответствующей месту установки объекта ВИЭ, при выборе параметров совместно размещаемой СНЭ. Данное исследование проведено на примере тестовой 15-узловой схемы IEEE. Стоит отметить, что оптимальные параметры непосредственного самого объекта ВИЭ определены авторами ранее в [2] с помощью разработанного алгоритма и выполненной его программной реализации: узел – 3, мощность – 718 кВт.

Ввиду того, что исследуемая схема является тестовой, сведения о географическом расположении данного энергорайона, а также о характере нагрузки в ее узлах отсутствуют. Так, принят типовой (идеализированный) суточный график выработки мощности солнечными

панелями и типовой суточный график нагрузки для случая обобщенной нагрузки для летнего сезона. Полученные графики представлены на рис. 1.

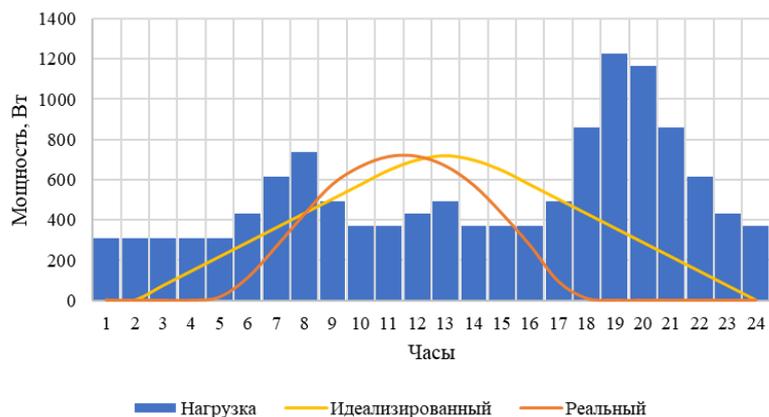


Рис. 1. Суточные графики выработки солнечных панелей (идеализированный и реальный) и суточный график нагрузки

Далее построен реальный суточный график выработки мощности солнечными панелями, характерный для оборудования, размещенного на реальном объекте – карбоновом полигоне ГГНТУ имени акад. М.Д. Миллионщикова, адаптированный для исследуемой схемы, для одного из контрольных дней летнего сезона (рис. 1). Из рис. 1 видно, что располагаемая излишняя мощность генерации объекта ВИЭ одинаковой мощности для идеализированного и реального графиков представлена в разном объеме.

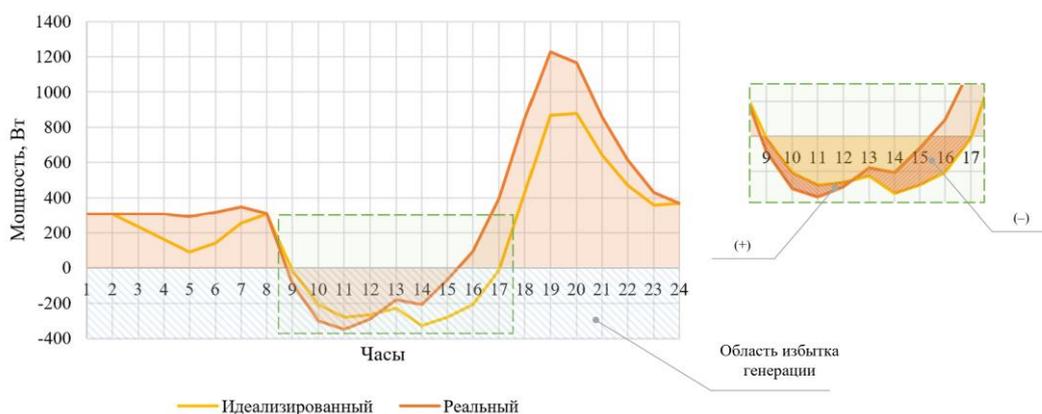


Рис. 2. Сравнение объемов излишней мощности генерации солнечных панелей для идеализированного и реального графиков

Таким образом, располагаемый объем излишней генерации солнечных панелей для реального графика меньше, чем для идеализированного графика на 18,7%. В то же время, согласно рис. 2, для реального графика имеет место более выраженный дефицит мощности

в утренние и вечерние часы пикового спроса на электроэнергию, и получаемое решение оптимизационной задачи выбора оптимального сценария разряда СНЭ будет отлично от полученного ранее с помощью разработанного алгоритма [2] для идеализированного графика. Установлено, что соответствующий учет критерия солнечной активности на этапе формирования целевой функции и ограничительных условий позволит обеспечить корректность получаемых результатов оптимизации.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет – 2030» ТПУ (№ Приоритет-2030-НИП/ЭБ-022-1308-2021)

### Источники

1. Ahmadi B., Ceylan O., Ozdemir A. A multi-objective optimization evaluation framework for integration of distributed energy resources // Journal of Energy Storage. – 2021. – Vol. 41. – P. 1-11.

2. Ufa R.A., Malkova Y.Y., Gusev A.L., Ruban N.Y., Vasilev A.S. Algorithm for optimal pairing of res and hydrogen energy storage systems // International Journal of Hydrogen Energy. – 2021. – Vol. 46. – Iss. 68. – P. 33659-33669.

УДК 621.3.06

## ИМПУЛЬСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СR-ЦЕПИ

Минаев И.А., Хузяшев Р.Г.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
enhtane@gmail.com

Для приема сигнала напряжения в программно-аппаратном комплексе волнового определения места повреждения (ВОМП) установлен СR-фильтр, который изменяет входящий сигнал. Для определения исходного сигнала необходимо найти импульсную характеристику СR-цепи. В данном тезисе будет рассмотрено два способа нахождения импульсной характеристики, с использованием модели СR-цепи в программе PSCAD.

**Ключевые слова:** переходные процессы, PSCAD, переходная характеристика, импульсная характеристика, СR-цепь.

Современные программно-аппаратные комплексы ВОМП используют двусторонний метод, который не требует вмешательства оператора для определения расстояния до места повреждения. Результаты рассчитываются автоматически и сразу же доступны для использования.

Однако их широкомасштабная реализация осложняется идентификацией причины возникновения сигналов переходного процесса. Эта проблема затрудняет ее реализацию, когда информация о неэкстренных сигналах отвлекает сетевых диспетчеров от оперативной работы. Поэтому использование алгоритмов классификации сигналов переходного процесса в программно-аппаратном комплексе позволят лишить его этого недостатка.

Для классификации сигналов необходимо определить исходный сигнал напряжения, который был до прохождения CR-фильтра в программно-аппаратном комплексе ВОМП.

Деконволюция (deconvolution) – восстановление исходной формы сигнала, несущего полезное сообщение после его искусственного или естественного искажения при регистрации какой-либо линейной системой – измерительным трактом прибора (аппаратной или приборной функцией) или каналом передачи сообщений [1].

Для восстановления истинной формы сигнала необходимы сведения о характеристиках искажающей системы, и в первую очередь, об импульсной характеристике системы.

Целью данной работы является исследование сигналов напряжения в модели, созданной в PSCAD, для получения импульсной характеристики CR-цепи.

Модель линии (рис. 1) состоит из источника постоянного напряжения 1 кВ, сопротивления R равного 100 Ом и емкости C равного 10 мкФ. Напряжение измеряется на сопротивлении.

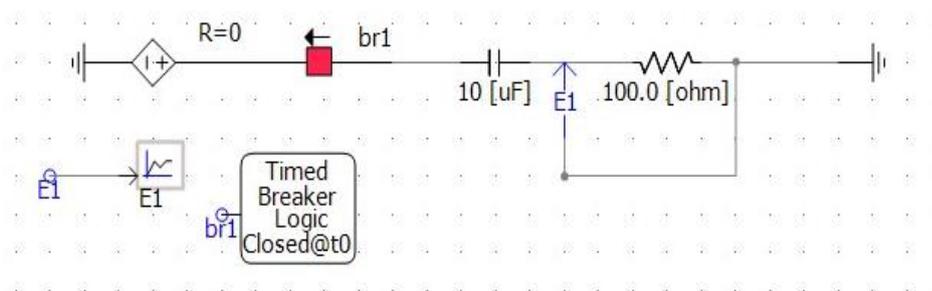


Рис. 1. Модель в PSCAD

Переходная характеристика – это реакция цепи в виде тока или напряжения на единичную возмущающую функцию  $1(t)$  (рис. 2 а) источника при нулевых начальных условиях.

Импульсная характеристика – это реакция цепи в виде тока или напряжения на единичный возмущающий импульс  $\delta(t)$  источника при нулевых  $\delta(t)$  (рис. 2 б) начальных условиях [2].

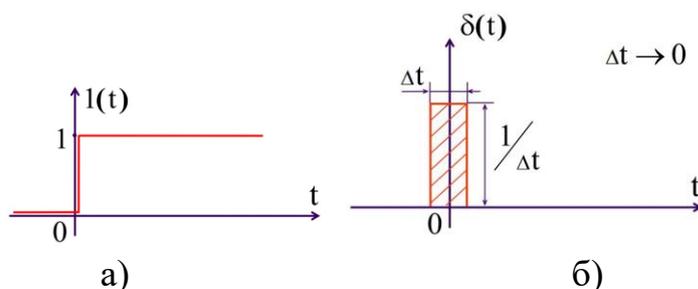


Рис. 2. Виды возмущения: а) единичная функция, б) единичный импульс

Для получения переходной характеристики был включен выключатель в момент времени  $t_1 = 0.000050$  с и не отключался в дальнейшем (рис. 3). А для получения импульсной характеристики выключатель был включен в тот же самый момент времени  $t_1$  и отключен через 1 мкс.

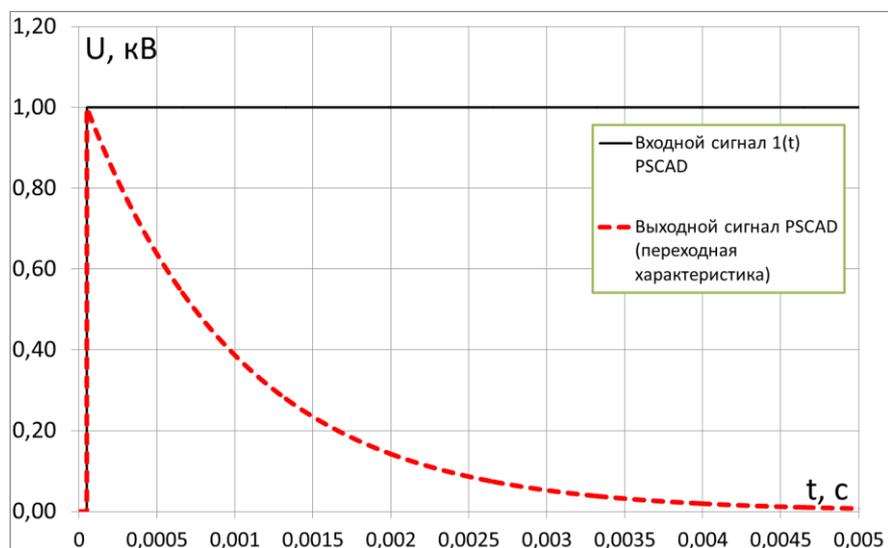


Рис. 3. Переходная характеристика, полученная в PSCAD

Другим способом для поиска импульсной характеристики является производная от переходной характеристики [2, 3]. Для вычисления производной из переходной характеристики был использован язык программирования Python и библиотеки Pandas и Numpy. Полученные результаты видно на рисунке ниже.

На первый взгляд импульсные характеристики, полученные разными способами, выглядят идентично. Однако во втором способе после положительного импульса напряжения появляется второй импульс отрицательной полярности (рис. 5.)

Из полученных результатов можно сделать вывод, что импульсная характеристика для CR-цепи, полученная первым способом, не является полной. В дальнейшем стоит использовать второй способ.

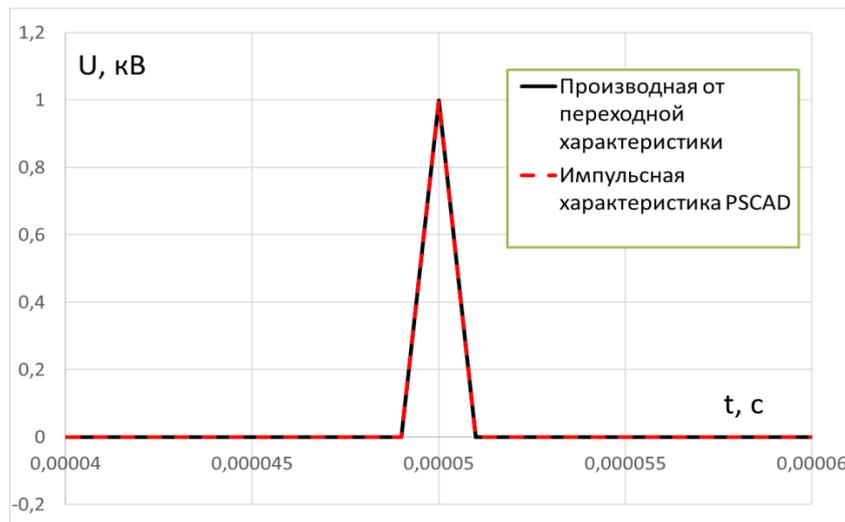


Рис. 4. Импульсные характеристики

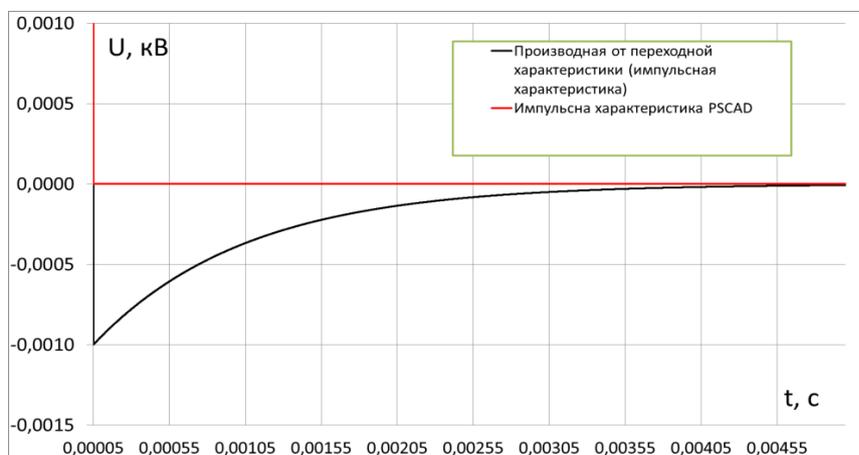


Рис. 5. Импульсные характеристики

## Источники

1. Восстановление цифровых сигналов [Электронный ресурс] [https://ru.bmstu.wiki/Восстановление\\_цифровых\\_сигналов](https://ru.bmstu.wiki/Восстановление_цифровых_сигналов) (дата обращения: 10.09.2022).

2. Основы теоретической электротехники: учебное пособие / Ю. А. Бычков, В. М. Золотницкий, Е. Б. Соловьева [и др.]. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 592 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/210227> (дата обращения: 10.09.2022).

3. Хамидуллина К.Р., Воркунов О.В. Методы измерения сопротивления защитного заземления электрооборудования высоковольтных подстанций посредством переменного тока // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2022. – С. 281-286.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В РОССИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Минанхузин И.И., Сабитов А.Х.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
minankhuzin@yandex.ru

В настоящей работе, основанной на анализе источников отечественной научной литературы, предпринимается попытка представления актуальных на сегодняшний день методов диагностики состояния существующих и прокладываемых в Российской Федерации кабельных электрических сетей.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, электроснабжение, электрические сети, кабельные линии, диагностика.

В настоящее время в России распределительные сети (РС) до 110 киловольт характеризуются наличием воздушных и кабельных линий протяженностью более двух миллионов километров, среди которых около одного миллиона километров – это линии 6–10 кВ, являющиеся основными электросетями многих сельскохозяйственных, промышленных и городских систем электрического снабжения [1].

При более детальном рассмотрении объектов ЭЭС нашей страны следует выделить тот факт, что имеющиеся сегодня в эксплуатации кабельных линий (КЛ) отличаются тенденцией к повышению их общей протяженности, по причине наблюдающихся процессов концентрации аграрных и промышленных предприятий в городах и населенных пунктах, для которых ключевыми видами РС являются именно КЛ. Помимо всего прочего, из-за таких особенностей современных предприятий аграрных и промышленных комплексов как требование к наличию больших территориальных площадей, многие воздушные ЛЭП в настоящее время активно заменяются кабельными вариантами прокладки сетей [2].

В связи со всем вышеобозначенным, диагностика состояния существующих КЛ, – важный элемент эксплуатации электросетей в РФ.

В целях получения различных технических данных, связанных с контролем кабельных сетей и испытанием соответствующих линий, существенную роль в электрохозяйствах страны играют экспериментальные методы и средства диагностики КЛ. Сегодня как теоретические, так и практические аспекты, а также условия увеличения показателей надежности отечественных КЛ могут быть реализованы рядом методов

и мероприятий испытательной и профилактической направленности: измерение сопротивления изоляционной части КЛ; испытания изоляции с помощью подачи повышенного напряжения; поиск целостности жил; проверка фазировки КЛ; определение сопротивления жил; определение емкостных параметров КЛ; измерение значений токораспределения по одножильным КЛ; контроль степени осушения вертикальных участков; проверка заземляющих устройств и антикоррозионных защит; измерение температурных показателей кабелей; испытание оболочки с помощью повышенного и выпрямленного напряжения; измерение значений удельного термического сопротивления грунтовых поверхностей.

Современные профилактические мероприятия контроля и испытания КЛ осуществляются не только с целью заблаговременного определения и выявления большого спектра дефектов кабельных электросетей, но и для снижения случаев повреждений, а, соответственно, увеличения надежности, бесперебойности электроснабжения. Контроль и испытания КЛ проводятся разрушающими и неразрушающими методами, представленными на рисунке.

Контроль и испытание КЛ	
Разрушающие методы:	Неразрушающие методы:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• повышенным напряжением промышленной частоты;</li> <li>• повышенным напряжением выпрямленного тока (по однополярной и двухполярной схеме);</li> <li>• импульсным напряжением;</li> <li>• без отключения КЛ от сети (искусственное создание перенапряжений, испытание пульсирующим напряжением, замыкания фазы на землю).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• сопротивление изоляции <math>R_{60}</math>;</li> <li>• диэлектрических потерь <math>tg\delta</math>;</li> <li>• частичных разрядов;</li> <li>• емкости КЛ;</li> <li>• отношения <math>R_{60}/R_{30}</math>;</li> <li>• тепловизионный метод;</li> <li>• рентгеновский метод;</li> <li>• измерение и анализ возвратного напряжения;</li> <li>• рефлектометрия (импульсный и высокочастотный методы).</li> </ul>

Разрушающие и неразрушающие методы контроля и испытания КЛ

В целях предотвращения пробоев изоляции КЛ важным является поиск и определение как характера, так и степени опасности большого числа наблюдаемых и ненаблюдаемых изменений, происходящих в процессе эксплуатации сетей, в связи с чем специалисты не только России, но и Германии, США, Японии рекомендуют диагностировать КЛ с помощью методов неразрушающего контроля. Последние, в отличие от разрушающих методов, дают возможность: во-первых, получать данные

о текущем состоянии изоляционных элементов кабелей, максимально не нарушая их целостность; во-вторых, более рационально и комплексно реализовывать процессы планирования сроков и периодов проведения соответствующих ремонтных работ кабелей, а также их замены, в случае выявления ситуаций, когда изоляционные ресурсы КЛ значительно снижены [2]. Распространенность и высокая эффективность неразрушающих методов контроля и диагностики кабельных линий во многом определяет в нынешней отечественной электроэнергетике план реализации соответствующих НИР и обуславливает активные публикации научных статей, тезисов (включая настоящую работу) в обозначенном направлении [3, 4, 5].

Таким образом, применение современных методов диагностики кабельных линий электропередачи, перечисленных в настоящей работе, позволяет сегодня реализовывать эффективную эксплуатацию значительной части существующих и прокладываемых КЛ как на уровне единой и изолированных энергосистем страны, так и в рамках рассмотрения проблемы бесперебойного и надежного электроснабжения аграрных и промышленных электрохозяйств, обуславливающих в последние годы увеличение количества случаев прокладки кабельных электросетей в РФ и повышение их протяженности в целом.

### **Источники**

1. Рахматуллин С.С. Краткая характеристика электроснабжения в сельской местности // Концепции устойчивого развития науки в современных условиях: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. / УФА: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2021. – С. 33-35.

2. Казакул А.А., Терехов О.А. Анализ методов диагностики кабельных линий электропередач 6-10 кВ / А.А. Казакул, О.А. Терехов // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. – 2019. – № 1. – С. 353-357.

3. Шарифуллин А.А., Воркунов О. В., Методы поиска неисправностей кабельных линий в городской среде // Наука и образование в условиях мировой нестабильности: проблемы, новые этапы развития: Материалы II международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 30 апреля 2022 года. – г. Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью "Манускрипт", 2022. – С. 328-331.

4. Куракина О.Е., Быртов И.П. Современные методы диагностики контроля высоковольтного оборудования // Актуальные проблемы

общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, Москва, 2022. – С. 137-139.

5. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Минаев И.А. Моделирование переходных сигналов при коммутациях в линиях электропередач // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты : Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2022 г. – С. 31-37.

УДК 621.316.11

## **АЛГОРИТМ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СХЕМНО-РЕЖИМНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

Назаров А.А.

Филиал АО «СО ЕЭС» Смоленское РДУ, г. Смоленск, Россия

nazarovaa105@yandex.ru

Рассмотрена актуальная проблема оценки и сравнения влияния линий электропередачи и электрооборудования электроэнергетических систем (элементов ЭЭС) высокого напряжения на режимную надежность ЭЭС. В настоящее время отсутствуют способы количественного решения отмеченной проблемы, а персонал диспетчерских центров (ДЦ) и проектных организаций решает эту задачу на качественном уровне, с использованием практического критерия  $n-i$ . Поэтому актуальна разработка алгоритма и методики, позволяющей произвести количественное сравнение вариантов ремонта или реконструкции элементов ЭЭС с учетом комплекса показателей, характеризующих их свойства надёжности и схемно-режимной значимости (СРЗ).

Для ранжирования вариантов предложен новый показатель - коэффициент схемно-режимной значимости элементов, который позволяет оценить относительный вес последствий их аварийного отключения для режима ЭЭС с учетом превентивных режимных мероприятий, необходимых для выполнения критерия  $n-1$ . Разработана модель и алгоритм расчета коэффициента схемно-режимной значимости элементов ЭЭС. Для иллюстрации предлагаемых решений использована тестовая схема энергосистемы IEEE-14. Разработанная методика может быть использована диспетчерскими центрами ЭЭС и проектными организациями для определения и сравнения элементов ЭЭС по критерию обеспечения режимной надежности.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, надежность, управление режимом, реконструкция, ранжирование.

Современные электрические сети 110 кВ и выше сконструированы с определенным резервом надежности так, что внезапные повреждения

отдельных элементов сети, как правило, не приводят к нарушению электроснабжения потребителей. Однако, они могут приводить к ухудшению или выходу за пределы длительно допустимых значений параметров электроэнергетического режима. Это снижает технико-экономическую эффективность работы ЭЭС или ее части. При этом увеличиваются затраты на производство и передачу электроэнергии и снижается надежность работы ЭЭС. Для обеспечения режимной надежности ДЦ применяют детерминированный подход по критерию  $n-i$  [2] с учетом нормативных требований [1].

Предлагается, что приоритет в реконструкции или капитальном ремонте должны иметь такие элементы ЭЭС, которые являются для нее наиболее ответственными (значимыми) [3]. Для этого рассчитывается коэффициент СРЗ  $k$ -того элемента при его аварийном отключении, который определяется как среднеарифметическое значение: коэффициента риска наступления негативных последствий ( $P$ ) и коэффициента влияния превентивных мероприятий по недопущению выхода параметров электроэнергетического режима за допустимые пределы ( $M$ ). Для определения коэффициентов  $P$  и  $M$ , анализируются возможные последствия аварийного отключения элемента для электроэнергетического режима ЭЭС и возможные схемно-режимные превентивные мероприятия, и производится их сравнение с использованием метода анализа иерархий [4].

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма оценки негативных последствий при аварийных отключениях элементов ЭЭС и превентивных мероприятий по недопущению выхода параметров электроэнергетического режима за допустимые пределы.

В основе алгоритма лежит оценка режимных параметров энергосистемы после аварийного отключения элемента электрической сети в нормальных и ремонтных схемах при характерных режимах работы энергосистемы.

Алгоритм состоит из двух блоков. Первый блок рассматривает режимы исследуемой ЭЭС при отключении одного из элементов электрической сети в нормальной схеме, что также соответствует выводу в ремонт ветви схемы с поврежденным элементом. После выполнения необходимых мероприятий производится повторная проверка режима при отключении рассматриваемой ветви (блок 2).

Пример расчета коэффициента СРЗ (табл.1) проведен в соответствии с рассмотренным алгоритмом для тестовой схемы энергосистемы IEEE-14 (рис. 2) с использованием программного комплекса RastrWin [5].

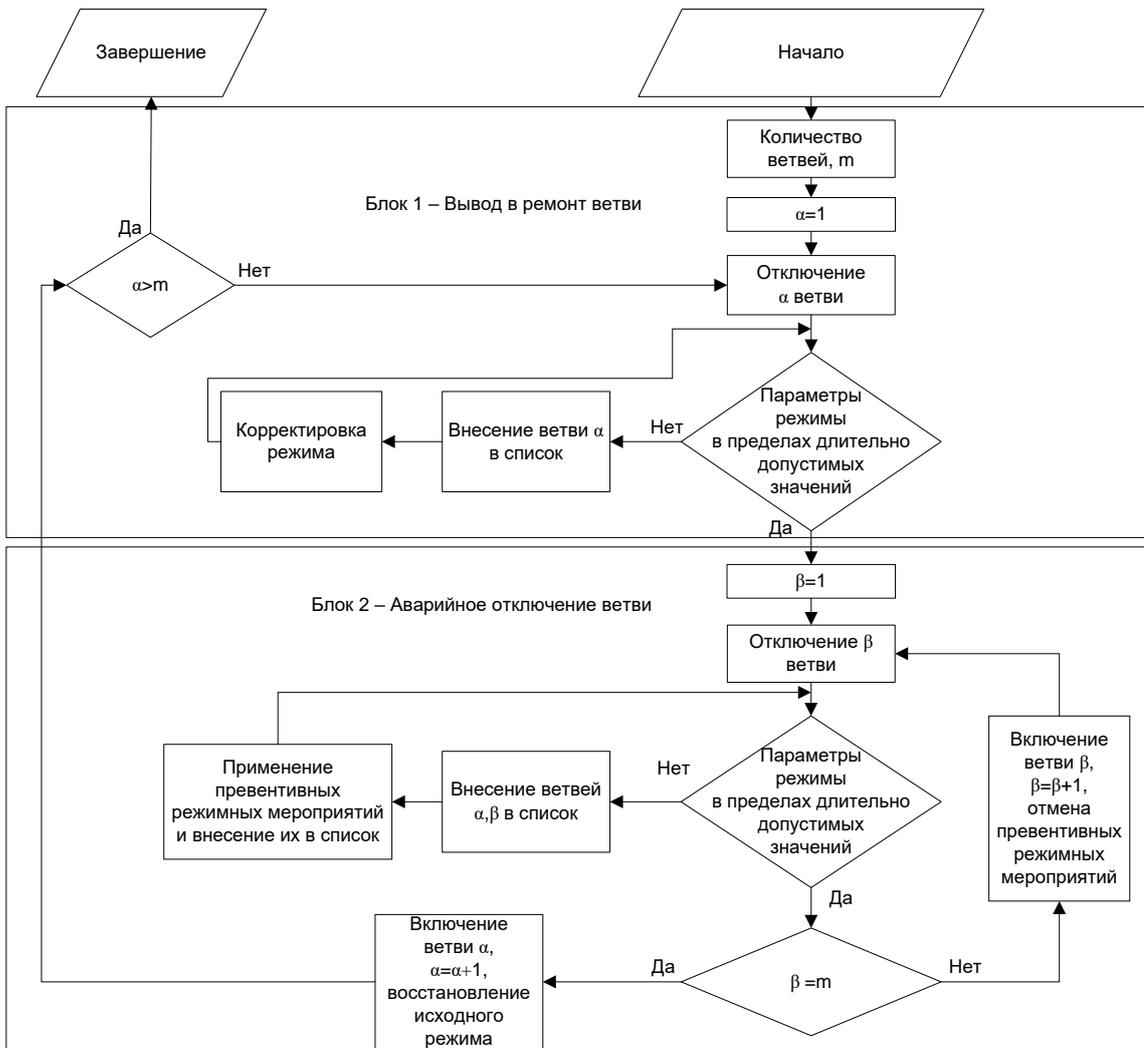


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

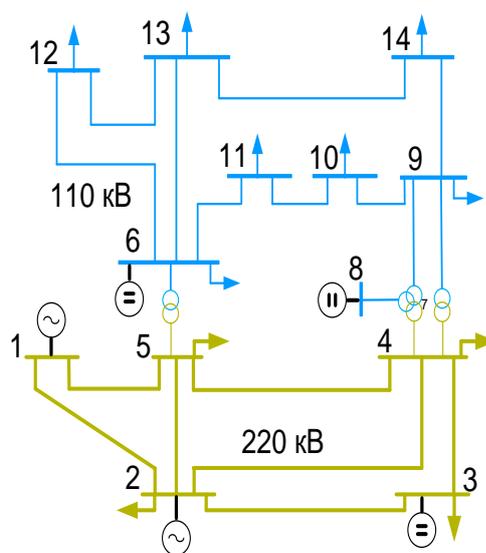


Рис. 2 Тестовая схема энергосистемы

## Результаты расчета

Аварийное отключение ветви		Р, о.е.	М, о.е.	СРЗ, о.е..
Начало	Конец			
1	2	0,9	0,93	<b>0,919</b>
1	5	0,62	0,93	<b>0,775</b>
2	3	0,71	1	<b>0,856</b>
2	4	0,13	0,67	<b>0,397</b>
2	5	0,59	0,33	<b>0,46</b>
...	...	...	...	...
10	11	0,35	0,07	<b>0,208</b>
12	13	0,14	0	<b>0,068</b>
13	14	0,14	0	<b>0,068</b>

Анализ значений коэффициента СРЗ показывает, что наиболее тяжелые последствия могут возникнуть при отключении ЛЭП 1-2. Это подтверждается значительным количеством ремонтных схем, в которых необходимы дополнительные схемно-режимных мероприятий, такие как загрузка генераторов вне планового диспетчерского графика (экономически менее эффективных станций), включение генераторов из резерва. Поэтому ЛЭП 1-2 имеет очевидный приоритет по показателю СРЗ. С его учетом и на основании технического состояния оборудования можно разработать планы по приоритетному ремонту и реконструкции элементов ЭЭС, что позволит обеспечить надежность работы ЭЭС на более высоком уровне и снизит риски выхода параметров электроэнергетического режима за пределы допустимых значений.

## Источники

1. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Методические указания по устойчивости энергосистем» (утверждены приказом Минэнерго России от 3 августа 2018 г. № 630).

2. Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М. Области использования и пределы применимости критерия  $n-i$  при формировании структуры и выборе параметров элементов ЭЭС.– М.: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 1999. – 68 с.

3. V. P. Kavchenkov, A. A. Nazarov. Assessment of the Electric Power System Elements Reconstruction Priority Taking into Account Mode Reliability / 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, Vladivostok, – Vladivostok, 2020. – P. 9271238. – DOI 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271238.

4. Саати Т., Керис К. Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. – М.: Радио и связь. 1991. – 224 с.

5. Vittal V. Transient stability test systems for direct stability methods: IEEE Committee report // IEEE Transactions on Power systems, Vol.7, №1, 1992. – PP.37-43.

УДК 620.98:338.45

## **ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ ТИПА MICROGRID**

Насырова Э.Н., Салихов Р.Р., Гарифуллин М.Ш.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

elina.nasyrova01@yandex.ru, salihovrail06@gmail.com

В работе, базирующейся на анализе источников литературы, представляется краткая характеристика идеи виртуальных электросетей MicroGrid. Приводится пример ее реализации, информация о функциональных возможностях и эффектах внедрения, перечисляются основные достоинства, компоненты управления и ключевые сведения о текущем положении реализации обозначенной концепции в мире и в России.

**Ключевые слова:** электрические сети, виртуальные электросети, MicroGrid, интернет энергии, распределенная генерация, источники малой энергии.

В настоящее время в электроэнергетической сфере наблюдаются процессы повышения степени проникновения устройств распределенной электрогенерации (РГ). Такая тенденция во многом обусловлена необходимостью достижения целей устойчивого развития современных государств. В контексте задач повышения РГ актуализируется проблема создания систем локального энергетического снабжения, способных функционировать как автономно, так и быть связанными с внешними энергосетями. Данные системы, как правило, строятся на удаленных территориях, например, в лесной, горной, пустынной или сельской местности, и именуются микросетями [1].

В нынешнюю эпоху, характеризующуюся цифровой трансформацией ключевых отраслей экономики, включая сферу электроэнергетики, большое распространение получают так называемые виртуальные электросети (ЭС), в том числе виртуальные микросети (MicroGrid). Концепция современных MicroGrid предполагает идею совмещения

производителей электроэнергии в виде энергоустановок РГ, устройств накопления энергии и непосредственно самих энергопотребителей в единой электроэнергетической системе, базирующуюся на реализации принципа объединения двух сетей, работающих параллельно – информационно-коммуникационной и электрической. Кроме этого, MicroGrid на той или иной территории государств прямо связаны с региональными ЭС, откуда они подключаются к национальной ЭС (см. рис. 1) [2].

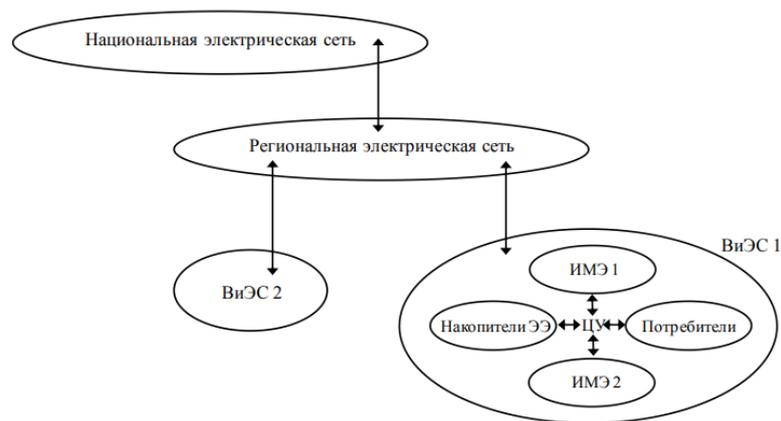


Рис. 1. Пример реализации идеи MicroGrid на уровне национальной ЭС [2]

Сегодня в направлении виртуальных MicroGrid специалисты выделяют их 2 ключевых назначения: 1) техническое, которое реализуется в виде возможности регулирования таких параметров режима сети как частота и напряжение; 2) коммерческое, в качестве основного аспекта реализации которого выступает возможность продажи электрической энергии на соответствующие рынки [3].

Что касается исследования структуры и базовых составляющих MicroGrid, то следует выделить взаимосвязь их функциональных возможностей с эффектами от внедрения соответствующих микросетей (см. рисунок 2).

Функциональные возможности ВиЭС	Эффект от внедрения ВиЭС	
	Потребитель	Энергосистема
Управление распределенной генерацией (оптимизация режимов сети)	Повышение надежности ЭС; повышение энергетической и экономической эффективности ЭС; возможность продажи на рынке излишков ЭЭ	Снижение пиковых нагрузок сети; оптимизация регулирования нагрузки и режимов сети; интеграция ВИЭ в систему с сохранением ее стабильности
Управление потреблением ЭЭ (совмещение графиков нагрузки потребителей и источников ЭЭ)	Возможность получения экономии на потреблении ЭЭ за счет участия в программах управления потреблением	Снижение пиковых нагрузок сети за счет участия потребителей в управлении нагрузкой
Управление рынком резерва мощности (возможность использования резервной мощности)	Доход от продажи излишков мощности в сеть	Увеличение загрузки сетевых активов; уменьшение объемов невостребованной мощности; снижение уровня инвестиций в сеть

Рис. 2. Взаимосвязь возможностей MicroGrid и эффектов от их внедрения [2]

Стоит также отметить основные преимущества современных сетей MicroGrid, которые в совокупности могут быть сведены к двум ключевым достоинствам: 1) возможность реализации процесса их вертикально-горизонтальной интеграции в традиционные ЭС; 2) гибкость архитектуры виртуальных ЭС.

Надежное функционирование MicroGrid невозможно без грамотной настройки и управления всех осуществляемых в системе виртуальных ЭС мер и мероприятий. За выполнение данных функций всегда ответственен соответствующий центр управления, главными составными компонентами реализации которого являются: 1) управляющее ПО; 2) системы визуализации и технологического контроля SCADA; 3) интеллектуальные электронные устройства [2].

В настоящее время значительная часть достижений в сфере современных MicroGrid в виде важнейших разработок и решений их внедрения в национальные ЭС принадлежит ЕС, где идея виртуальных ЭС развивается с 2003 года [3]. В отечественной электроэнергетике реализация концепции обсуждается в контексте выполнения целей программ по цифровизации энергоотрасли [4, 6]. В РФ уже предприняты многочисленные точечные попытки развития MicroGrid и проделана значительная доля работы в направлении популяризации виртуальных ЭС [5] (включая создание в МЭИ полигона «Testbed Энерджинет», реализацию НП «НТС ЕЭС» ПТК сетей микрогрид, внедрение решений компании МОХА по автоматизации питающих линий, экспертные исследования потенциала проектирования микросетей на Дальнем Востоке, в Сибири, в Якутии), однако для их масштабного распространения сегодня необходимо преодолеть ряд барьеров, связанных со слабой энергоинтенсивностью промышленности и невысоким уровнем развития РГ в стране [1].

### **Источники**

1. Рахматуллин С.С. Разработка методов повышения эффективности распределения электроэнергии на основе концепции умных сетей электроснабжения // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2021. – № 12. – С. 93-101.

2. Окунева В.В., Агамирзоев А.А., Корнеев К.Б. Реализация распределенной генерации посредством создания виртуальных электростанций // Вестник ТГТУ. – 2020. – № 3. – С. 58-67.

3. Muhtadi A. et al. Distributed energy resources based microgrid: Review of architecture, control, and reliability // Transactions on Industry Applications. – 2021. – № 3. – P. 2223-2235.

4. Хафизов Л. А. Диагностика трансформатора без отключения линии электропередачи // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация": Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 2022 г., т.1 – С. 158-163.

5. Воронцов Г. Н., Мухаметжанов Р.Н. Анализ технологий smart grid как перспективный способ повышения энергосбережения в бытовом секторе // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2022 г. – С. 77-80.

6. Феоктистов Д.И., Воркунов О.В. Применение технологии смарт-контрактов блокчейн в области энергетики // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2022. – № 6. – С. 48-50.

УДК 621.315.177

## **ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ**

Пигалин А.А., Гарифуллин М.Ш.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
artempigalin@mail.ru

Актуальность данного тезиса заключается в том, что оборудование линий изнашивается и некоторые участки, к примеру магистральных электрических сетей, являются очень продолжительными и труднодоступными для диагностики выездной бригадой. Рассмотрены основные функции и классификация, дано экономическое сравнение применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в электрических сетях с традиционным методом пешего осмотра.

**Ключевые слова:** БПЛА, квадрокоптер, диагностика, линия электропередачи.

В процессе эксплуатации линий электропередачи происходит износ элементов ЛЭП, что при несвоевременном обслуживании может привести к авариям, связанными с недоотпуском энергии. Для устранения неисправностей и принятия превентивных мер, на ВЛ выполняются ежегодные осмотры, диагностика элементов.

Одной из основных тенденций развития энергетики в настоящее время является переход на техническое обслуживание оборудования по его состоянию [1]. Традиционный режим обслуживания имеет недостатки, связанные с избыточным или недостаточным обслуживанием, что приводит к увеличению расходов или же повышению риска отказа системы передачи электроэнергии. В связи с чем необходимы современ-

ные и точные системы мониторинга состояния электрических систем в целом.

В настоящее время все большее распространение получают БПЛА. Данный тип обследования ЛЭП является достаточно новым, перспективным направлением. Обследование при помощи беспилотников позволит уменьшить время осмотра линии до нескольких часов.

Для классификации аппаратов можно использовать множество критериев, таких как: тип системы управления; типы крыла; типы авиационных двигателей; категория (по массе и максимальной дальности полета высота полета) и т. д. [2]. Конкретно для обследования ЛЭП применяются БПЛА самолетного и коптерного типа (рис. 1).



Рис. 1. БПЛА самолетного и коптерного типа

Полезных функций у дронов, благодаря возможности установки всевозможного навесного оборудования, довольно много. Перечислим самые основные. Во-первых, это возможность выполнения тепловизионного контроля – выявление ненадежных элементов, которые перегреваются (рис. 2). Во-вторых, ультрафиолетовая диагностика, позволяющая фиксировать коронные разряды (рис. 3).

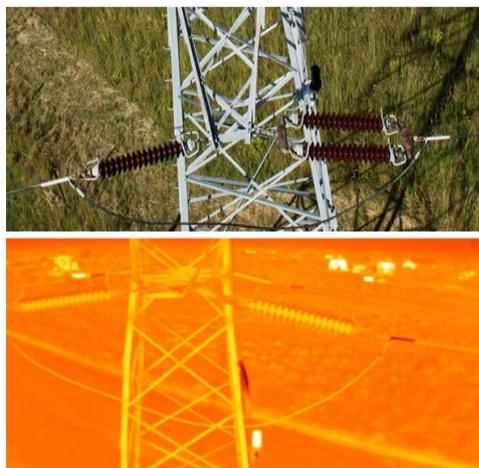


Рис. 2. Тепловизионная съемка с БПЛА

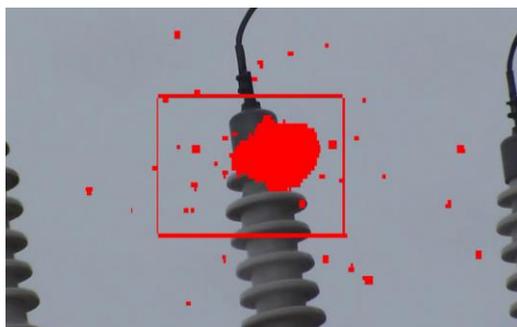


Рис. 3. Ультрафиолетовая диагностика изоляторов

Но чаще всего они применяются для фото-видео съёмки с целью верхового осмотра линий (рис. 4). Очевидно, что ручные проверки, связанные с восхождением или использованием корзин для поднятия к опоре, представляют опасность, которой можно избежать с помощью дронов. Наземный сбор данных явно может уступать в детализации и гибкости, которые может обеспечить БПЛА. Простые в использовании квадрокоптеры с фото-видеокамерами могут выполнять детальные проверки ЛЭП до 32 км в день, захватывая качественные изображения нужных элементов опор.



Рис. 4. Изображение близости опоры ЛЭП с квадрокоптера

Произведём расчёт-сравнение стоимости обследования при помощи наземной группы и БПЛА. Результаты приведены в таблице.

Очевидна проблема дороговизны решения, особенно на этапах закупки оборудования, но на рынке имеются крупные производители российского производства (Геоскан, Terradrones, Aerostream), которые позволят снизить затраты.

При использовании БПЛА самолетного типа, стоимость обследования одной тысячи километров уменьшится в 4 раза за счет более

высокой скорости, но информация будет получена та же что и при обследовании простой Наземной группой (данные о растительности и общем состоянии опор ЛЭП).

Таблица 1

Сравнение пешего осмотра и БПЛА

Параметр	Наземная группа	БПЛА
Число человек в рабочей группе	3	2
Заработная плата человека в месяц, руб.	30000	45000
Заработная плата группы в день, руб.	3913	3913
Число рабочих часов в день, ч.	8	8
Скорость обследования км/час	2	4
Скорость обследования км/день	16	32
Заработная плата специалистов на 1 км, руб.	245	122
Стоимость комплекта (на 3 года), руб.		1500000
Стоимость комплекта в год (250 дней), руб.		500000
Стоимость комплекта на 1 день, руб.		2000
Стоимость комплекта на обследование 1 км, руб.		63
Общая стоимость обследования 1 км опор ЛЭП, руб	245	185
Время обследования 1 тыс. км, дней	63	32
Стоимость обследования 1 тыс. км ЛЭП, руб	245000	185000

Экономический эффект будет проявляться на дистанции по причине удешевления процедуры осмотра, к тому же с дронов можно рассмотреть любую часть линии вблизи в отличии от инспекции с земли. Персонал БПЛА, после более раннего завершения осмотра, можно будет перенаправить на выполнение других полезных задач.

**Источники**

1. Стратегия развития электросетевого комплекса РФ: Утв. распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 511-р: в ред. постановления Правительства РФ от 29 ноября 2017 г. № 2664-р // Собр. законодательства РФ. – 2017. – № 49. – С. 21027–21029;
2. Корченко А.Г., Ильяш О.С. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов // Сборник научных работ. Харьковский университет Воздушных Сил. 2017 г.;
3. Стандарт организации "Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий

электропередачи и энергетических объектов" от 09.12.2016 № СТО 56947007- 29.200.10.235-2016 // ПАО «ФСК ЕЭС». – 2016 г.;

4. Nicholas Rymer; Andrew J. Moore; Matthew Schubert Inexpensive, Lightweight Method of Detecting Coronas with UAVs // 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). - Dallas, TX, USA: 2018.

5. Mohamed N.B., Zhibin Z., Mohamed B. A critical review on unmanned aerial vehicles power supply and energy management: Solutions, strategies, and prospects // Applied Energy. – 2019. – № 255;

6. Valavanis K.P., Vachtsevanos G.J. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. - Springer Reference, 2015. - 3015 с.;

7. Redlarski G., Lewczuk B., Żak A., Koncicki A. The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes // BioMed Research International. – 2015. – С. 1-18.

8. Навроцкий Р.А., Москвитин Г.В., Пугачев М.С., Наумов О.В. Исследование прочностных характеристик рамной конструкции квадрокоптера, полученной с применением технологии 3D печати // XXXII Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения: Сборник трудов конференции, Москва, 02–04 декабря 2020 года. – С. 155-159.

УДК 621.311

## **ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Равин Д.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

dima.ravin98@gmail.com,

Науч. рук. доц. Валиуллина Д.М.

В данной работе исследовано воздействие показателей срока службы асинхронного двигателя и изменения показателей напряжения на частоту вращения ротора АИР160S2,  $P_{ном} = 15$  кВт. Показано негативное влияние отклонений показателей напряжения от нормативных значений на работу асинхронных электродвигателей.

**Ключевые слова:** показатели качества электроэнергии (ПКЭ), ресурс двигателя (лет), отклонение напряжения, асинхронный двигатель (АД), частота вращения ротора.

Асинхронные двигатели требуют параметров исключительного качества. Их частая перемена может привести к нарушению их работоспособности.

Одним из превентивных показателей качества является отклонение напряжения от эталонного значения. Уменьшение напряжения способствует уменьшению частоты вращения ротора двигателя и вращающего момента, из-за увеличения его скольжения.

В табл. 1 показаны отклонения показателей напряжения ротора АИР160S2 при изменении напряжения  $\pm 10\%$ , полученные в результате расчета.

Таблица 1

Частота вращения ротора АИР160S2 при отклонениях напряжения

	U, В	Частота вращения n, об/мин
0	380	2925
-1	376,2	2923
-2,5	370,5	2921
-5	361	2917
-7,5	351,5	2912
-10	342	2907
1	383,8	2926
2,5	389,5	2929
5	399	2932

У нагруженных асинхронных двигателей падение напряжения приводит к падению скорости (рис. 1). Поэтому работа механизмов, зависящих от частоты вращения ротора двигателя, при снижении напряжения может привести к браку и снижению качества деталей. При большом снижении напряжения на электрических клеммах момент сопротивления может превышать крутящий момент, поэтому двигатель может остановиться.

На рис. 1 представлена перемена уровня показателей напряжения способствует увеличению скорости вращения ротора и повышению использования активной мощности. При изменении напряжения на 1 % потребляемая энергия увеличивается на 3 %, что приводит к повышению потерь активной мощности.

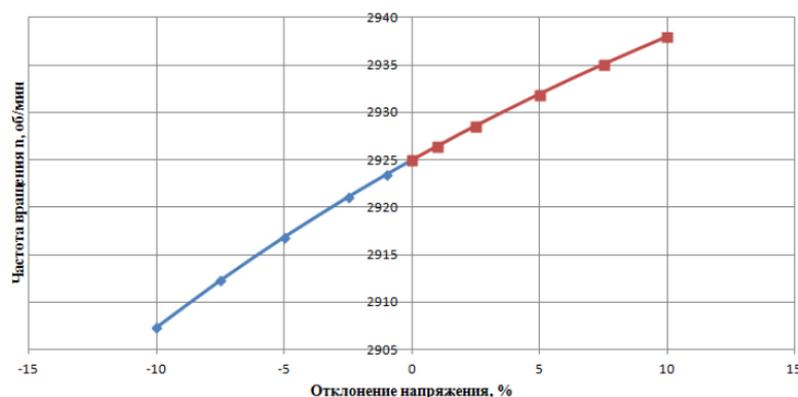


Рис. 1. Влияние изменения мощности асинхронного двигателя от частоты вращения ротора

В таблице 2 приведен срока службы двигателя АИР160S2 при изменениях показателей напряжения, полученных в результате расчетов

Таблица 2

Снижение срока службы двигателя АИР160S2 при изменениях показателей напряжения

Отклонения напряжения $\delta U$ , %	R	Срок службы T, лет	Отклонение срока службы от номинального $\delta T$ , %
0	1	15	0
-1	1,080	13,9	7,382
-2,5	1,217	12,3	17,822
-5	1,493	10,1	32,998
-7,5	1,827	8,2	45,262
-10	2,220	6,8	54,955

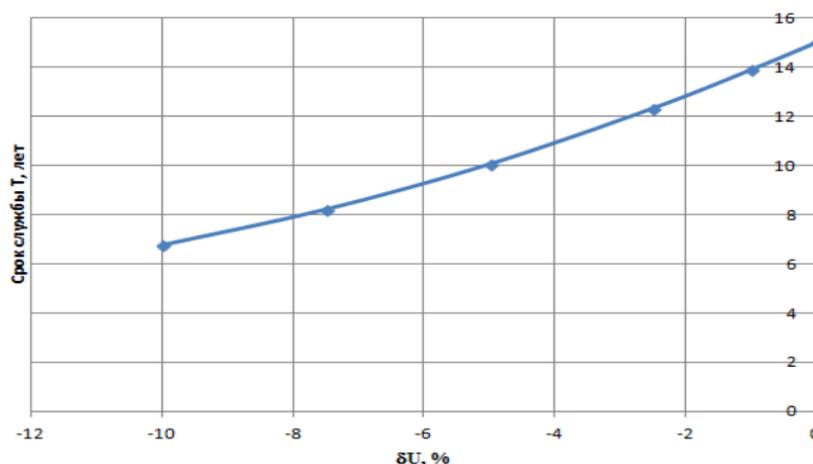


Рис. 2. График изменения срока службы двигателя АИР160S2

Быстрый износ электродвигателя приведет к сокращению срока его службы. Опаснее всего длительная работа электродвигателя при пониженных показателях напряжении, так как при неизменной мощности увеличивается ток двигателя, что приведет к недопустимому перегреву изоляции.

На основании данных, полученных в результате расчетов, можно сказать, что в среднем одна часть отклонения напряжения пропорциональна семи срокам службы двигателя АИР160S2.

Поэтому отклонение показателей напряжения от нормы влияет на работу асинхронного двигателя, вплоть до сокращения срока его службы. Отклонение показателей напряжения на 10 % снижает срок службы двигателя на 55 % от нормального значения.

## Источники

1. Влияние отклонений напряжения на работу электроприемников [Электронный ресурс]. <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1346-vliyanie-otrlonenijj-naprjazhenijana.html> (дата обращения: 12.09.22).
2. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников [Электронный ресурс]. <http://www.ruselt.ru/information/viyanie-kachestva-eektroenergii-na-rabotuelectropriemnikov/> (дата обращения: 10.09.22).
3. Электродвигатель АИР 160 2 [Электронный ресурс]. <http://v.tdc.ua/content/view/314/42/> (дата обращения: 12.09.22).
4. Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс]. <http://eectroprivod.kpi.ua/RUS/17.pdf> (дата обращения: 10.09.22).
5. Основные причины отклонений и колебаний напряжения [Электронный ресурс]. [http://studopedia.ru/4\\_90798\\_osnovnie-prichiniotkoneniy-i-koebaniy-napryazheniya.html](http://studopedia.ru/4_90798_osnovnie-prichiniotkoneniy-i-koebaniy-napryazheniya.html) (дата обращения: 12.09.22).

УДК 621.311

## ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПРЕДМЕТ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕДОПУСТИМЫХ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Радько П.П., Разживин И.А., Рубан Н.Ю.  
ФГАОУ ВО «НИ ТПУ», г. Томск  
ppr1@tpu.ru, lionrash@tpu.ru, rubanny@tpu.ru

При исследовании демпфирования низкочастотных колебаниях зачастую встает вопрос о сравнении и дальнейшем анализе опасности наблюдаемых колебательных процессов. Данная работа описывает поэтапный способ моделирования, объективного сравнения, оценки низкочастотных колебаний на предмет соответствия нормативным требованиям. С помощью приведенной методики можно проверить режим и систему на уязвимость для появления НЧК, а также оценить эффективность мер по улучшению их демпфирования.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, низкочастотные колебания, степень демпфирования, анализ, EuroStag.

Низкочастотные колебания (НЧК) – это нелинейные и нестационарные колебательные процессы движения вращающихся масс ротора генераторов и турбин в энергорайоне или узле сети.

Первопричиной таких колебаний, как правило, являются появления небалансов, возникающих в результате изменения нагрузки и/или генерации в системе. Также колебания могут возникнуть вследствие отключения протяженных линий или нагруженных трансформаторов (например, из-за коротких замыканий), так как изменяется топология и параметры системы.

В литературе и в научных статьях используются несколько методов оценки демпфирования низкочастотных колебаний. Самым распространенным из них является визуальное сравнение осциллограмм определенной величины при тех или иных условиях [1]. Такие сравнения выполняют свою функцию – они наглядны и демонстративны. Однако по ним невозможно понять, были ли первоначальные колебания опасными для системы, и, если да, невозможно точно оценить эффективность мер по улучшению их демпфирования. Из-за этого и невозможно сделать вывод, уязвима ли энергосистема или энергорайон к возникновению критичных низкочастотных колебаний. Необходима методика, опирающаяся на объективные сравнимые величины, с четкими требованиями и нормами, отвечающая на вышеперечисленные вопросы.

В связи с тем, что для анализа гораздо проще сравнивать величины небалансов, чем степени опасности возмущений, в предложенной методике было решено использовать моделирование именно небалансов, через наброс нагрузки. Подлинно выяснить, насколько небаланс по активной мощности сильнее влияет на возникновение НЧК, чем небаланс по реактивной, можно только эмпирическим методом.

Чтобы определить, являются ли колебания допустимыми, были использованы МУ по осуществлению диспетчерскими центрами АО «СО ЕЭС» оценки параметров настройки АРВ СД синхронных генераторов на цифровой модели энергосистемы [2]. Документ вводит такой параметр как степень демпфирования  $D$  (см. формулу 1), равный отношению диапазона изменения параметра спустя 15 секунд от возмущения ( $\Delta P_{то}$ ) к амплитуде первого колебания ( $\Delta P_{oc}$ ):

$$D = \frac{\Delta P_{то}}{\Delta P_{oc}} \quad (1)$$

Согласно данной методике колебательный процесс признается не удовлетворяющим требованиям в случае, если степень демпфирования любого из зарегистрированных параметров переходного процесса в момент времени 15 с от тестового возмущения превышает пороговое значение, равное 0,01, причем частота колебаний зарегистрированного

параметра входит в диапазон от 0,6 Гц включительно до 2 Гц включительно.

Объединив весьма гибкий способ достичь низкочастотных колебаний в энергосистеме с наглядным объективным способом их оценки, можно прийти к сформированной методике анализа электроэнергетических систем на предмет риска возникновения недопустимых низкочастотных колебаний:

1. Моделирование исследуемой энергосистемы или энергорайона, причем в модели должны быть указаны все параметры, соответствующие реальному оборудованию и смоделированы все автоматики, аналогичные реально установленным. Также для исследования важно использовать программный комплекс, позволяющий точно исследовать динамические параметры системы (например, EuroStag);

2. наброс нагрузки в исследуемый узел/узлы нагрузки. Наиболее уязвимыми для возникновения НЧК являются дефицитные энергорайоны, территориально удаленные от основных источников генерации.

3. Анализ осциллограмм рассматриваемого параметра в исследуемых узлах/связях через степень демпфирования. Вывод о соответствии или несоответствии нормативным требованиям.

Если необходимо выявить максимальный наброс нагрузки, при котором колебания останутся соответствовать требованиям, пункты 2 и 3 следует повторить несколько раз до получения искомого значения.

Также через степень демпфирования можно объективно сравнивать колебательные процессы при различных условиях. В табл. 1 приведен пример исследования энергорайона вблизи Мамаканской ГЭС, при различных набросах нагрузки.

Таблица 1

### Сравнительный анализ опытов

Величина наброса нагрузки	$\Delta P_{oc}$ , МВт	$\Delta P_{то}$ , МВт	D
20 МВт	1,502	0,0138	0,0091
20 МВт и 10 Мвар	0,81	0,0036	0,0044
10 МВт и 20 Мвар	0,59	0,003	0,005
20 Мвар	1,344	0,0092	0,0068

Как видно из таблицы, результаты опытов можно сравнить, и в дальнейшем сделать выводы о качестве демпфирования НЧК в каждом.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4

### **Источники**

1. Николаев А.А., Даниленко А.С., Ложкин И.А. Исследование различных типов стабилизаторов PSS, используемых в системах автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2018. – Том 5. – № 1. – С. 3-10.

2. Методические указания по осуществлению диспетчерскими центрами АО «СО ЕЭС» оценки параметров настройки автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов на цифровой модели энергосистемы: приложение 1 к распоряжению АО «СО ЕЭС» от 19 августа 2019 г. – № 94р. – М.: АО «СО ЕЭС», 2019. – 29 с.

УДК 621.31

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Разживина К.Д., Разживина К.Д., Мачан Д.В., Воркунов О.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

kristina\_razzhivina@mail.ru

В данной работе проведен анализ источников отечественной научной литературы, представлена актуальная сравнительная характеристика электрических изоляционных конструкций, применяемых в электроэнергетических системах РФ.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, электрические сети и системы, изоляторы, диэлектрики, сравнительная характеристика.

В электроэнергетической отрасли электрическими изоляторами называются устройства для изоляции частей электроустановок, имеющих различный потенциал. Изоляторы выполняются из диэлектрика, что обусловлено важностью предотвращения протекания тока между двумя или несколькими частями электрической установки (чаще всего – ЛЭП). Грамотный учет данной особенности и применение современных электрических изоляторов в настоящее время позволяют эффективно реализовывать процессы надежного и бесперебойного электроснабжения, включая передачу и распределение электроэнергии на дальние и близкие расстояния.

Ключевым этапом настоящей работы является представление краткой классификации разрабатываемых, производимых и имеющихся сегодня в эксплуатации электрических изоляторов. Во-первых, изоляторы вместе со всеми их изоляционными составляющими и креплениями можно разделить по месту установки: наружной установки (для всех напряжений нагрузки) и внутренней установки (как правило, до напряжения 35 киловольт). Во-вторых, нельзя не упомянуть классификацию электрических изоляторов по месту их применения: линейные, станционные, аппаратные. В-третьих, изоляторы следует различать по их назначению: опорные, проходные, подвесные, штыревые (для линейных изоляторов). В-четвертых, по типу конструктивного исполнения возможна следующая классификация изоляторов: тарельчатые, стержневые, штыревые. Не редко при выборе проходных аппаратных изоляторов ключевым параметром является физико-химический состав используемого диэлектрика, в связи с чем последние также классифицируются на изоляторы: с воздушной полостью; маслонаполненные; конденсаторного типа.

Вышеобозначенная классификация может быть представлена графически с помощью рисунка 1.

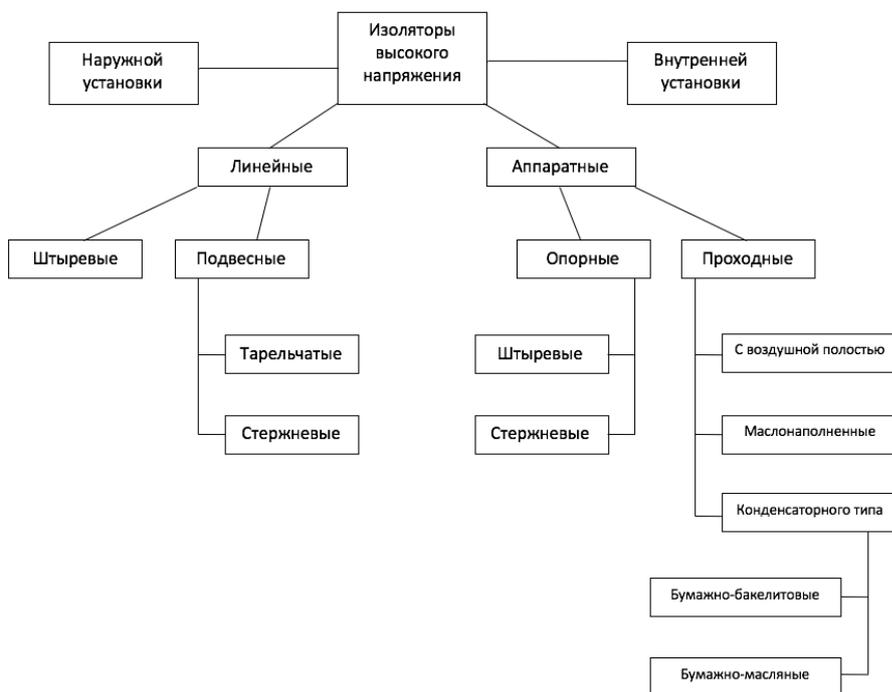


Рис. 1. Классификация электрических изоляторов

Важно сделать примечание: на рисунке 1 отсутствует станционный тип электрических изоляторов, однако для него равным счетом справедливой все представленные графически классификационные ветви,

относящиеся к аппаратным изоляторам. Отличие от последних заключается в том, что стационарные изоляторы применяются на РУ ЭС и ПС, в трансформаторных киосках, а аппаратные – непосредственно в составе конструкций таких аппаратов как трансформаторы, разъединители, выключатели и др.

Следующий этап настоящей работы – представление отличительных особенностей свойств наиболее распространенных материалов, используемых для изготовления электрических изоляторов, в последующем эксплуатируемых во всех энергосистемах страны. После анализа соответствующей литературы все полученные данные можно свести в таблицу и представить с помощью рисунка 2.

	Стекланный изолятор	Фарфоровый изолятор	Полимерный изолятор
Горючесть	негорючий	негорючий	горючий
Подверженность влияния ультрафиолетовых лучей	не подвержен	не подвержен	подвержен
Водопроницаемость	водонепроницаем	водонепроницаем	водонепроницаем
Механическая стойкость	Хрупкий, слабая механическая стойкость	Хрупкий, слабая механическая стойкость	Высокая механическая стойкость
Устойчивость к атмосферным загрязнениям	устойчив	устойчив	устойчив

Рис. 2. Сравнение отличительных особенностей свойств материалов наиболее распространенных видов изоляторов

Сегодня наибольшее распространение в электроэнергетических системах РФ получили три вида изоляторов: стеклянные, фарфоровые и полимерные. Первые два вида, по сравнению с последним, характеризуются большей массой и значительной хрупкостью. Несмотря на это, именно стеклянные и фарфоровые изоляторы при их визуальном осмотре позволяют персоналу электросетевых организаций проще и быстрее определять механические разрушения и дефекты данных диэлектриков. Однако следует упомянуть, что электрические изоляторы из полимерных материалов отличаются высокими показателями устойчивости к поверхностным разрядам, загрязнению и пыли. Кроме этого, они весьма устойчивы к перепадам температуры и влажности, к актам вандализма. Важным является тот факт, что показатели удельного поверхностного сопротивления у полимерных диэлектриков выше, чем у стеклянных, практически в четыре раза, при равных условиях и особенностях эксплуатации данных изоляторов [1].

## Источники

1. Бирюлин В.И. и др. Достоинства и недостатки различных типов изоляторов для линий электропередач / В.И. Бирюлин и др. // Электроэнергетическая отрасль: современные тенденции развития и практические разработки. – 2021. – № 1. – С. 56-59.

2. Патент на полезную модель № 209293 U1 Российская Федерация, МПК H02J 7/24. Преобразователь тока для заряда электрохимических источников тока: № 2021133633: заявл. 18.11.2021: опубл. 15.03.2022 / И. М. Валеев, В. Г. Макаров, В. Д. Сандаков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Казанский государственный энергетический университет".

3. Мусаев Т.А., Хабибуллин М.Н., Валеев И.М. Исследование корреляционно-регрессионной зависимости между показателями баланса электрической энергии // XVI Всероссийская открытая молодежная научно-практическая конференция «Диспетчеризация и управление в электроэнергетике», Казань, 2022. – С. 177-179.

4. Альзаккар А.М.Н., Местников Н.П., Валеев И.М. Исследование применения накопителей энергии по обеспечению бесперебойного электроснабжения потребителей // Грозненский естественно-научный бюллетень. – 2022. – Т. 7. – № 1(27). – С. 79-89. – DOI 10.25744/genb.2022.16.99.009.

5. Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л., Минаев И.А. Колебания амплитуды сигнала переходного процесса как источник диагностической информации // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Материалы 93-его заседания семинара. В 2-х книгах, Волжский, 2021. – С. 215-223.

УДК 621.311.176

## **КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА EOCORTECH ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СЕТЕВЫХ ВИДЕОКАМЕР**

Рахманкулов Ш.Ф., Гарифуллин М.Ш.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
shamil74000@mail.ru

Хищение электроэнергии – поведение, при котором потребители проводят незаконные операции с электрическими счетчиками, чтобы избежать индивидуальных счетов за электроэнергию. Существующие методы, которые главным образом оценивают учет потребления электроэнергии пользователями, могут быть

недостаточными из-за разнообразия тактики краж и нерегулярности поведения пользователей. В этой статье предлагается способ распознавать поведение, связанное с хищением электроэнергии, с помощью данных из различных источников. Помимо учета потребления электроэнергии пользователями, мы анализируем поведение пользователей с помощью региональных факторов (нетехнические потери) и климатических факторов (температура) в соответствующей зоне трансформатора.

**Ключевые слова:** нетехнические потери, макроуровень, мониторинг.

Для решения проблем выявления случаев хищения электроэнергии используются основанные на данных методологии. Перед рассмотрением существующих методик по данной проблеме необходимо пояснить один связанный с ними технический термин: нетехнические потери (НТП) [1]. На практике потери в распределительной сети коммунальных услуг классифицируются как технические и нетехнические. Технические потери обусловлены главным образом нежелательными последствиями (например, нагрев резистивных компонентов, радиация и т. д.) и неизбежны [2]. В отличие от этого нетехнические потери определяются как энергия, которая распределяется, но не оплачивается. Хотя несхожие проблемы могут способствовать нетехническим потерям, значительная доля причин, вызывающих НТП, связана с хищениями электроэнергии и мошенничеством. Руководствуясь вышеуказанными соображениями, в статье мы предлагаем признать факт хищения электроэнергии путем объединения трех различных уровней информации: микро, мезо и макро. На микро- и мезоуровне мы стремимся фиксировать ненормальное поведение пользователей на основе данных об использовании электроэнергии и НТП соответственно [3]. Кроме того, на макроуровне мы сфокусируемся на изучении, как климатические условия влияют на поведение воров электроэнергии. В своей работе мы добиваемся значительного прогресса в практическом применении технологии обнаружения хищений электроэнергии путем внедрения предлагаемой модели.

Наибольший результат в поведенческом анализе может дать анализ макроуровня с бустингом в виде температуры, которая дает прямую корреляцию в росте потребления с ее повышением (работа кондиционирующих установок), показана на рисунке 1 [4].

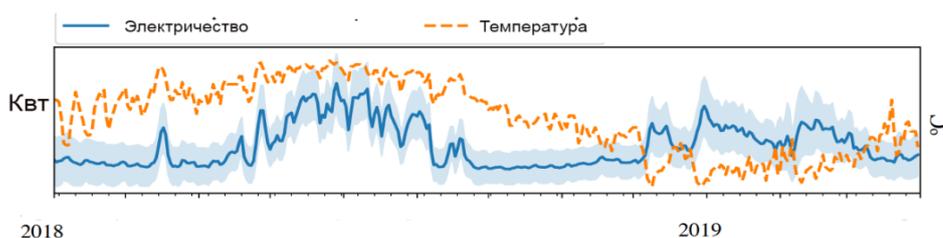


Рис. 1. Корреляция потребления и температурных условий

Опять же, тенденции кривой исходного потребления соответствуют нашему опыту, показывающему, что очень высокие или низкие температуры связаны с повышенным потреблением электроэнергии, а точки хорошо подходят к конкретной квадратичной кривой (рисунок 2); напротив, расклад для случая с воровством электричества кажется неупорядоченным (рисунок 2). Такие корреляции лучше изучать путем объединения пользователей в рамках различных групп; однако, поскольку масштабы потребления электроэнергии каждым пользователем могут существенно варьироваться [5]. Альтернативный подход мог бы индивидуально подогнать точки для каждого пользователя, а затем показать разрыв в распределении соответствующих потерь между обычными пользователями и ворами электроэнергии. Двухкомпонентные PDF просто показывают тот факт, что кривые обычных пользователей могут быть легко установлены на квадратичную кривую, чем воры.

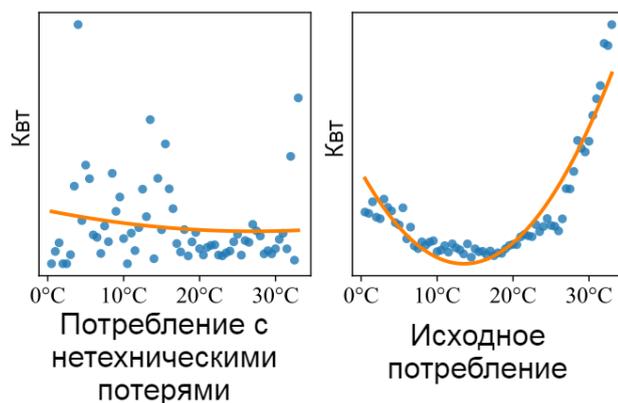


Рис. 2. Разница в потреблении

Как итог можно с уверенностью сказать, что зная поведенческие признаки потребителей электроэнергии можно с высокой долей вероятности определять нетехнические потери путем статистического анализа.

### Источники

1. Tanveer Ahmad. 2017. non-technical loss analysis and prevention using smart meters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72 (2017), 573–589.
2. Al-Dahidi S., Ayadi O., Adeeb J., and Louzazni M. (2019). Assessment of Artificial Neural Networks Learning Algorithms and Training Datasets for Solar Photovoltaic Power Production Prediction. *Front. Energ. Res.* 7, 1–18. doi:10.3389/fenrg.2019.00130.

3. Li Z., Li Y., Liu Y., Wang P., Lu R., and Gooi H. B. (2021b). Deep Learning Based Densely Connected Network for Load Forecasting. IEEE Trans. Power Syst. 36, 2829–2840. doi:10.1109/tpwrs.2020.3048359.

4. Wang H., Cai R., Zhou B., Aziz S., Qin B., Voropai N., et al. (2020). Solar Irradiance Forecasting Based on Direct Explainable Neural Network. Energ. Convers. Manag. 226, 113487. doi: 10.1016/j.enconman.2020.113487

5. Farjaminezhad R., Safari S., and Moghadam A.M.E. (2021). Recurrent Neural Networks Models for Analyzing Single and Multiple Transient Faults in Combinational Circuits. Microelectronics J. 112, 104993. doi:10.1016/j.mejo.2021.104993.

УДК 621.315.1

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СРЕЛЫ ПРОВЕСА ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Сабирзянова А.Ш., Касимов В.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

sabirzynova25@gmail.com, vasilkasimov@yandex.ru

Науч.рук. проф. Минуллин Р.Г.

В тезисе рассматривается влияние колебаний температуры проводов на затухание и оставание сигналов дистанционного зондирования ЛЭП, выполняется анализ корреляционного поля отставания локационных сигналов и температуры внешней среды.

**Ключевые слова:** высоковольтные линии, линии электропередач, дистанционное зондирование, отставание сигнала, паттерн.

В настоящее время регулярная проверка температуры линий электропередач является релевантной задачей, потому что стрела провеса напрямую зависит от колебаний температуры провода, а при превышении нормативного значения провисания ЛЭП могут возникнуть аварии. В связи с этим необходимо иметь информацию о температурных колебаниях проводов с целью досрочного определения аварийного режима эксплуатации воздушных линий электропередачи.

Одним из перспективных методов непрерывной диагностики состояния воздушных линий электропередачи является локационный метод, принцип которого заключается в отправке зондирующего сигнала в линию и его последующем приеме после отражения от неоднородностей волнового сопротивления ЛЭП.

Температурные колебания проводов зависят от двух факторов, таких как нагрузочные токи и погоды (изменение скорости ветра, солнечное излучение, температура внешней среды). Однако единственным оперативным управляющим воздействием по снижению температуры проводов может быть только снижение нагрузочных токов.

Нижеприведенное уравнение, позволяет определить влияние температуры провода на его длину и провес:

$$\frac{\sigma_n}{\gamma_n} \operatorname{sh} \frac{\gamma_n l}{2\sigma_n} = \frac{\sigma_m}{\gamma_m} \operatorname{sh} \frac{\gamma_m l}{2\sigma_m} \left[ 1 + \frac{\sigma_n - \sigma_m}{E} + \alpha(T_n - T_m) \right], \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжение в нижней точке провода,  $\gamma$  – нагрузка на провод,  $l$  – длина пролета,  $T$  – температура провода,  $\alpha$  – температурный коэффициент линейного удлинения,  $E$  – модуль упругости, индексом  $m$  отмечены переменные исходного режима, индексом  $n$  – режима расчета.

Зависимость длины  $L$  и стрелы провеса  $f$  провода в пролете длиной  $l_x$  от напряжения в нижней точке провода  $\sigma_0$  и нагрузки на провод  $\gamma$  имеет вид:

$$L = \frac{\sigma_0}{\gamma} \operatorname{sh} \left( \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \right); \quad (2)$$

$$f = \frac{\sigma_0}{\gamma} \left( \operatorname{ch} \left( \frac{\gamma l}{2\sigma_0} \right) - 1 \right). \quad (3)$$

При дистанционном зондировании ЛЭП происходит передача сигнала от передатчика к приемнику в виде электромагнитных волн, которые распространяются по длине провода. Через токи и напряжения в волновых составляющих (каждая имеет свой коэффициент распространения) можно представить токи и напряжения в линии, которая состоит из  $n$  проводов.

На рис. 1 приведены расчетные изменения геометрических параметров действующей ЛЭП 110 кВ (1–3) при изменении температуры от минимальной до максимальной температуры окружающей среды (от  $-40$  до  $40$  °С).

Метод дистанционного зондирования ЛЭП позволяет контролировать температурные колебания. [1-2]. Алгоритм действия представлен следующим образом: в линии электропередач посылается импульсивный сигнал, принимающийся приемником локационного устройства после отражения от неоднородностей волнового сопротивления линий электропередач. С помощью данных о скорости распределения сигналов по времени распространения мы можем определить длину пути распределения сигнала [4].

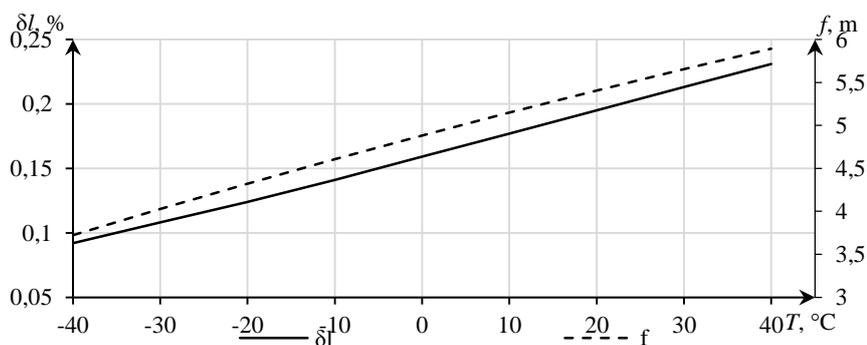


Рис. 1. Зависимость удлинения  $\delta l$  и стрелы провеса  $f$  провода от его температуры  $T$

Когда температура провода изменяется, то длина и провес провода тоже [3], из этого следует, что длины путей распределения сигналов можно определить по фактору времени распространения дистанционных (локационных) сигналов. На рис. 2 продемонстрировано взаимосвязанное (корреляционное) поле удельного запаздывания сигналов в действующей линии электропередач 110 кВ и температуры внешней среды.

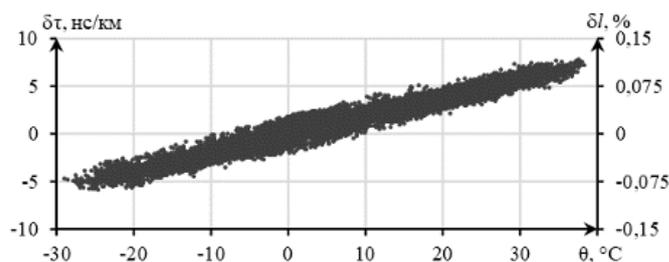


Рис. 2. Корреляционное поле удельного запаздывания  $\delta\tau$  локационных сигналов на действующей линии электропередач 110 кВ и температуры окружающей среды  $\theta$

Представленные значения условных (относительных) удлинений проводов, которые вызывают соответствующие удельные отставания дистанционных сигналов, отложены на правой вертикальной оси графика (рис. 2). При температуре внешней среды около  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдались минимальные экспериментальные значения удельных отставаний и являлись приблизительно  $-5\text{ нс/км}$ . При температуре  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдались максимальные значения  $-7,5\text{ нс/км}$ .

Анализ полученных результатов позволил определить коэффициент регрессии удельного удлинения провода от температуры внешней среды. Он составляет  $0,0029\text{ \%}/^{\circ}\text{C}$  (при  $R^2 = 0,95$ ). Но данный результат превышает приблизительно в полтора раза температурный коэффициент линейного удлинения провода и коэффициент пропорциональности между удлинением и температурой, получаемый при расчете состояния провода по (1, 2).

Следовательно, отставание локационных сигналов нельзя подробно и грамотно описать данными температурного удлинения провода при колебаниях температуры внешней среды. В связи с этим для проведения контроля температурных колебаний ЛЭП необходимо исследовать другие факторы (влияние стрелы провеса провода на изменение скорости распределения сигналов в линии электропередач и влияние нагрузочных токов, протекающих по ЛЭП) для теоретического описания или производить сбор экспериментальных данных для расчета коэффициента регрессии.

Работа реализована и выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-3279.2021.4.

### **Источники**

1. Минуллин Р.Г. Современные методы обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи. Часть 2. Локационный метод. / Р.Г. Минуллин, Э.Ю. Абдуллазянов, В.А. Касимов, М.Р. Яруллин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2013. – № 9–10. – С. 50–58.

2. Малышев А.В., Карнаух Л.В., Малышева М.А. Применение метода активного зондирования воздушных линий электропередачи в магистральных электрических сетях Юга // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – 2021. – С. 421-429.

3. Кессельман Л.М. Основы механики воздушных линий электропередачи. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 352 с.

4. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения – М.: Энергия, 1973. – 272 с.

УДК 624.07:534.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Сабиров И.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

irek\_sabir@mail.ru

Науч. рук. доц. Гавриленко А.Н.

Наиболее эффективными в предотвращении аварий высоковольтных силовых трансформаторов систем электроснабжения являются автоматизированные системы непрерывного мониторинга, использующие набор датчиков, реагирующих на

максимально возможное количество типов ошибок, возникающих в процессе эксплуатации. Представлен обзор современных систем автоматизированного контроля состояния силовых трансформаторов, используемых в электроэнергетике. Должны быть приняты во внимание основные существенные требования к экспертным системам непрерывного управления.

**Ключевые слова:** системы мониторинга, силовые трансформаторы, виды дефектов.

Во время эксплуатации в энергосистемах электрооборудование подвергается ряду внешних и внутренних электромагнитных и других эксплуатационных воздействий, а также непосредственно воздействует на окружающие объекты и саму окружающую среду. Для этого в наше время большое внимание уделяется созданию условий для нормальной безаварийной работы и эффективной работы электрооборудования [1]. Электрическими устройствами подходящее под это описание являются в первую очередь силовые трансформаторы. Силовые трансформаторы, хотя и являются очень надежными устройствами в эксплуатации из-за отсутствия вращающихся деталей, но поломки и аварии для них не редкость, что существенно влияет на электрические комплексы и системы управления, на надежность энергосистемы. Для определения истинного состояния можно использовать комплексное диагностическое обследование трансформаторов. Это позволяет оценить их реальные остаточные ресурсы, инвестировать в профилактику, ремонт и замену проблемного оборудования [2].

Перспективным средством идентификации и прогнозирования источника являются автоматизированные методы диагностики силовых трансформаторов, которые благодаря расширенному комплексу датчиков, охватывающих все его узлы и системы, позволяют обнаружить начало негативных процессов на ранней стадии. Использование автоматизированных методов диагностики силовых трансформаторов продлит срок службы силовых трансформаторов и поможет оперативному персоналу принимать своевременные решения на основе полноты полученной информации [3]. Основной целью автоматизированных систем непрерывного мониторинга является выявление дефектов на ранней стадии разработки, которые представляют опасность для трансформатора непосредственно во время эксплуатации. Автоматизированные системы управления используются уже давно. Существует множество работающих систем с частичным охватом проверяемых параметров, то есть со значительно ограниченным количеством обнаруживаемых типов ошибок.

Особенно эффективно внедрение экспертных систем принятия решений, основанных на знаниях высококвалифицированных специалистов. Чтобы одновременно повысить надежность оценки состояния трансфор-

матора, повышается эффективности действий персонала и облегчать их работу. Наконец, повышается надежность устройства, и в дальнейшем осуществляется переход к стратегии предотвращения в зависимости от фактического состояния трансформатора [4].

### **Источники**

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2013.
2. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2012.
3. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). С. Пб.: Энергоатомиздат, 2008. – 500 с. Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021.
4. Богомолов В.С., Касаткина Т.Е., Кустов С.С. Анализ причин повреждений и результаты обследования технического состояния трансформаторного оборудования // Вестник ВНИИЭ, 1997. – С.25-32.
5. Бадриев А.И. Анализ нормальности распределения потоков в башенных испарительных градирнях / А.И. Бадриев, С.М. Власов, Н.Д. Чичирова // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 1(49). – С. 232-241.

УДК 620.9

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Сагиров В.Р., Писковацкий Ю.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
vildan.2001.1@gmail.com, yura\_kazan@mail.ru

В статье представлен подход к определению возможности внедрения солнечных электростанций для обеспечения гарантированного снабжения потребителей 0,4 кВ на территории Республики Татарстан с применением специализированного программного комплекса. Произведен анализ распределения солнечной радиации, позволивший классифицировать районы Республики Татарстан по группам солнечной активности, определены места с наименьшим и наибольшим показателем солнечной радиации.

**Ключевые слова:** ВИЭ, солнечная энергия, солнечные панели.

Одним из перспективных технических решений по повышению эффективности электроснабжения сельскохозяйственных предприятий является установка возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на основе использования солнечных электростанций (СЭС), выполненных с приме-

нением фотоэлектрических установок (ФЭУ). По данным [1], в период с 2012 по 2021 годы установленная мощность СЭС во всем мире увеличилась в восемь раз и составила около 850 ГВт. Особенно интенсивно солнечная энергетика развивается в Азии, в которой доля установленной мощности СЭС достигла 57 %, а, в частности, в Китае - 36 %. Что касается России, то в 2022 году установленная мощность СЭС составила 1,96 ГВт [2] или 0,23 %.

Целью проводимых исследований является анализ распределения солнечной радиации (СР) на территории РТ, разработка классификации районов РТ по группам солнечной активности.

В качестве параметра для оценки потенциала внедрения ФЭУ использован показатель СР, поступающей на поверхность Земли. Необходимо отметить, что параметр СР зависит от состояния атмосферы, длительности солнечного дня, температуры воздуха и наличия облачности [3]. В [4] приведены значения коэффициентов полезного действия (КПД) ФЭУ в зависимости от степени освещенности их панелей.

Для составления карты показателей солнечной активности использованы результаты измерений [5] параметров СР за период с 1984 года по настоящее время. На основании анализа полученных результатов предлагается выделить три района РТ, в которых среднегодовое значение СР составляет от 2,90 до 3,30 кВт·ч/м<sup>2</sup> (рис. 1). Наиболее высокое значение СР наблюдается возле села Хансверкино Бавлинского района, расположенного на юге-востоке РТ, а самое низкое – возле деревни Новая Серда Арского района на северо-западе РТ.

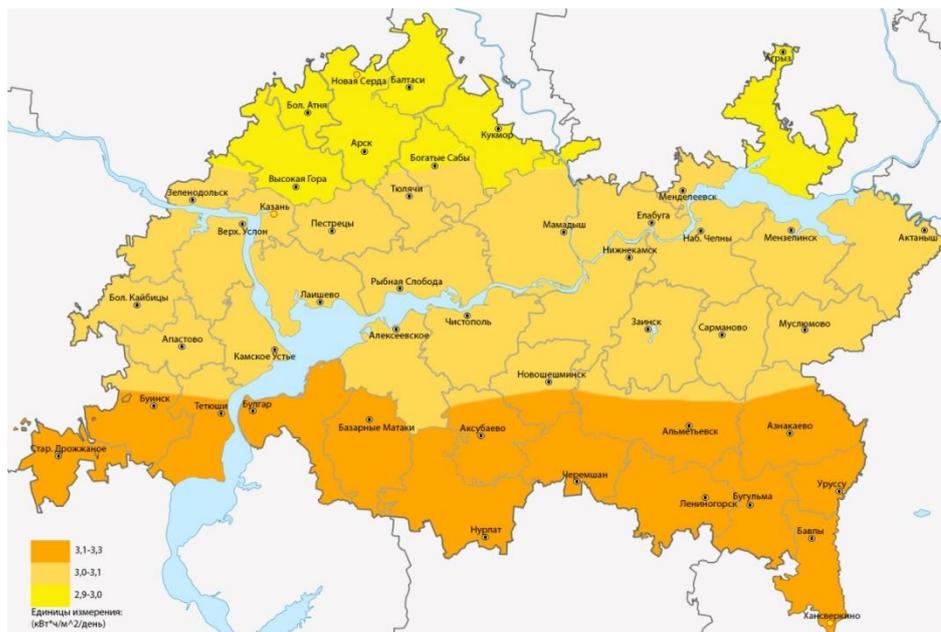


Рис. 1. Карта распределения солнечной радиации по РТ

Проведённый анализ интенсивности солнечной радиации в Республике Татарстан показал, что ее территорию целесообразно разделить на три района с изменением солнечной активности с изменением в диапазоне от 2,9 до 3,3 кВт·ч/м<sup>2</sup>. Изменяющийся показатель СР оказывает влияние на выбор оборудования и расчет его окупаемости, что будет рассмотрено в дальнейших работах.

### **Источники**

1. Renewable Capacity Statistics 2022 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> (дата обращения: 18.04.2022).

2. Информационный обзор «Единая энергетическая система России: промежуточные итоги» (оперативные данные), декабрь 2021 г. М.

3. Как зависит мощность солнечных панелей от температуры воздуха? [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://naukatehnika.com/kak-zavisit-moshnost-solnechnyh-panelej-ot-temperature-vozduha.html> (Дата обращения: 21.04.2022 г.).

4. Влияние препятствий солнечным лучам на выработку энергии солнечными панелями [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/techorient.htm>.

5. POWER Data Access Viewer (NASA) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/data-accessviewer/> (Дата обращения: 21.04.2022 г.).

УДК 621.314.212

## **ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА КАК РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРАВИЛЬНОСТИ РАСЧЕТОВ ЕГО ПОТЕРЬ**

Сагитов А.Р., Сабитов А.Х.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
zzz2208@mail.ru

В работе предпринимается попытка рассмотрения одного из путей решения проблемы правильности расчетов потерь силового масляного трансформатора с помощью реализации информационно-цифрового моделирования теплового режима ТМГ-400/10 в программе ANSYS.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, электроустановки, силовой трансформатор, цифровое моделирование, тепловой режим, расчет потерь.

В настоящее время ряд отечественных ученых, занимающихся исследованиями проблем эффективности эксплуатации электроэнергетического оборудования приходят к выводу, что стандартные методы выявления потерь мощности силовых масляных трансформаторов с учетом всех наблюдающихся, рассчитываемых и определяемых тепловых процессов требуют коррекции. Во многом возникновение тезисов данной направленности обусловлено тем, что имеющиеся и наиболее часто применяющиеся способы тепловых расчетов ориентированы по большому счету на поиск температур, достигающих в процессе эксплуатации трансформаторов максимального значения, в то время как с теоретической и практической стороны расчет потерь обозначенного электрооборудования может считаться наиболее корректным и достоверным при оперировании также осредненными и дополнительными температурными показателями [1].

С учетом упомянутого положения дел, предпринята попытка создания и рассмотрения информационно-цифровой модели силового масляного трансформатора, спроектированной на базе компьютерно-программного комплекса ANSYS. Обозначенная модель может представлять собой основу для разработки и реализации методов расчета энергетических трансформаторных потерь с учетом нагрева, поскольку позволяет определять значения средних температур обмоток за счет комплексного матмоделирования тепловых режимов.

В качестве примера рассмотрим модель ТМГ-400/10 при температуре окружающей среды – 22 градуса Цельсия, электрические характеристики которого представлены в таблице 1, а параметры бака и магнитопровода – в таблице 2. Параметры обмоток ВН и НН взяты из руководящих документов.

Распределение температуры в трансформаторе в тепловом режиме при стационарных условиях, полученное с помощью цифровой модели в ANSYS, показано на рисунках 1–3, а итоговые результаты моделирования сведены в таблицу 3.

Таблица 1

Электрические характеристики ТМГ-400/10

Первичное и вторичное напряжения, кВ	10/0,4
Напряжение КЗ, %	4,5
Ток холостого хода, %	0,5
Потери холостого хода, кВт	0,8
Потери КЗ, кВт	5,7

### Параметры бака и магнитопровода трансформатора

<b>Магнитопровод</b>	
Диаметр стержня, м	0,150
Диаметр канала м/у обмотками, м	0,215
Высота обмотки, м	0,844
Активное сечение стержня, м <sup>2</sup>	0,015
<b>Масляный бак</b>	
Ширина, м	0,382
Длина, м	0,905
Глубина, м	1,288

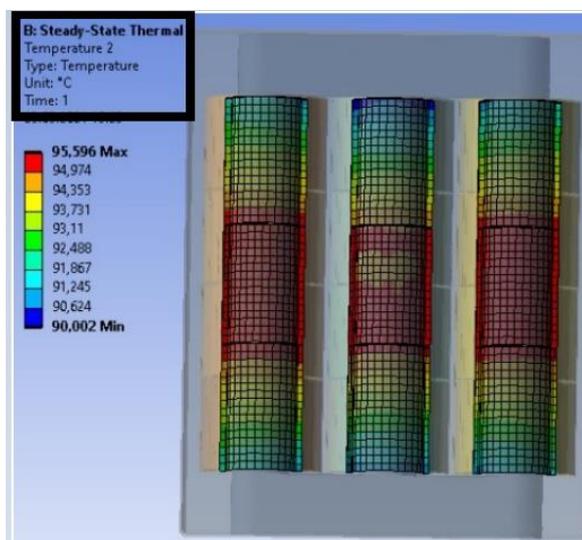


Рис. 1. Распределение температуры в области НН

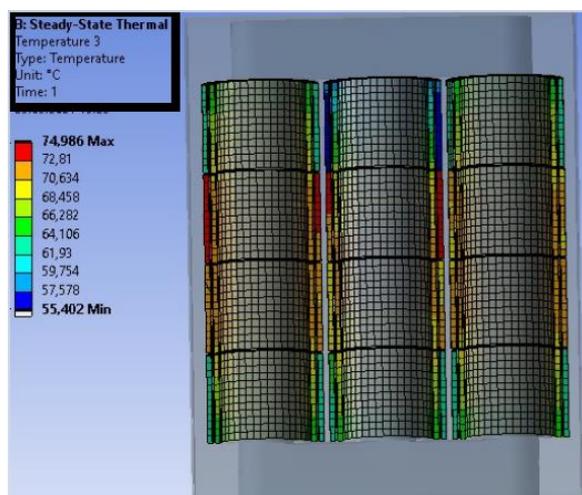


Рис. 2. Распределение температуры области ВН

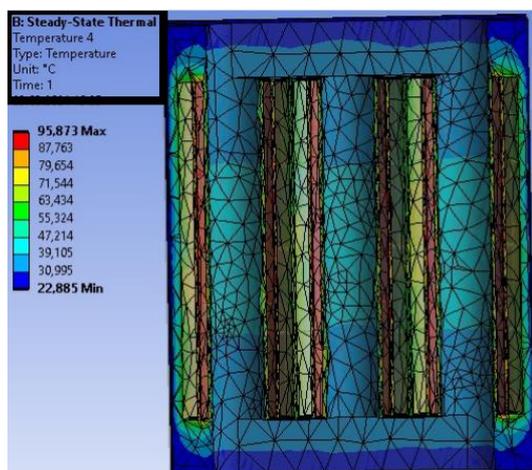


Рис. 3. Распределение температуры в масле трансформатора

Таблица 3

### Итоговые результаты моделирования

Средняя температура области ВН, °С	Средняя температура области НН, °С	Средняя температура масла в баке, °С	Наиболее нагретая точка, °С	Теплоотдача в области ВН, Вт/м <sup>2</sup>	Теплоотдача в области НН, Вт/м <sup>2</sup>
68,5	94,06	63,83	95, 60	790	3300

Самая нагретая точка располагается в области НН. Температура обмотки находится в пределах базового значения (98 градусов Цельсия), что указывает на достоверность полученных данных. Таким образом, предложенная информационно-цифровая модель ТМГ-400/10 позволяет не только определять максимальные значения температуры нагрева, но и его осредненные показатели, а также выявлять температуру различных структурных элементов трансформатора, температуру наполненного масла. Эти преимущества ANSYS открывают возможность реализации более детальной и полной проверки нагрузочной способности электромагнитного устройства, а также позволяют осуществлять более корректное и точное определение потерь активной мощности в нем.

### Источники

1. Кропотин В.О., Гришины С.С., Горюнов В.Н., Петрова Е.В., Троценко В.М., Шепелев А.О. Моделирование стационарного теплового режима масляного трансформатора // Актуальные вопросы энергетики. – 2021. – № 1. – С. 37-42.

2. Применение амплитудно-фазного анализа тока намагничивания для выявления повреждений трансформаторов тока / И.И. Литвинов, О.В. Танфильев, А.А. Марченко [и др.] // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 4 (48). – С. 94-106.

3. Воркунов О.В., Загрутдинов Р.Р. Диагностика технического состояния силовых трансформаторов напряжением 110 КВ // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты. Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2022. – С. 83-85.

УДК 621.311

## **АЛГОРИТМ СИНХРОНИЗАЦИИ ЭНЕРГОРАЙОНА С СЕТЬЮ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В ЦИКЛЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ЛЭП**

Сапцына Е.Ю., Абеуов Р.Б.  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск, Россия  
lizoksu@gmail.com, Abeuov\_rb@list.ru

В работе предложен алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле автоматического повторного включения (АПВ) линии электропередачи (ЛЭП). В основу алгоритма положен принцип управления по программным траекториям движения (ПТД) технических объектов. Разработанный алгоритм позволит повысить скорость и точность синхронизации энергорайонов с сетью энергосистемы (ЭС) в цикле АПВ питающих линий электропередачи.

**Ключевые слова:** синхронизация, автоматическое повторное включение, линия электропередачи, программные траектории движения.

Основу генерации удаленных энергорайонов, работающих параллельно с сетью ЭС, составляют объекты распределенной генерации. Связь энергорайонов с ЭС осуществляется по ЛЭП напряжением 6–110 кВ от центров питания районных распределительных сетей.

При возникновении короткого замыкания на одной из питающих ЛЭП в паузе АПВ часть генераторов электростанции энергорайона на определенное время выделяется на изолированный режим работы.

АПВ ЛЭП с двусторонним питанием имеет некоторые особенности, что определяется наличием напряжения по обоим концам линии и каждое отключение этой линии, вызванное коротким замыканием на ней, будет приводить к несинхронной работе разделившихся частей ЭС.

В настоящее время, для синхронизации разделившихся частей ЭС широкое применение нашли схемы АПВ с улавливанием и ожиданием синхронизма, позволяющие осуществлять включение при условии, когда напряжения по обоим концам отключившейся линии синхронны, или близки к синхронным, а угол между напряжениями не превышает определенного значения.

Однако эти схемы АПВ обладают рядом недостатков. Их применение, подразумевает задержку по времени, образующуюся при ожидании совпадения режимных параметров разделившихся частей ЭС, определяемых условиями синхронизации. Это обстоятельство может существенно затянуть время включения частей ЭС на параллельную работу, а допустимость приближенного совпадения режимных параметров не всегда обеспечивает требуемое качество переходного процесса [1].

Для решения данных задач необходима разработка устройства АПВ с контролем синхронизма, принципом работы которого станет не ожидание совпадения, а регулирование режимных параметров разделившихся частей ЭС, обеспечивающее их синхронное включение в цикле АПВ ЛЭП с высокой точностью. В процессе разработки подобного устройства возникают вопросы выбора способа и средства, а также разработки соответствующего алгоритма управления.

В рамках данных исследований, в качестве принципа автоматического управления, который положен в основу алгоритма управления процессом синхронизации энергорайона с сетью ЭС в цикле АПВ ЛЭП, принят принцип управления по ПТД. Суть принципа заключается в построении оптимальных траекторий изменения режимных параметров и в расчетах, обеспечивающих эти траектории управлений [2].

Данный принцип управления подробно описан в работах опубликованных ранее [2, 3], на его основе разработан алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле АПВ ЛЭП, см. рисунок 2.

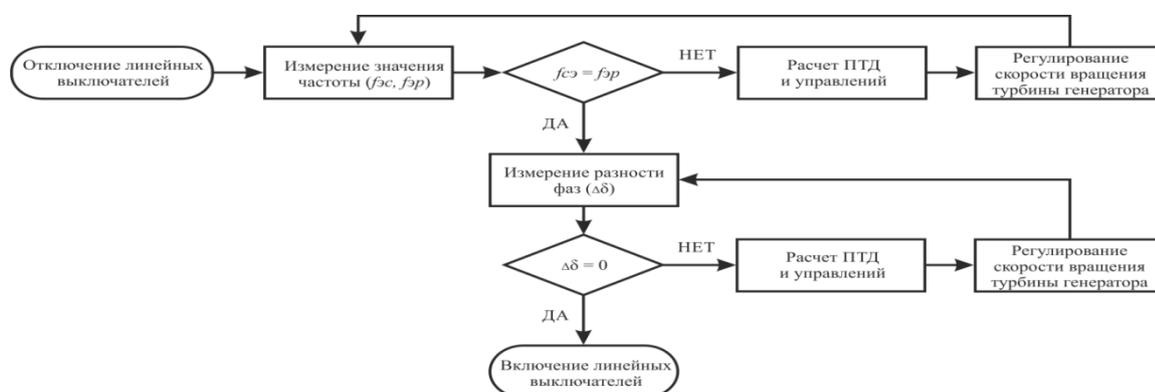


Рис. 2. Алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле АПВ ЛЭП

Действие алгоритма направлено на осуществление быстрого и точного включения энергорайона на параллельную работу с сетью энергосистемы в цикле АПВ ЛЭП. Исходными данными для реализации алгоритма являются непрерывно измеряемые параметры режимов энергорайона и энергосистемы. К таким параметрам относятся значения частот энергосистемы ( $f_{ЭС}$ ) и энергорайона ( $f_{ЭР}$ ), а также угол разности фаз ( $\Delta\delta$ ).

Началом работы алгоритма является сигнал о состоянии линейных выключателей, отключенных действием релейной защиты после возникновения короткого замыкания на ЛЭП. Условно действие алгоритма можно разделить на два этапа.

На первом этапе алгоритма осуществляется измерение и сравнение значений частот энергосистемы и энергорайона, а также, в случае их неравенства, регулирование  $f_{ЭР}$  в сторону сближения с  $f_{ЭС}$  путем управления по ПТД. На втором этапе алгоритма осуществляется измерение и сравнение разности фазовых углов между векторами напряжений энергосистемы и энергорайона, а также, при необходимости, их регулирование в сторону нулевого значения путем управления по ПТД. Окончанием действия алгоритма является повторное включение выключателей ЛЭП действием АПВ.

Представленный алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле АПВ ЛЭП с управлением по ПТД технических объектов позволяет обеспечить эффективное управление параметрами режима энергорайона, а также значительно сокращает время и повышает точность включения энергорайона на параллельную работу с сетью ЭС в цикле АПВ ЛЭП. Разработанный алгоритм может быть использован при создании современных устройств АПВ ЛЭП с контролем синхронизма.

### **Источники**

1. Абеуов Р. Б. Алгоритм синхронизации несинхронно работающих частей энергосистемы в паузе автоматического повторного включения // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы докл. Всерос. науч.-техн. конф. – Томск, 2007. – С. 5-7.

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

3. Абеуов Р.Б., Хрущёв Ю.В. Автоматическое управление процессом точной синхронизации генераторов с сетью по программным траекториям движения // Электричество. – 2009. – № 12. – С. 32-36.

## СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТЕРЬ В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Саттаров Р.Е., Фомин К.Д.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
dotov291299@gmail.com, kirill\_fomin\_99@inbox.ru

В работе рассмотрены особенности потерь электроэнергии в электроэнергетической сети. Предложены и проанализированы способы уменьшения потерь электрической энергии в воздушных электрических сетях.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, виды потерь, методы и способы снижения.

В современном мире производство и процесс передачи электроэнергии обусловлен сложным техническим процессом. Нужно отметить, что в процессе передачи не задействуются другие ресурсы и поэтому наблюдается такая проблема как потеря этой энергии, которая передаётся потребителю. И поэтому потребитель получает только часть поступаемой энергии из сети. Поставщик электроэнергии в свою очередь фиксирует разность между выработанной и полученной энергией – фактические потери [1].

Данный вид потерь можно разделить на:

- технологические потери – потери, возникающие во время передачи электроэнергии, уходящие в тепло. Наибольшие потери наблюдаются в зимнее время;
- погрешность системы учёта – зависимость от климатических условий и режимов работы сети;
- расход на собственные нужды – производится учёт электроэнергии, идущей на обеспечение технического функционирования энергообъекта. Приборы учёта устанавливаются на трансформаторы собственных нужд.
- коммерческие потери – такой вид потерь как: хищение электроэнергии. Для определения этих потерь выполняется математический расчёт, состоящий из разности отчетных потерь и суммы потерь, указанных выше.

Потери выше являются экономическим показателем, который допустим не более чем на 10 %. Иначе система считается неэффективной, но данный показатель условный, так как зависит от особенностей построения энергетической сети.

Именно поэтому предложено использовать следующие методы:

1. усовершенствование электрооборудования;
2. целесообразный подбор трансформаторов;
3. квалифицированный диспетчерский персонал;
4. рациональный подбор кабелей при проектировании;
5. снижение времени обслуживания;
6. периодический осмотр воздушных линий с использованием лётной техники – вертолёт.

Отмечено, что потери можно сократить на этапе проектирования линий электропередач. Например, можно эффективно использовать расстояние передачи электроэнергии и напряжение, подходящее к данному расстоянию. Как вариант можно конвертировать поступающую электроэнергию в конечный пункт на 6-10 кВ, а для передачи потребителю преобразовать в 0,4 кВ [2].

Для борьбы с коммерческими потерями нужно применять предложенные методы:

- использование приборов только с классом точности не ниже 0,5;
- использование автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии, таких как АСКУЭ. Данная система исключает возможность воровства и занижения показаний счётчиков электроэнергии;
- периодический обход сотрудниками обслуживающих компаний, в частности ЖКХ «подозрительных» потребителей, а также пунктов, где зафиксированы большие коммерческие потери;
- внедрение технологий, которые определяют недоучёт электроэнергии.

На высоковольтных энергетических сетях в основном наблюдаются потери электроэнергии из-за износа оборудования, арматуры, нарушения целостности токоведущих частей и др. (Рис. 1).

Наиболее распространёнными потерями являются: передача по ВЛ (64 %) и эффект коронных разрядов (17 %). По анализу статистики можно сделать вывод, что наибольший процент нецелевых расходов приходится на технологический фактор.

В итоге можно сказать, что в энергетической отрасли разработано и внедрено достаточное количество мер по снижению потерь электроэнергии на всех участках электроэнергетической сети. Энергетические компании Российской Федерации активно внедряют системы АСКУЭ и своевременно ремонтируют и обслуживают энергетические сети.

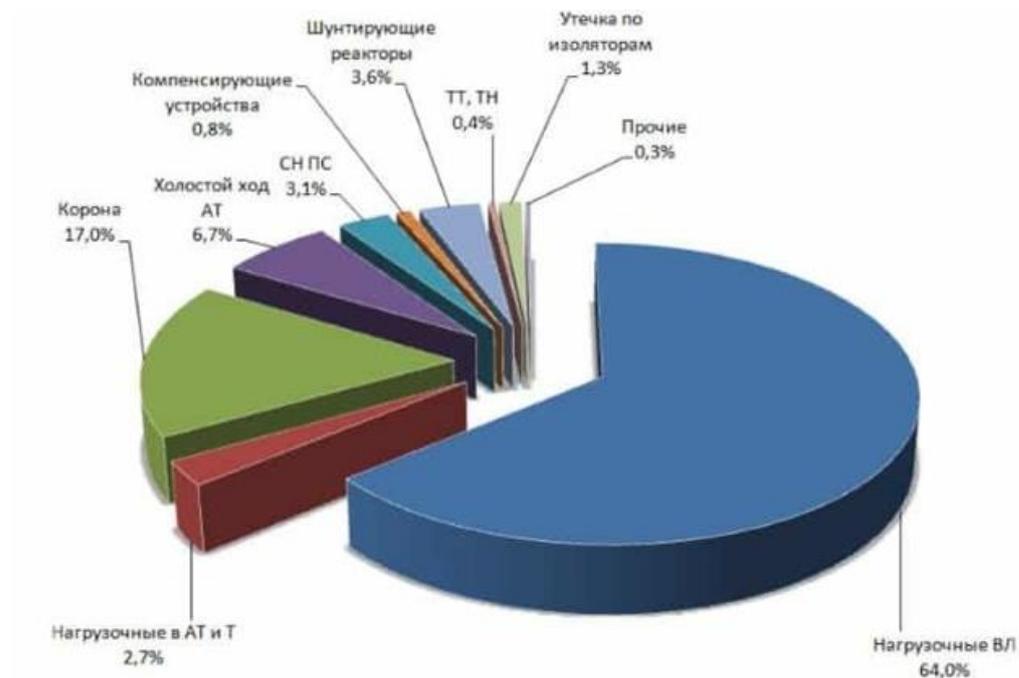


Рис.1. Статистика потерь генерирующей компании

## Источники

1. Пучков Н.М., Нехороших И.Н. Причины и способы сокращения электроэнергетических потерь в распределительных сетях // Будущее науки-2021: сборник научных статей 9-й Международной молодежной научной конференции: в 6 т., Курск, 2021. – С. 139-142.

2. Газе Д.Д., Федоряка Л.И. Технологическая модернизация ЕНЭС России для снижения электрических потерь // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей IX Всероссийской научно-практической конференции. – Пенза: "Наука и Просвещение", 2020.

3. Качанов А.Н., Чернышов В.А., Мешков Б.Н., Гарифуллин М.Ш., Печагин Е.А. Повышение эффективности функционирования воздушных электрических сетей 6-10 кВ с изолированной нейтралью при однофазных повреждениях изоляции // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2021. – № 1(63). – С. 80-94. – DOI 10.53015/18159958\_2021\_1\_80.

4. Качанов А.Н., Чернышов В.А., Мешков Б.Н., Гарифуллин М.Ш., Печагин Е.А. Повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 10 КВ при возникновении однофазных замыканий на землю // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 24-29.

## ОБРАТНАЯ СВЕРТКА КАК СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИСТИННОЙ ФОРМЫ ВХОДНОГО СИГНАЛА, ПОСТУПАЮЩЕГО НА RC-ФИЛЬТР

Смирнов Д.А., Хузяшев Р.Г.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
99daniil1999@mail.ru, 142892@mail.ru

В статье предложен алгоритм вычисления деконволюции сигналов RC-фильтра на базе обратного Фурье-преобразования. Представлены результаты восстановленных входных сигналов.

**Ключевые слова:** конволюция, деконволюция, обратное Фурье-преобразование, дифференцирующий RC-фильтр, переходная характеристика.

Деконволюция (deconvolution) или «обратная свертка» – способ восстановления начальной формы сигнала после его свертки с переходной характеристикой измерительной системы или каналом передачи сообщения. [1]. Данный метод получил широкое применение в геологии и геофизике, в частности в сейсморазведке при поиске нефтяных и газовых месторождений в тонкослоистых геологических средах [2–3]. Однако в электроэнергетике для обработки цифровых сигналов, полученных с разного рода аппаратных комплексов, установленных на подстанциях или ЛЭП, деконволюция практически не используется. Подробная информация об исходном сигнале на аппаратном комплексе после различного рода аварийных коммутаций в электрической системе позволит точнее диагностировать место и тип повреждения, уменьшив тем самым затраты на поиск и устранение аварии.

### 1. Дифференцирующий RC-фильтр

Так как в электрической сети коммутационные сигналы распространяются с частотой во много раз большей производственной ( $>1$  кГц), то для их отделения от общего спектра сигнала используют фильтры высоких частот. Те, в свою очередь, обладают переходной функцией.  $h(t)$  – это переходная характеристика, которая описывается реакцией этой цепи при нулевых начальных условиях на единичное импульсное возмущение. В момент поступления входного сигнала на фильтр происходит конволюция (свертка) двух функций: функция входного сигнала и функция переходной характеристики.

$$u(t) = U(0) \cdot h(t) + \int_0^t U'(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $U(t) = 10 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 20 \cdot t)$  – функция входного сигнала и  $u(t)$  – функция выходного сигнала,  $h(t) = e^{-\frac{t}{RC}}$  – переходная характеристика дифференцирующего RC-фильтра,  $\tau$  – временной сдвиг.

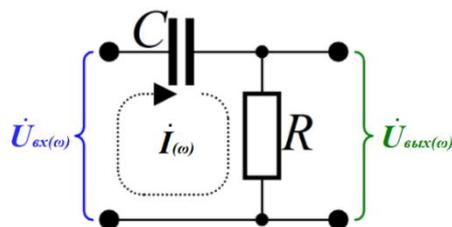


Рис. 1. Дифференцирующий RC-фильтр, где  $R = 100 \text{ Ом}$ ;  $C = 1 \text{ мкФ}$

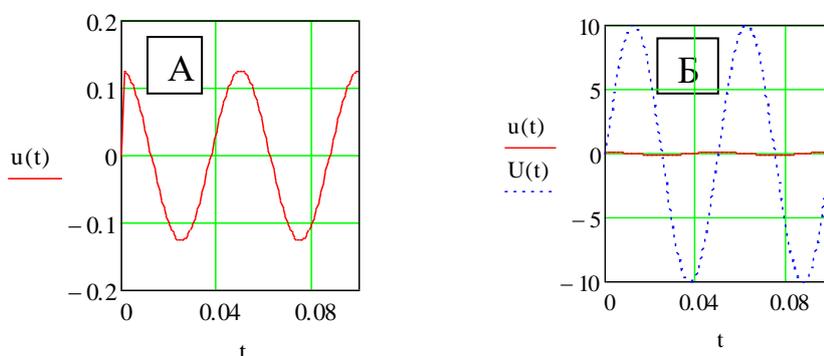


Рис. 2. Графики напряжения в Mathcad на RC-фильтре (А – выходной сигнал, Б – сравнение входного и выходного сигналов)

## 2. Алгоритм деконволюции

Деконволюция определяется как обратное Фурье-преобразование отношения Фурье-образа сигнала на выходе с фильтра к Фурье-образу переходной характеристики фильтра.

$$F[U(t) \cdot h(t)] = F[u(t)] \cdot F[h(t)], \quad (2)$$

где  $F[ ]$  – Фурье-преобразование.

Отсюда

$$U(t) = F^{-1} \left[ \frac{F[u(t) \cdot h(t)]}{F[h(t)]} \right], \quad (3)$$

где  $F^{-1}[ ]$  – обратное Фурье-преобразование.

Все Фурье-преобразования реализованы с помощью БПФ, который установлен в Excel. Отсюда возникает условие на количество отсчетов

(должно быть кратно  $2^n$ ). Импортируем из Mathcad в Excel значения сигналов и производим прямое и обратное Фурье-преобразования. Заметим, что в формуле (1) для обозначения «запаздывания» выходного сигнала применяется производная от функции входного сигнала. Поэтому результат обратного Фурье-преобразования необходимо проинтегрировать.

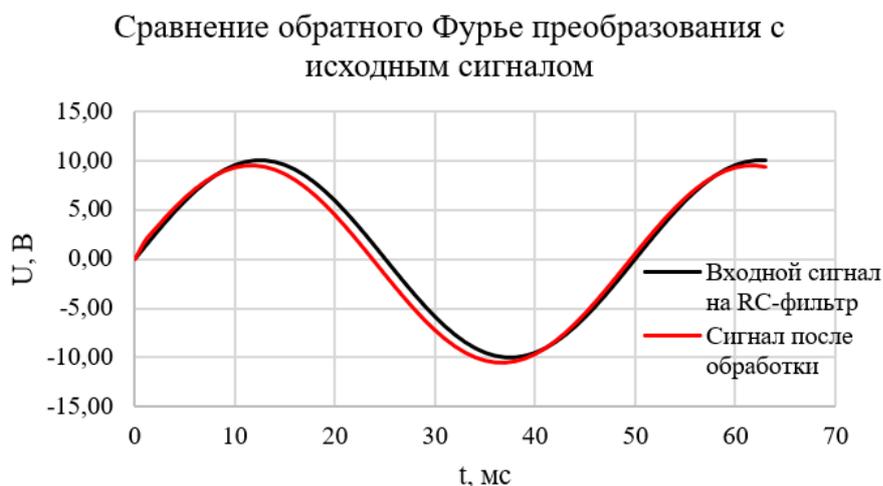


Рис. 3. Результат деконволюции

Проведенное в работе исследование показало достаточно точный результат нахождения деконволюции (см. рис. 3) (коэффициент корреляции сигналов составляет  $\rho = 0,9944$ ), что говорит о разумности применения данного метода. Следующим шагом будет исследование более сложных сигналов.

### Источники

1. Обратная свёртка [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=368773&oldid=124199625> (дата обращения: 20.07.2022).
2. Mohamed Mhmod, Feng Xuan, Xu Cong. Parameters effects on spiking deconvolution of land seismic data. *Global Geology*, 2015, vol. 18 (4), pp. 226–231.
3. Кочегуров Александр Иванович, Кочегурова Елена Алексеевна, Ильясова Ильмира Эльмировна, Герингер Виктор, Рейф Конрад Фазочастотная деконволюция сейсмических волн // *Известия ТПУ*. 2017. №12. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fazochastotnaya-dekonvolyutsiya-seysmicheskikh-voln> (дата обращения: 02.10.2022).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДЕГРАДАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ПО ТОКУ НА ФОТОДИОДЕ

Суханова С.П., Валиуллина Д.М.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
sveta.sukhanova.99@mail.ru

В данном тезисе приводится способ определения степени старения изоляционного масла по току на фотодиоде датчика, измеренному в процессе освещения кюветки с маслом узконаправленным светом.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, кюветка с маслом, кислотное число, фотодиод, фотолюминесценция, спектроскопия.

Оценка состояния изоляционного масла имеет решающее значение для надежной длительной эксплуатации энергетического оборудования, особенно силовых трансформаторов.

Старение силовых трансформаторов в полевых условиях зависит главным образом от условий нагрузки. При нормальной эксплуатации силовых трансформаторов они подвергаются термическим нагрузкам. Эти напряжения в основном возникают из-за потерь меди в обмотках или потерь железа в сердечнике. Термические нагрузки ускоряют процессы окисления в трансформаторном масле, вызывая разложение масла и образование побочных продуктов старения, таких как влага, растворенные газы, кислоты и осадок. Эти продукты оказывают различное неблагоприятное воздействие на свойства трансформаторного масла, включая физические, химические и электрические свойства. Поэтому оценка состояния трансформаторного масла имеет жизненно важное значение.

Мониторинг состояния трансформаторов, как правило, связан с оценкой старения и износа их компонентов, особенно деградации и загрязнения внутренней системы изоляции. Традиционный мониторинг состояния трансформаторного масла включает испытания масла, которые проводятся для оценки некоторых свойств трансформаторного масла с целью определения степени старения трансформаторов. Однако эти тесты требуют дорогостоящего оборудования, специальных знаний для отбора проб и тестирования, а также сложных процедур. Анализ растворенных газов был предложен в качестве широко используемого метода для контроля состояния трансформаторов. Это зависит от измерения концентраций растворенных газов, образующихся в трансформа-

торном масле, и соотношения этих концентраций с различными возникающими неисправностями. Анализ растворенных газов успешно используется для диагностики неисправностей. Однако он не может оценить состояние старения трансформаторного масла.

В качестве альтернативы были предложены методы оптической спектроскопии для оценки состояния трансформаторного масла. Это неразрушающие методы, которые можно применять онлайн.

Соответственно, в этой статье мы предлагаем использовать фотолюминесцентную спектроскопию для эффективной оценки состояния изоляционного масла в силовых трансформаторах. Этот метод широко используется в измерениях твердотельной спектроскопии и хорошо известен своей технической простотой и способностью обеспечивать быстрый однократный спектр на месте. Он также предоставляет богатую информацию об оптических переходах между термализованными энергетическими состояниями. Помимо технической простоты и более низкой стоимости ФЛ- спектроскопии по сравнению с УФ-видимой абсорбционной спектроскопией, метод ФЛ включает процессы эмиссии, которые происходят только между узкой полосой электронных состояний, занятых термализованными электронами.

**Результаты опыта и их обсуждение.** Для проведения исследований нами были взяты трансформаторные масла разных марок, с разными значениями кислотного числа и различной степенью деградации. После освещения указанных в таблице 1 узконаправленным светом, с использованием датчика фотодиода мы получили следующие значения фототока, которые так же представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ пробы	Кислотное число	Ток на выходе из кюветки
1	2	3
10	0,00421	1,025321
75	0,0152	1,03093
Буй 1Т	0,0191	1
1	0,021701	0,93671
Буй 2Т	0,0253	0,9875
73	0,03212	0,90752
5	0,037211	0,898731
0	0,04912	0,89114

1	2	3
3	0,0539	0,921522
71	0,0841	0,843041
4	0,10372	0,853853
72	0,10812	0,779751
74	0,11331	0,794871
76	0,14122	0,759492
2	0,17783	0,784811

Согласно этой таблицы, мы видим, что с возрастанием тока, полученного на фотодиоде, кислотное число масла уменьшается, что свидетельствует о малой степени деградации трансформаторного масла.

Таким образом, из всего вышеизложенного следует, что по полученным на датчике значениям тока определить кислотное число изоляционного масла, значение которого необходимо для принятия решения о дальнейшей эксплуатации масла, либо его замене.

### Источники

1. Юсупов Д.Т. Влияние механических примесей на эксплуатационные характеристики трансформаторного масла // Молодой ученый. 2019. № 22 (260). – С. 144-146. (дата обращения: 14.09.2022).

2. Ризванова Г.И., Гафиятуллин Л.Г., Гарифуллин М.Ш., Козлов В.К., Туранов А.Н. Особенности старения трансформаторного масла в реальных условиях эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015г., №9-10. – С. 91-94.

3. Козлов В.К. Валиуллина, М.Ш. Гарифуллин. Исследование зависимости коэффициента пропускания и цвета изоляционных масел от их кислотного числа // Материалы докл. IV Междунар. Молодежной школы-семинар БИКАМП03. СПб., 2003г. – С. 309–313.

4. Гарифуллин М.Ш., Оценка диагностической ценности показателей качества изоляционного масла для систем мониторинга состояния трансформаторов // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2013. – № 6. – С. 131–134.

5. Abdelrahman M. Alshehawy, Diao-Eldin A. Mansour, Mohsen Ghali, Matti Lehtonen and Mohamed M.F. Photoluminescence spectroscopy

measurements for effective condition assessment of transformer insulating oil» [https://www.researchgate.net/publication/351057991\\_Photoluminescence\\_Spectroscopy\\_Measurements\\_for\\_Effective\\_Condition\\_Assessment\\_of\\_Transformer\\_Insulating\\_Oil](https://www.researchgate.net/publication/351057991_Photoluminescence_Spectroscopy_Measurements_for_Effective_Condition_Assessment_of_Transformer_Insulating_Oil) [дата обращения 28.05.2022].

6. Козлов В.К., Валиуллина Д.М., Туранова О.А., Туранов А.Н. Механизмы деградации трансформаторных масел // Электрические станции. – 2022. – № 2(1087). – С. 41-44.

7. Иксанова Э.Р., Валиуллина Д.М., Козлов В.К. Диагностика трансформаторного масла по тангенсу угла диэлектрических потерь // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2022. – С. 133-137.

УДК 621.311.338

## **ВНЕДРЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ: ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

Тошходжаева М.И., Расулов Х.И.

ХПИТТУ имени академика М.С. Осими, г. Худжанд, Таджикистан

shukrona14\_01\_2011@mail.ru

В статье рассмотрены аспекты применения систем распределенной генерации, изложены основные особенности централизованной и децентрализованной системы электроснабжения, определены факторы строительства гидравлических электростанций: экономические, экологические, геологические. Выявлены сегменты функционального и территориального назначения централизованной системы электроснабжения. Определены недостатки централизованной системы электроснабжения такие как потери электрической энергии, распределительной сети, потери напряжения у потребителей электроэнергии. Определены условия выбора мощности генерирующих источников. Выявлены экономические аспекты перехода от централизованной к децентрализованной системы электроснабжения: сложность управления всей энергосистемой, необходимость постоянного поддержания баланса мощности между потребителем и источником, условия использования резервных генераторов. Приведена принципиальная схема подключения системы распределенной генерации. Описана развитие технологий систем распределенной генерации. Приведен зарубежный опыт решения проблемы внедрения систем распределенной генерации с экономической точки зрения. Изложены основные принципы внедрения систем распределенной генерации.

**Ключевые слова:** энергосистема, экономические аспекты, распределенная генерация, централизованное электроснабжение, стимулирование, инвестиция.

В настоящее время электроэнергетическая система, требует изменения, которые обусловлены переходом от централизованной системы электроснабжения к децентрализованной. В настоящее время основная часть электроэнергии производится централизованно, в основном на гидроэлектростанциях. Благодаря “эффекту масштаба” централизованная система электроснабжения является экономически целесообразной и транспортируется на большие расстояния. Место строительства гидроэлектростанций обусловлено следующими факторами: экономическими, экологическими, географическими, геологическими, требованиями охраны окружающей среды и безопасности. Следовательно, в централизованной энергетике по территориальному расположению по функциональному назначению выделяются четыре сегмента:

- центры производства электрической энергии;
- линии электропередачи больших мощностей;
- зоны потребления электрической энергии;
- местные распределительные сети.

Такой подход в настоящее время имеет ряд недостатков: значительные потери электроэнергии, активной и реактивной мощности в распределительной сети, потери напряжения у потребителей электроэнергии и т. д.

Для смягчения выше изложенных факторов, целесообразно внедрить систем распределенной генерации, которая подразумевает строительство дополнительных источников электроэнергии по близости от потребителей электроэнергии. Мощность генерирующих источников выбирается, исходя из ожидаемой мощности потребителя с учётом имеющихся ограничений (технологических, правовых, экологических и т. д.) и может варьироваться в широких пределах (от двух-трех до сотен киловатт). При этом потребитель не отключается от общей сети электроснабжения. В системе «потребитель – местный источник энергии» имеет место дисбаланс между производством и потреблением энергии или между потребностью в её видах, например:

- мощность солнечных батарей и ветрогенераторов изменяется в зависимости от погодных условий, а потребление электроэнергии от погоды может не зависеть или изменяться в обратную сторону.

- в зимнее время потребление электроэнергии остается постоянно высоким, а потребление электроэнергии изменяется по времени суток.

Подключения к общей электрической сети источников генерации позволяет компенсировать недостаток электроэнергии за счет её потребления от общей сети, а в случае избыточного производства электроэнергии

собственным источником – выдавать её в сеть, с получением соответствующего дохода, который позволяет:

- снизить потери электроэнергии при передаче из-за максимального приближения генераторов к потребителям электроэнергии, вплоть до расположения их в одном здании;

- уменьшить число, длину и необходимую пропускную способность магистральных линий;

- смягчить последствия аварий на центральных электростанциях и главных линиях электропередачи за счет собственных источников энергии;

- обеспечить взаимное резервирование электрогенерирующих мощностей;

- снизить воздействие на окружающую среду за счет применения средств альтернативной энергетики;

- принимать участие в управлении спросом на электроэнергию.

Полный переход от мощных центральных электростанций и окончательная децентрализация электрогенерации в настоящее время невозможна как по экономическим соображениям, так и в связи со сложностью управления множеством объектов и их технического обслуживания, необходимостью постоянного поддержания баланса генерации и потребления, необходимостью наличия резервных мощностей.

Устройства распределённой генерации могут использоваться для обеспечения критических нагрузок качественной энергией, изолируя их от возмущений, возникающих в сети. Устройства распределённой генерации могут также использоваться в качестве резервных генераторов для обеспечения питания критических нагрузок при длительных отключениях энергоснабжения. Кроме того, они могут применяться для управления нагрузкой с целью снижения пикового потребления. Принципиальная схема подключения РГ приведена на рисунке 1.

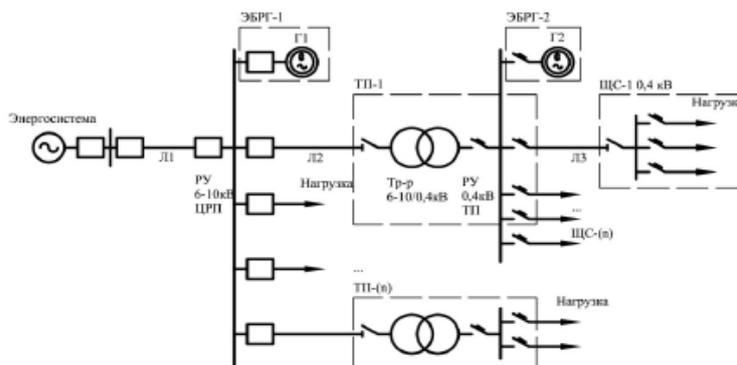


Рис. 1. Принципиальная схема подключения РГ

В настоящее время преобладающей технологией распределённой генерации являются поршневые машины, но по мере развития технического прогресса становятся более привлекательными другие технологии, в частности, микротурбины и топливные элементы которые приведены в таблице 1.

Таблица 1

Развитие технологий распределённой генерации

Поршневые машины		Микротурбины	Топливные элементы
Период времени	продолжают использоваться	начинают внедряться	с 2000-х
Применение	аварийное/резервное питание	ограничение пиков нагрузки и качество электроэнергии	основное питание и качество электроэнергии
Экономические факторы	300 – 600 \$/кВт Кпд – 33-45% утилизация – менее 5% 15–30 центов/кВт·ч	750 \$/кВт Кпд – 20-30% утилизация ~ 20% 10-15 центов/кВт·ч	1000* – 4000 \$/кВт Кпд – 45-60% утилизация – более 80% 5*центов/кВт·ч * прогнозируется

Если устройства распределённой генерации должны использоваться в качестве резервного питания, для питания нагрузки в период времени между нарушением питания и запуском аварийного генератора должно использоваться устройство аккумулирования энергии.

Необходимость изменений в развитии энергетики в Республике Таджикистан вызвана совокупностью проблем и вызовов в отрасли, связанных, с одной стороны, с постоянно растущим уровнем и характером требований к результатам деятельности отрасли всех заинтересованных сторон, а с другой – внутренними проблемами функционирования энергетики, к которым в первую очередь относятся:

- снижение эффективности, темпов развития и надежности энергетики за счет высокого уровня износа оборудования и, как следствие, снижения общего уровня надежности электроснабжения потребителей, низкой энергоэффективности существующих технологий, применяемых в значительной части электростанций и электрических сетей, высокого уровня потерь при передаче и распределении электрической энергии.

- постоянный рост стоимости электроэнергии в последние 20 лет при отсутствии должного изменения качества электроснабжения;

- «уход» потребителей из централизованной генерации в распределённые системы, и как следствие, – изменение их роли и требований к энергетике;

– неразвитость (фактически отсутствие) рыночных отношений на розничном уровне и др.

Поиски решения вышеупомянутого спектра проблем (зарубежные страны имели от пяти до десяти лет назад во многом схожий) обусловили появление и быстрое развитие целого набора вызовов (драйверов):

– масштабное развитие распределенной генерации – научно-технический прогресс сравнивал по эффективности малую и крупную генерацию, что определило развитие конкуренции между крупной и малой генерацией;

– развитие новых продуктов и услуг обуславливают необходимость появления новых рынков, механизмов и сервисов в энергетике, в первую очередь «интернета вещей» - энергообеспечение гаджетов, сенсоров, датчиков;

– вовлечение потребителей в процесс купли-продажи электроэнергии и предоставление потребителям права выбора поставщиков меняет устоявшуюся систему взаимоотношений в отрасли и принципиально меняет роль и место потребителя;

– постоянный рост требований к качеству и надежности процессам энергоснабжения потребителей и функционирования энергосистемы на основе перехода от системно-ориентированного подхода (system-based approach – англ.) к обеспечению этих свойств к клиенто-ориентированному (user (customer-based –англ.), новые требования к качеству и надёжности со стороны цифрового спроса, а также поддержанию различных уровней надежности и качества электроэнергии в различных ценовых сегментах и поддержанию различных уровней надежности и качества электроэнергии в различных ценовых сегментах.

Таким образом, с экономической точки зрения для внедрения систем распределенной генерации выполнения следующих основных условий: принятие национальной стратегии в области возобновляемых источников энергии и распределенной генерации (постановка цели и задачи); принятие нормативно-правовой и законодательной базы (установление структуры и правил деятельности на рынке); повышение добросовестности и прозрачности конкуренции со стороны традиционной энергетики; обеспечение роста инвестиций.

## **Источники**

1. Barker P. Overvoltage considerations in applying distributed resources on power systems/ P. Barker //IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. – IEEE, 2002. – Т. 1. – С.109-114.

2. Cossent R., Gómez T., Frías P. Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready? Regulatory recommendations under a European perspective //Energy Policy. – 2009. – Т. 37. – №. 3. – С. 1145-1155.

3. Hernandez J. A., Velasco D., Trujillo C. L. Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia //Renewable and sustainable energy reviews. – 2011. – Т. 15. – №. 5. – С. 2290-2298.

4. Stewart J. R., High phase order transmission-a feasibility analysis part II- overvoltage's and insulation requirements/ J.R. Stewart, D.D. Wilson //IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1978. – №. 6. – С. 2308-2317.

5. Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Кокин С.Е., Паздерин А.В. Научные проблемы распределенной генерации //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – №. 11-12. – С. 126-133.

6. Ратнер С.В. Управление качеством энергоснабжения в энергосистемах со смешанным типом генерации: организационно-экономические аспекты // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2016. – №. 19 (301).

УДК 621.321

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Третьякова Е.В.<sup>1</sup>, Маклецов А. М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

<sup>2</sup>АО «РусГидро Снабжение», г. Чайковский, Россия

jaqmevans@gmail.com

В рамках тезиса предложен один из вариантов решения проблемы дефицита денежных средств при дорогостоящем технологическом перевооружении распределительных устройств основного и вспомогательного оборудования предприятий.

**Ключевые слова:** распределительные устройства (далее – РУ), электрооборудование, производственная программа (далее – ПП), технологическое перевооружение

Технологическое перевооружение ОРУ на комплектное распределительное устройство элегазовое (далее - КРУЭ) или обычная замена оборудования на элегазовое/вакуумное, включая исследовательские работы является дорогостоящим мероприятием. Основной проблемой

компаний является дефицит денежных средств. Основопологающим принципом современных подходов к реконструкции распределительных устройств является заблаговременное планирование технического перевооружения или модернизации.

Важными основными задачами является – обеспечение стабильности единой энергосистемы и своевременное обеспечение потребителей электроэнергией. Повышение эффективности производства и потребления электроэнергии. Минимизация рисков недоработки электрической энергии и невыполнение заданий по рабочей мощности предприятия в результате отказа распределительного устройства. Снижение стоимости эксплуатации РУ, увеличение межремонтного периода и снижения стоимости проведения регламентных и ремонтных работ, благодаря вводу в эксплуатацию современного высокотехнологического оборудования с увеличением межремонтным периодом [1].

Данные показатели возможно достичь за счет проведения реконструкции устаревшего оборудования на новое вовремя, согласно сроку службы и износа оборудования. Проведение комплексной реконструкции с одновременной заменой как первичного электротехнического оборудования распределительных устройств, так и вторичных устройств защиты и автоматики. Замена устаревшего основного оборудования предприятий зачастую влечет увеличение производимой мощности, из чего следует еще одно обоснование для модернизации РУ. Правильный подход к своевременному планированию технологических мероприятий по любому виду воздействий на оборудование, в том числе проведение научно-исследовательских работ (далее – НИР) для дальнейшего перспективного развития предприятия является решением проблемы в денежном эквиваленте.

Одним из вариантов решения формирования плана мероприятий – производственной программы предлагают Digital Design - Ведущий разработчик программного обеспечения для бизнеса и государственных органов.

Так, на примере компании ПАО «РусГидро» Digital Design предлагают решение в виде модуля сводного планирования производственных программ, целями проекта которого являются [2]:

- сокращение трудозатрат на обработку необходимых объемов данных;
- обеспечение своевременного предоставления детальных обоснований и пояснений внешним организациям (министерство энергетики, АО «Системный оператор», Ростехнадзор);

- ускорение процесса консолидации сводной производственной программы компании на основе программ филиалов;
- обеспечение возможности планирования на весь жизненный цикл активов с учетом всех требований, ограничений и данных об оборудовании.

Именно обеспечение возможности планирования на полный жизненный цикл всех активов является решением денежного дефицита технологического перевооружения компании по всем Филиалам. Благодаря, своевременному планированию НИР, технологическое перевооружение, реконструкции и развития (далее – ТПиР) по замене ОРУ на КРУЭ является достижимым.

В ходе реализации проекта необходимо более глубокое погружение специалистов – разработчиков и инженеров – в производственные и бизнес-процессы организации, работу оборудования, систем. В ходе внедрения проекта модуля сводного планирования производственных программ на примере компании ПАО «РусГидро», были достигнуты следующие показатели:

- сокращение временных затрат в аналогичных проектах до 1,5 раз;
- снижение производственных потерь за счет приоритезации мероприятий до 7-8 %;
- сокращение простоя оборудования на 3-7,7 %;
- повышение уровня надежности и безопасности эксплуатации за счёт учёта при планировании данных о состоянии оборудования и рисков отказа.

Сводное планирование мероприятий помогает заблаговременно сформировать бюджет, программу закупок, инвестиционную программу, бизнес-план и многое другое. Выше представленные показатели подтверждают благоприятную эффективность заблаговременного планирования мероприятий, в том числе и облегчение проведения дальнейших технических перевооружений РУ всех Филиалов предприятия. Данный модуль сводного планирования применим к любым предприятиям любой выработки электроэнергетической и другой продукции.

### **Источники**

1. ПАО «РусГидро» - «Воткинская ГЭС». На Воткинской ГЭС поставлено под напряжение КРУЭ-500 кВ. [Электронный ресурс]: – URL: <http://www.votges.rushydro.ru/press/news/90839.html> (дата обращения 18.09.2022)

2. Digital Design Модуль сводного планирования производственных программ [Электронный ресурс]: – URL: <https://digdes.ru/project/pao-rusgidro-modul-svodnogo-planirovaniya-proizvodstvennyh-programm> (дата обращения 18.09.2022).

3. Зацаринная Ю.Н., Маргулис С.М., Федотов Е.А. Применение динамических компенсаторов искажений напряжения для повышения надежности системы электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2018. – Т. 10. – № 1(37). – С. 55-63.

УДК 621.311.6

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОЙ ЦЕПИ МАРКОВА

Уткина В.Н., Галиев И.Ф.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
2701064216@mail.ru

В тезисе рассмотрена модель функционирования зарядной станции на основе цепи Маркова с дискретными состояниями и непрерывным временем. Приведены выражения для комплексных показателей функционирования отдельной заправочной станции.

**Ключевые слова:** электротранспорт, аккумуляторы, зарядная инфраструктура, модель функционирования, цепь Маркова.

Переход на электротранспорт ведет к ощутимому сокращению вредных выбросов в атмосферу. Как минимум 183 зарядные станции для электромобилей должно работать в Татарстане к 2024 году. Такая цель ставится в новой республиканской госпрограмме, которую разработал минпромторг РТ [1]. Зарядные станции или электрозаправки (ЭЗ) являются элементами инфраструктуры города, которые находятся на придорожной территории и предназначены для зарядки аккумуляторов электрического транспорта, такого как электрокары, электробусы, электросамокаты, гироскутеры и прочие. ЭЗ как и любое зарядное устройство являются преобразователем одного вида энергии в другой.

**Объект моделирования. Постановка задачи.** В качестве объекта моделирования рассмотрим зарядную станцию для электромобилей общественного пользования. Задачей данного исследования является определение комплексных показателей функционирования (КПФ) ЭЗ - вероятностей состояний, составляющих полную группу событий объекта.

Для отдельного модуля ЭЗ определим полную группу событий (состояний): **состояние 0** – состояние, при котором единичный модуль ЭЗ находится в исправном состоянии и осуществляет заправку; **состояние 1** – исправное состояние, при котором модуль ЭЗ находится в режиме оперативного ожидания (резерва); **состояние 2** – состояние вынужденного отказа модуля зарядной станции, когда полностью прекращается его функционирование; **состояние 3** - при котором устройство выводят в ремонт или техническое обслуживание.

Учитывая поставленные задачи и инженерные условия работы ЭЗ, считаем обоснованным и возможным применить аппарат цепей Маркова с дискретными состояниями и непрерывным временем.

При этом следует учесть известное ограничение на потоки событий при моделировании процессов функционирования ЭЗ: они простейшие – стационарные, ординарные с отсутствием последействия, т. е. времена между событиями распределены по экспоненциальному закону.

Ввиду того что события являются взаимоисключающими, вероятности переходов между состояниями  $P_j$  можно определить как

$$\lambda_{iJ} = \sum_{i \in J} \lambda_{ij} \text{ и } \lambda_{ji} = \sum_{i \in J} P_j \lambda_{ji} / \sum_{i \in J} P_j, \quad (1)$$

где  $\lambda_{ji}$  – интенсивность перехода из состояния  $j$  в  $i$ .

Граф переходов модели функционирования ЭЗ относительно различных ее состояний, изображен на рисунке 2. При этом отметим, что  $\lambda_{dt}$  и  $\lambda_{dt}$  – интенсивности соответственно перехода из  $i$ -го состояния в  $j$ -е состояние модуля ЭЗ и наоборот. Вершинам графа соответствуют состояния модуля ЭЗ, а хордам – возможные переходы из одного состояния в другое.

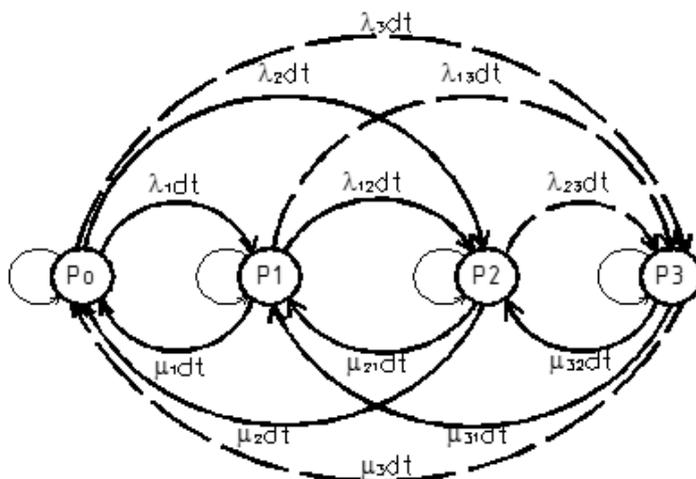


Рис. 2. Граф переходов модели функционирования с восстановлением

Между состояниями модели, изображенной на рисунке 2, имеется связь через взвешенные хорды – вероятности переходов из одного состояния в другое, что должно соответствовать инженерным условиям функционирования установки и логике формирования модели с восстановлением отказавших элементов и замкнутым графом [2].

Для математического описания графа переходов модели применяется система уравнений Колмогорова-Чепмена, которая в общем виде представляется как:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -\sum_{j=0}^k \mu_{ij}(t) \cdot P_i(t) + \sum_{j=0, j \neq i}^k \lambda_{ji}(t) \cdot P_j(t), \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots, k$  – число состояний графа переходов.

В циклической модели Маркова с восстановлением состояний наиболее адекватно отображается функционирование ЭЗ. Для расчета стационарных (установившихся) вероятностей состояний  $P_i$  при  $t \rightarrow \infty$  из системы (1) получим искомые результаты решением системы алгебраических уравнений совместно с условием нормировки ( $\sum_i P_i = 1$ ).

Полученные решения уравнений для вероятностей состояний  $P_i = \text{const}$  позволяют определить установившиеся значения комплексных ПФ для календарного периода, например, года. Результаты расчетов могут быть использованы как прогнозная оценка на некоторый более длительный, чем год, период времени (стратегическая оценка). С учетом принятых обозначений выражения для комплексных показателей функционирования имеют вид.

Коэффициент оперативной готовности:  $K_{ог} = P_0 + P_1$ ;

Коэффициент технического использования:  $K_{ТИ} = P_0 \cdot T_K$ ,

Коэффициент плановых простоев  $K_{П} = P_2 \cdot T_K$ ;

Коэффициент неплановых простоев  $K_{Н} = P_1 \cdot T_K$ ,

где  $P_0$  – вероятность состояния, при котором модуль ЭЗ находится в режиме работы,  $P_1$  – вероятность состояния, при котором устройство находится в режиме оперативной готовности (ожидания),  $P_2$  – вероятность состояния, при котором происходит отказ модуля зарядной станции,  $P_3$  – вероятность планового ремонта или ТО,  $T_K = 8760$  ч. – календарный период.

### Источники

1. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан № 538 от 07.06.22

2. Галиев И. Ф. Методы расчета надежности энергоустановок электростанций: учебное пособие. – Казань: Казан. гос. энерг.ун-т, 2005. – 144 с.

3. Яхин Ш. Р. Хузяшев Р.Г., Гумаров А.Г. Вейвлет-анализ сигналов переходных процессов в электрической сети // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 334–339.

4. Кыонг Л. К. Проблемы компенсации реактивной мощности / Л. К. Кыонг, А. Тамсир, А. М. Маклецов // Тинчуринские чтения – 2021 «энергетика и цифровая трансформация»: Материалы Международной молодежной научной конференции. В 3 томах – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – С. 26-30.

5. Абдреев К.А., Гарифуллин М.Ш. Сравнительный анализ различных систем накопления электроэнергии в промышленной аккумуляции // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции. – Казань, 2022. – С. 162-170.

6. Гарифуллин М.Ш., Каминский С.О., Лашманова М.И., Мухаметжанов Р.Н. Тарифы на электроэнергию как стимулирующий фактор развития распределенной генерации в России // Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты: Материалы международной научно-практической конференции, Казань, 2022. – С. 81-96.

УДК 621.31

## **ЦИФРОВОЙ РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ ДЛЯ СЕТЕЙ 6-10 кВ**

Фаррахова А.М.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
aliya\_farrakhova@vk.com

В статье рассматривается секционирующее устройство. На сегодняшний день почти все переключения в нормальных и послеаварийных режимах в распределительных сетях осуществляются в ручном режиме. Поэтому время восстановления электроснабжения увеличивается. Предлагаем использование цифровых устройств автоматического секционирования.

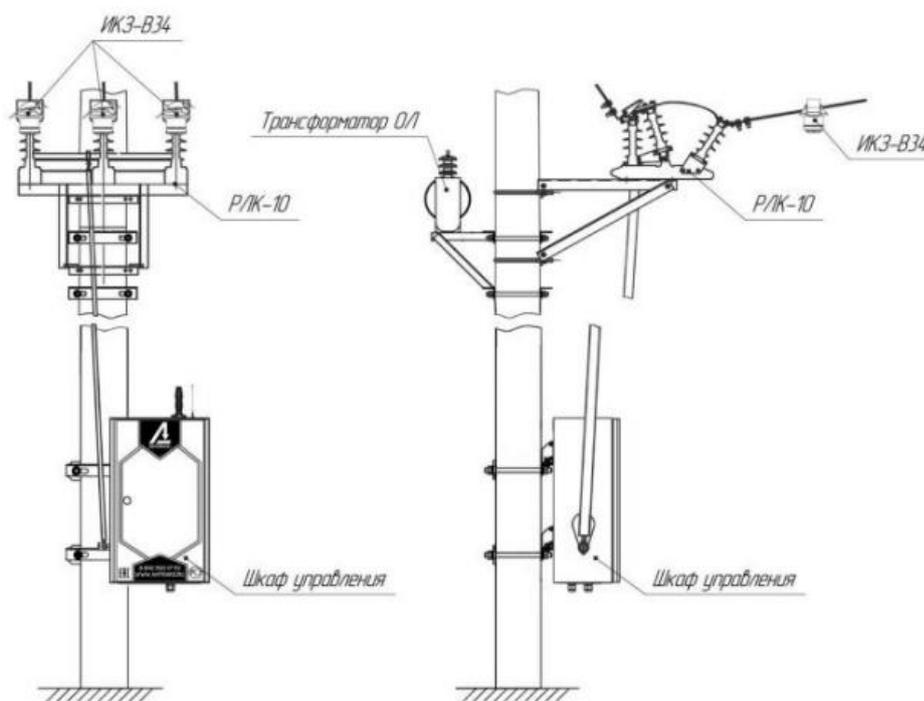
**Ключевые слова:** разъединитель, высоковольтные линии, интеллектуальный, коммутационное устройство, цифровой, секционирующее устройство.

Разветвлённость распределительных сетей 6-10 кВ и их динамичное развитие в крупных населённых пунктах, и питание удалённых потребителей

по сетям 6-10 кВ серьезно снижает надежность электроснабжения потребителей [1]. В условиях эксплуатации это приводит к необходимости разработки эффективных мероприятий для повышения надежности электроснабжения потребителей.

При возникновении аварии на высоковольтной линии (ВЛ) поврежденный участок в кратчайшее время нужно отделить от неповрежденного. На энергообъектах для этого установлены секционирующие устройства, функцией которых является деление линии электропередач на секции. Этими устройствами являются такие разъединители с ручным приводом. В связи с тем, что из-за ручного привода уходит больше времени, задача по автоматизации коммутационных аппаратов является актуальной [2]. Интеллектуальный разъединитель специализирован для своевременного дистанционного секционирования воздушных линий и селективного определения устойчивых и неустойчивых аварийных процессов, так же все виды замыканий на землю [3].

На рисунке ниже схематически представлен пример установки интеллектуального разъединителя.



Установка цифрового разъединителя

Включив интеллектуальный разъединитель в систему автоматизации ВЛ 6-10 кВ, это позволяет выстроить успешную, эффективную и недорогую систему секционирования ВЛ 6-10 кВ с интеграцией в SCADA-систему пользователя [4].

Система обеспечивает: наблюдаемость каждого участка сети за счёт использования ИКЗ с функционалом определения направления протекания аварийных токов [5]; селективное определение всех типов аварийных ситуаций, включая ОЗЗ с низкими токами и неустойчивые аварийные процессы; возможность быстрого отключения питания при передаче информации об аварии в централизованную систему.

Отключение линии или управляемого участка интеллектуальным разъединителем может быть в бестоковую паузу. Удаленное отключение, включение разъединителя производится согласно команде диспетчера с помощью управляющих сигналов через SCADA-систему [6].

Возможен автоматический режим работы интеллектуального разъединителя, который позволяет при междуфазном замыкании на ВЛ за минимальное время отделить поврежденный участок и тем самым обеспечить возможность восстановления электроснабжения остальных потребителей.

Таким образом, внедрение интеллектуальных автоматических пунктов секционирования воздушных линий является отличным вариантом для своевременного дистанционного секционирования воздушных линий и селективного определения аварийных процессов.

### Источники

1. Большев В.Е., Виноградов А.В. Перспективные коммуникационные технологии для автоматизации сетей электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 2 (42). – С. 65-82.

2. Федотов А.И., Вагапов Г.В., Абдуллазянов А.Ф., Шаряпов А.М. Цифровая система мониторинга повреждений на линиях электропередачи // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 1. – С. 146-155.

3. Интеллектуальный цифровой управляемый разъединитель РИЦ ООО "СМАРТСНАБ" [Электронный ресурс]. <https://smartsnab.com/product/intellektualnyiy-tsifrovoy-upravlyaemyiy-razedinitel-rits/> (дата обращения: 12.09.2022)

4. РИЦ – интеллектуальный цифровой разъединитель. ЭЛЕКТРОПРИБОР [Электронный ресурс]. <https://www.electronpribor.ru/catalog/391/rits.htm> (дата обращения: 08.04.2022)

5. Stella E., Rayon J.L., Henry G. Цифровой разъединитель – опыт применения на цифровой ПС // Энергоэксперт. – 2019. – № 1(69). – С. 52-58.

6. Интеллектуальный цифровой управляемый разъединитель наружной установки РИЦ (комплект) ВЛ 6-10 кВ. Руководство по эксплуатации РИЦ – РЭ В1.2 01-06. АНТРАКС – С. 18.

7. Галиева Т.Г., Иванов Д.А., Садыков М.Ф., Андреев Н.К., Хамидуллин И.Н. Метод и устройство диагностики состояния высоковольтных изоляторов на основе непрерывной регистрации пространственного уровня электромагнитного излучения частичных разрядов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 165-177. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-165-177.

8. Луканин П.В., Казаков В.Г., Зверев Л.О. Концепция модернизации энерготехнологических комплексов в ЦБП // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 178-191. – DOI 10.30724/1998-9903-2022-24-4-178-191.

УДК: 621.315.177

## **АЭРОИНСПЕКЦИЯ КАК СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Филимонов С.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

serfv43@gmail.com

Науч. рук. доц. Аскаров Р.Р.

В данной работе рассмотрен новый вид поиска неисправностей воздушных высоковольтных линий электропередач – аэроинспекция вертолётом с использованием мультиспектральной системы, позволяющей обследовать линии электрической сети.

**Ключевые слова:** аэроинспекция, воздушные линии электропередач, мониторинг, обработка данных, диагностика.

На данный момент ведётся активное развитие электрических сетей Российской Федерации и внедрение цифровых технологий для мониторинга безаварийного режима работы всей системы.

Всем известно, что высоковольтные линии электропередач (ЛЭП) являются стратегически важным элементом в энергетической системе любого государства. Даже незначительные повреждения и неисправности (провисания проводов и обрыв нескольких жил провода, разрушения изоляции с последующим возникновением коронных разрядов) могут привести к значительным потерям электроэнергии и стать причиной крупных аварий. Поэтому возникает необходимость в периодическом обследовании таких объектов [1].

Как правило, осмотр ЛЭП производится рабочими непосредственно на линии, которая находится под высоким напряжением. Это небезопасно, а учитывая значительную протяженность ЛЭП – трудозатратно и затратно по времени.

Для повышения эффективности процедуры обследования ЛЭП целесообразно использовать воздушную технику – вертолёт для детального осмотра линии при помощи мультиспектральной системы.

Вертолетный осмотр с применением современного диагностического оборудования позволяет выявить большее количество дефектов по сравнению с другими методами за счет зависания вблизи линии, повысить точность оценки состояния воздушных линий и ускорить процесс обследования.

Данный вид систем позволяет в режиме реального времени одновременно детектировать дефекты разного рода: нагрев соединений, коронные разряды, растительность, обрывы линий, гнезда птиц и др.

В качестве рассматриваемой мультиспектральной системы выступает TrakkaTS300 (рис. 1), оснащённой четырьмя камерами:

- видеокамера 1080p – для съёмки воздушной линии в видимом диапазоне, фиксации отсутствующих болтов, изоляторов и других видимых повреждений или неисправностях ЛЭП;
- ультрафиолетовая видеокамера – для обнаружения коронных и частичных разрядов в треснувших фарфоровых и порванных полимерных изоляторах, обнаружения порванных жил в проводах и др.;
- видеокамера инфракрасного диапазона – высокое переходное сопротивление в местах соединений токоведущих частей.
- фотокамера – для фиксации визуальных дефектов с координатной отметкой.



Рис.1. Мультиспектральная система TrakkaTS300

При помощи данного мультиспектрального комплекса можно производить диагностику воздушных линий электропередач на больших дистанциях, составить подробный отчёт о проведённой диагностике, в который включены координаты дефектов, их фотографии, термограммы и их описание (рис. 2). Важно отметить, что данный метод диагностики экономически выгоднее по сравнению с традиционным осмотром обслуживающего персонала линии.

#### Sample report for information only

Report No 12345	Customer: An Electrical Company	Inspection Date: 01.01.2021
Power Line / Load: Electrical Company Powergrid 115KV	Operator: Pergam – Suisse AG	Fault Type: Thermal / UV / Other*
<b>Fault Details:**</b>		
GPS Position 12345N / 12345 E	Pole No / Name Pole no 812 / 115KV	Other: Part name (optional / If Known)



**IR Values:**  
 Emissivity : 0.85  
 Distance : 30m  
 Normal OP Temp. : 12.00 °C  
 AR 1 : Max 12.7 °C  
 AR 2 : Max 38.7 °C  
 Temp. Difference AR2 – AR1 : 26.0 °C  
 Fault Temp : AR2 – 12.00 °C = 26.7 °C  
 Fault Cat / Details : CAT A\*\*\*  
 \*\*\*Supplied By Customer (optional)

Рис.2. Пример отчёта проведённой аэроинспекции с выявлением места дефекта

Можно сделать вывод, что в ближайшем будущем данный метод обследования силовых линий электропередач позволит эффективнее производить поиск ранних дефектов ЛЭП и своевременно их устранять.

### Источники

1. Askarov R.R., Filimonov S.S., Nikolaev K.V., Mukhametzhano R.N. Induction Method for Parameters Control of Cable Lines laying at the Electricity Distribution Network Polygon // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE, Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731465.

## ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА МЭК-61850 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ БЕСПЕРЕБОЙНОСТИ РАБОТЫ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Фомин К.Д., Соломонов И.И., Гаязов А.Д.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

kirill\_fomin\_99@inbox.ru, solomonov.ilia.1@yandex.ru, alfred.gayazov@outlook.com

В тезисе рассмотрена работа стандарта МЭК-61850, протоколов MMS и GOOSE. Выделены типы устройств, использующих данный стандарт и рассмотрены каналы связи между цифровой подстанцией и диспетчерским управлением.

**Ключевые слова:** цифровое оборудование, автоматизация работы, интеллектуальное устройство.

На данный момент возрастает популярность цифровизации энергетики, в частности, внедрение цифровых подстанций.

Используя стандарт МЭК-61850, протоколы MMS и GOOSE можно автоматизировать большую часть технологических процессов подстанции, тем самым, повысить эффективность и безопасность работы высоковольтных выключателей, трансформаторов, а также повысить качество сбора информации. Важно отметить, своевременное оповещение диспетчера позволяет сохранить большее количество электрооборудования [1].

Большая часть дискретных сигналов, передаваемых между устройствами релейной защиты и автоматизации электроэнергетических систем, прямо влияет на скорость ликвидации аварийного режима, поэтому передача сигнала осуществляется при помощи протокола МЭК 61850-8.2 (GOOSE), который отличается высоким быстродействием. Ещё одним достоинством данного протокола важно выделить возможность алгоритмизации мониторинга сигналов, к примеру, оперативной блокировки выключателя. Время передачи одного пакета данных GOOSE сообщения не превышает 0,001 секунды.

Передача измерений и дискретных сигналов в базу данных подстанции производится по протоколу MMS (с использованием сервисов буферизированных и небуферизированных отчетов). Протокол MMS характеризуется компактностью передаваемой информации. Это снижает нагрузку на информационные сети и не требует больших хранилищ данных [2–3].

Для того, чтобы система, основанная на MMS и GOOSE работала слаженно, используются два стационарных контроллера: система сбора (MMS Сервер), подключенная к шине процесса, и передачи информации – на шине станции, они подключены друг к другу при помощи интерфейса Ethernet. Систематизированная информация с встраиваемого компьютера направляется в диспетчерское управление (ДУ) волоконно-оптической линией связи или радиосвязью для мониторинга персоналом ДУ на MMS Клиент, который непосредственно оповещает диспетчера (рис.).

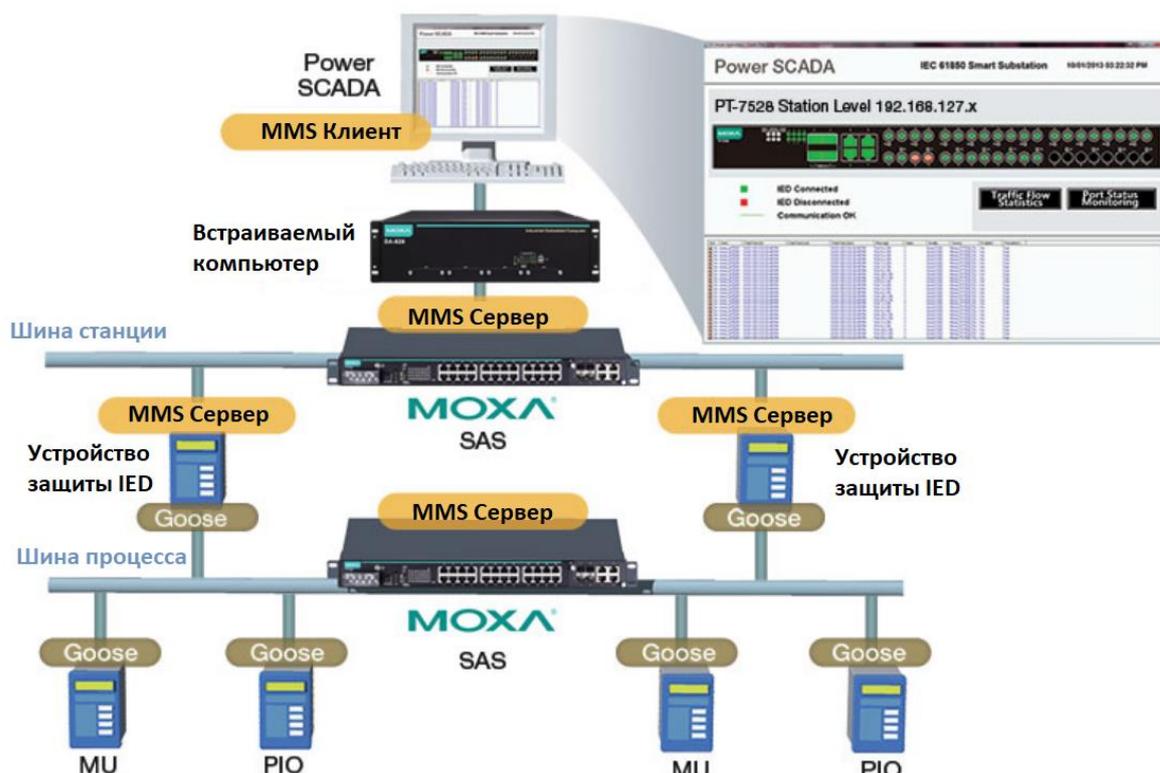


Рис. Иерархия обработки получаемых данных

На рисунке выше рассмотрена иерархия цифровой подстанции на оборудовании EKRA SCADA. В связи с несовершенством технологии из-за её новизны необходимо производить проверку полученных пакетов данных в нескольких тестирующих программах, таких как: Wireshark, Omicron IEDScout. Важно отметить, стандарт МЭК 61850 подразумевает взаимозаменяемость оборудования, которое поддерживает данный вид стандарта. Но производители оборудования, поддерживающего данный стандарт очень часто реализуют в серверной части программного обеспечения (ПО) протоколы MMS и GOOSE не в полном объёме, т. е. рекомендуется использовать одного производителя. Именно поэтому

иногда возникают ситуации, что одноимённое оборудование и ПО обеспечивают большую надёжность функционирования такой системы по сравнению с использованием оборудования разных производителей.

В заключении можно сказать, что автоматизация работы подстанции необходима для повышения бесперебойности электроснабжения потребителей, а также преждевременного оповещения диспетчерского персонала для своевременного принятия решений во избежание значительных экономических потерь.

### **Источники**

1. Рябов С.И., Елфимов С.А., Гончаров Е.С. Особенности организации цифрового обмена по МЭК-61850 // Colloquium-Journal. – 2020. – № 2-2(54). – С. 95-97.

2. Андреев А., Хусаинов Р. Применение стандарта МЭК-61850 в микропроцессорных терминалах релейной защиты и автоматики // Силовая электроника. – 2020. – № 2(83). – С. 60-63.

3. Низамиев М.Ф., Ившин И.В., Максимов В.В., Билалов Ф.Ф. Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния электротехнического оборудования // Электрика. – 2015. – № 6. – С. 18-25.

УДК 621.311.1

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛЭП НА ОТКРЫТЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ СЕТИ**

Хантимеров И.М., Салихов Р.Р., Воркунов О.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
ilnar.hantimerov@tatar.ru, salihovrail06@gmail.com

В данной работе приводится основная информация о ключевых этапах моделирования с помощью программы FEMM влияния электромагнитных полей воздушных линий электропередачи на открытые кабельные сети. Представляются графические изображения полученного результата и описывается их важность при исследовании проблем обеспечения качества электроэнергии в ЭЭС.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, электрические сети, ЛЭП, кабельные линии, электромагнитное влияние, компьютерное моделирование.

В последние годы в области моделирования электромагнитного влияния линий электропередачи (ЛЭП) на кабельные сети электро-

снабжения большой распространенностью пользуется компьютерно-программный комплекс под названием Finite Element Method Magnetics (FEMM). Данный прикладной пакет открывает возможность осуществлять процессы моделирования как плоских (двумерных), так и осесимметричных объектов с помощью специального численно-математического метода решения дифференциальных уравнений, именуемого методом конечных элементов [1, 2].

В настоящей работе с помощью применения FEMM предпринимается попытка моделирования ситуации влияния электромагнитных полей от одноцепной ЛЭП напряжением 330 кВ на кабельные сети электроснабжения 660 В, исполненные в виде контрольных кабельных линий (КЛ) с изоляцией и оболочкой из ПВХ пластиката с отсутствием защитных покровов (КВВГ), открыто проложенные вблизи обозначенных линий электропередачи. Иллюстрация схематичного расположения данных сетей показана на рисунке 1.

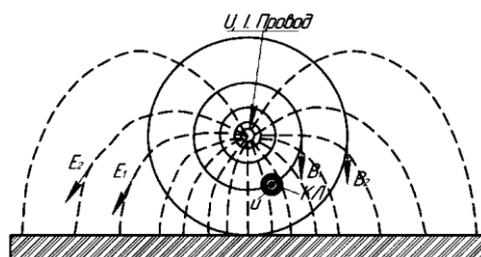


Рис. 1. Расположение воздушной и кабельной линий

Начальный этап моделирования заключается в создании непосредственно самой модели путем внесения в программу следующих данных: параметры плоскости, частота, единицы измерения. Второй этап: создание контурной линии с определенными границами с помощью ввода координат ограниченной в необходимом пространстве области. Третий этап: прорисовка с помощью стандартных инструментов КЛ и ЛЭП, а также выбор материалов, из которых они изготовлены, с заданием всех соответствующих параметров. Четвертый этап: задание значений тока и установления всех необходимых свойств материалов в пространственно-временном аспекте. Результатом первичного моделирования является получение четырех базисных объектов, геометрически верно расположенных в заданной области: материал провода воздушной ЛЭП, медная жила КЛ, экран кабеля, воздух. Пятый этап: разбивка полученной модели на конечные элементы. Шестой этап: запуск функции анализа модели

и операция представления графического изображения с визуально заметным присутствующим между линиями эффектом близости, а также данных о полученном результате (см. рисунок 2).

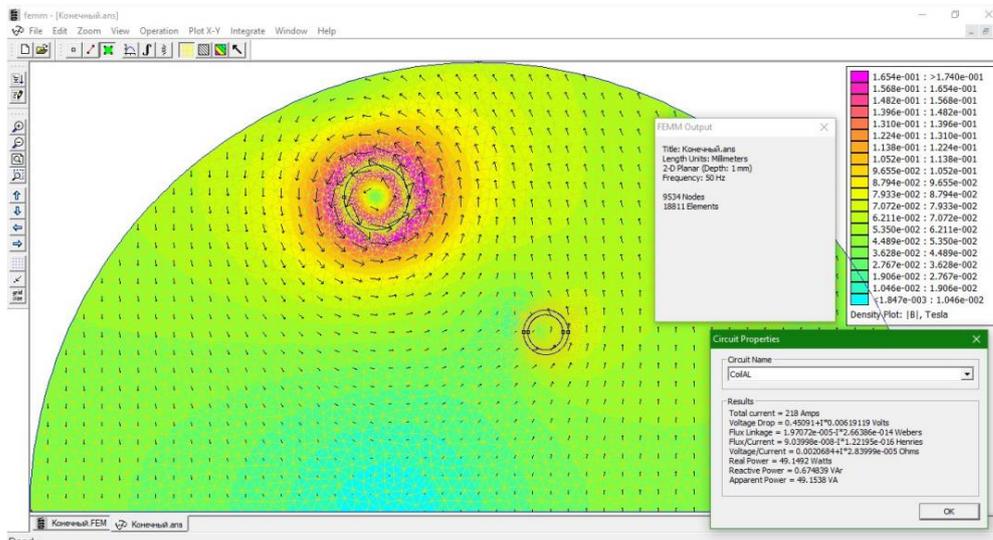


Рис. 2. Распределение магнитного поля в области прокладки линий

Седьмой этап: вывод на экран графика зависимости изменения  $H$  (А/м) от расстояния (в метрах) (см. рисунок 3).

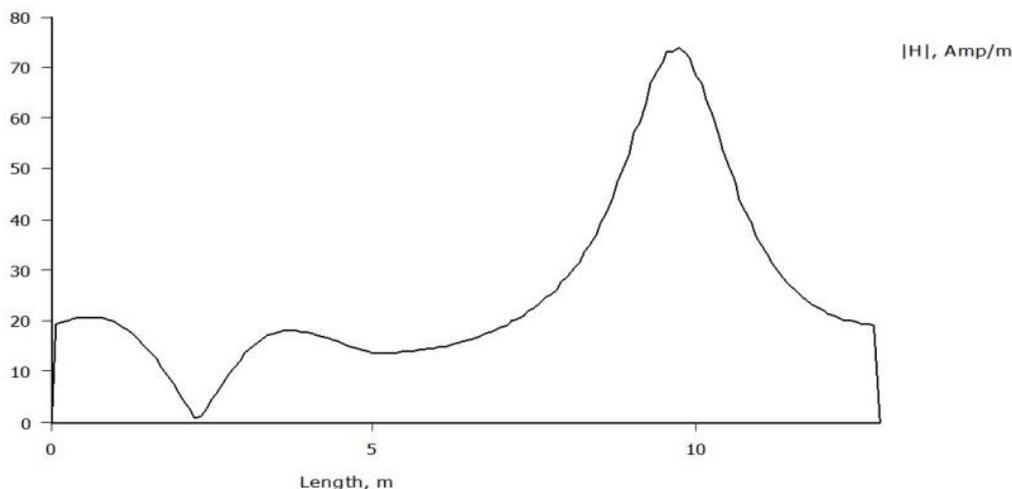


Рис. 3. График зависимости напряженности магнитного поля от расстояния

Таким образом, полученный в FEMM результат моделирования электрических сетей позволяет определять изменение амплитудных показателей сигнала, а также его формы не только от параметров линии, но и от воздействующего влияния внешнего источника, переменного на том или ином промежутке времени. Так, при реализации исследовательской деятельности смоделированная в упомянутом программном пакете

ситуация открывает возможность оценки характера распространения сигнала в кабеле, от которого напрямую зависят пути решения проблемы поддержания должного качества электроэнергии в ЭЭС [3].

### **Источники**

1. Быковская Л.В., Чурикова Е.В. Моделирование электрического и магнитного полей воздушной линии электропередачи // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 5. – С. 80-86.

2. Галеев Р.Р. Моделирование внешних электромагнитных полей, воздействующих на кабель в программной среде FEMM // Innovation science. 2020. № 2. – С. 33-36.

3. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Исследование воздействия внешних электромагнитных полей на качество передаваемой энергии в кабельных линиях систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2013. № 6. – С. 45-49.

УДК 620.9

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ВНЕДРЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

Хакимзянов Э.Ф.<sup>1</sup>, Агзамов М.Ф.<sup>1</sup>, Сагиров В.Р.<sup>2</sup>, Мавляутдинов Л.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань, Россия

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

agzamovmf@energo-razvitie.ru

В статье представлен подход к определению возможности внедрения солнечных электростанций для обеспечения гарантированного снабжения потребителей 0,4 кВ на примере типового фермерского хозяйства (ФХ) на территории Республики Татарстан (РТ) с применением специализированного программного комплекса анализа электрических сетей. Проанализирована типовая схема электроснабжения ФХ в зависимости от значения параметра солнечной инсоляции на территории РТ. На основании полученных результатов режимов работы сети предложены варианты организации системы электроснабжения с применением фотоэлектрических модулей (ФЭМ) и проведена оценка технико-экономического расчета эффективности внедрения ФЭМ. Расчет режимов работы типовой модели электроснабжения ФХ позволил определить районы РТ, где внедрение предложенных технических решений является наиболее эффективным. Выполнен расчет экономических показателей чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и индекса прибыльности, позволившие оценить

привлекательность инвестирования при реализации представленных технических решений.

**Ключевые слова:** ВИЭ, солнечная энергия, PSS Sincal, солнечные панели, математическая модель.

Одним из перспективных технических решений по снижению расходов на оплату электроэнергии потребителями фермерского хозяйства (ФХ) является установка источников микрогенерации, наиболее популярным и доступным из которых являются солнечные электростанции (СЭС) на базе ФЭМ. В период с 2012 по 2021 годы суммарная установленная мощность СЭС во всем мире увеличилась в восемь раз и составила около 850 ГВт [1]. В России солнечная энергетика за эти годы совершила гигантский скачок вверх, суммарная установленная мощность СЭС с 2012 года увеличилась в 1700 раз и в 2021 году составила 1,7 ГВт.

На развитие возобновляемой энергетики влияют климатические условия региона, а также развитие мер государственной поддержки. В настоящее время наблюдаются тенденции к росту доли энергии, получаемой из возобновляемых источников. В странах СНГ и Европы вводятся законопроекты и программы по поддержке введения СЭС в быт потребителей. К особо крупным проектам следует отнести внедрение солнечной энергетики в Азии, доля которой от общей установленной мощности СЭС составляет 57 %, в частности доля Китая составляет 36 %.

В рамках аналогичной поддержки в России введено Постановление Правительства РФ от 02.03.2021 г. № 299 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации в части определения особенностей правового регулирования отношений по функционированию объектов микрогенерации», регламентирующее продажу излишков электроэнергии при выполнении объектом микрогенерации определенных условий, а именно – уровень напряжения сети до 1 кВ, максимальная мощность у потребителя менее 15 кВт.

В настоящее время на территории РТ активного ввода новых генерирующих мощностей с использованием СЭС не наблюдается, в связи с чем предлагается произвести оценку потенциала внедрения систем электроснабжения малой мощности на базе ФЭМ. Так, имеется несколько примеров внедрения солнечных модулей для электроснабжения потребителей, подключенных к электрическим сетям 0,4 кВ [2, 3].

Цель исследований – проанализировать распределение солнечной инсоляции (далее СИ) на территории РТ; создать карту классификации районов по группам солнечной активности; применить результаты расчета режимов работы для определения районов РТ с наибольшим потенциалом

внедрения предложенных технических решений; оценить инвестиционную привлекательность внедрения СЭС в деятельность ФХ.

На основании анализа параметра солнечной активности на территории Республики Татарстан предлагается выделить три района, в которых среднегодовое значение СИ составляет от 2,90 до 3,30 кВт\*ч/м<sup>2</sup> (рис. 1). Установлено, что наиболее высокое значение СИ наблюдается возле населенного пункта (н.п.) Хансверкино Бавлинского района, расположенного на юге-востоке РТ, а самое низкое – возле н.п. Новая Серда Арского района на северо-западе.

Параметр солнечной активности влияет на энергетическую эффективность ФЭМ. На основании полученных данных солнечной активности, созданной типовой модели сети электроснабжения потребителя 0,4 кВ в программном комплексе (далее ПК) PSS Sincal, произведена оценка режимов параллельной работы ФЭМ и внешней системы электроснабжения электросетевой организации. Особенностью математической модели (далее ММ) является учет суточных профилей нагрузок потребителей и профиля выработки электроэнергии от ФЭМ. Принятая суммарная мощность нагрузки потребителя не превышает 15 кВт.

Из проведенного аналитического расчета определены суточные пики выработки источника микрогенерации, которые приходятся на период времени с 10 до 14 часов, а пик выработки по месяцам – с мая по август.

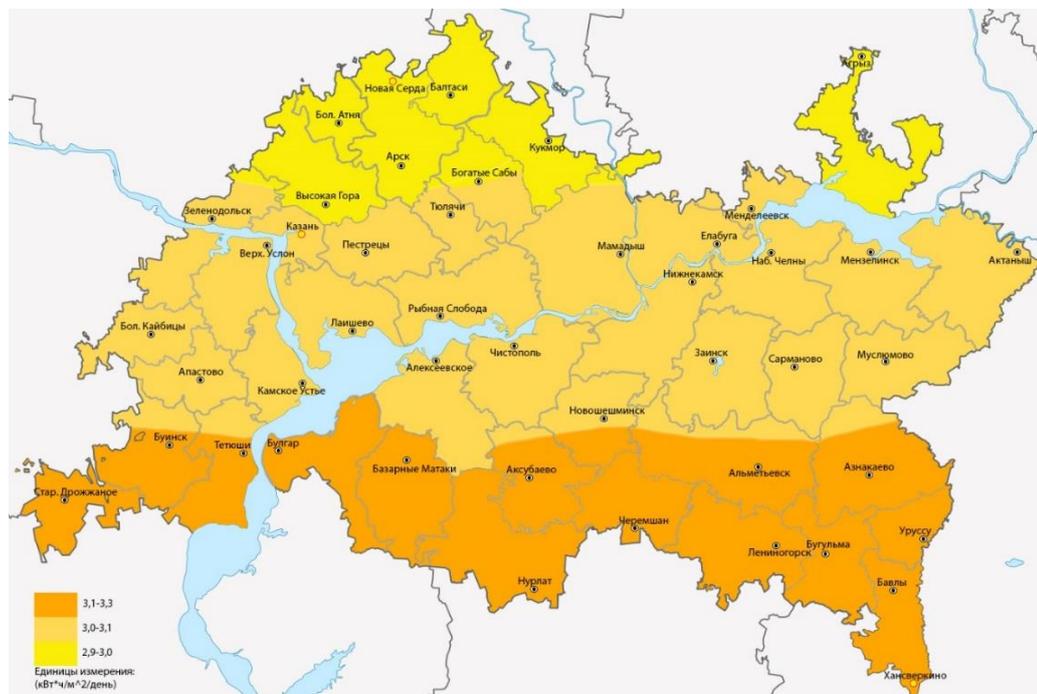


Рис. 1. Карта распределения солнечной инсоляции по РТ

Для оценки потенциала внедрения ФЭМ в типовое ФХ был произведён расчёт ЧДД, характеризующий инвестиционную привлекательность проекта и время окупаемости для различных территориальных групп РТ.

Определение ЧДД для оценки перспективы внедрения ФЭМ в Республике Татарстан показал положительную величину NPV, совместно с этим был произведён расчёт показателя индекса прибыльности, составившего 102 %. При этом сроки окупаемости предложенных технических решений составили не менее 10 лет, что свидетельствует о привлекательности данного технического решения для привлечения инвестиций.

### **Источники**

1. Renewable Capacity Statistics 2022 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022> (дата обращения: 18.04.2022)

2. Деньги из ветра и солнца: РТ намерена развивать «зеленую» энергетику [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://rt.rbc.ru/tatarstan/31/08/2020/5f4f4c3b9a7947ca5d882027> (дата обращения: 18.04.2022).

3. «Солнечные электростанции» на улице Солнечной: АО «Сетевая компания» поддерживает развитие объектов «зеленой энергетики» на территории РТ [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/solnechnye-elektrostantsii-na-ulitse-solnechnoy-ao-setevaya-kompaniya-podderzhivaet-razvitie-obektov/#video> (дата обращения: 12.05.2022).

УДК 621.3.019.3

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИЗНОС КОНТАКТНЫХ ПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

Черепенькин И.В., Павлов П.П.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[iwan.tcherepenkin@yandex.ru](mailto:iwan.tcherepenkin@yandex.ru), [pavlov2510@mail.ru](mailto:pavlov2510@mail.ru)

В тезисе представлены результаты анализа видов износа контактных проводов, и арматуры контактной сети, составлена классификация причин изнашивания в зависимости от рода износа. Все чаще возникает необходимость в установке на электроподвижной состав различного рада 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.

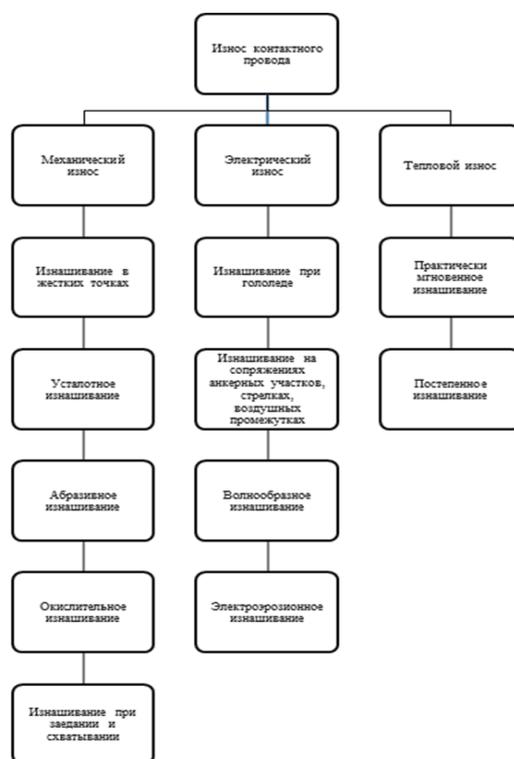
**Ключевые слова:** электроподвижной состав, арматура, контактная сеть, анкерный участок, контактный провод, износ, контакт.

В настоящее время классифицируют несколько видов износа контактных проводов, а именно электрический, механический и тепловой.

Анализ существующих видов износа позволил представить структурированную классификацию, представленную на рисунке.

Электрический износ характеризуется процессами, протекающими в скользящем контакте токоъемника, а также естественным действием тока, протекающего в контактном проводе на материал самого провода [1, 5].

Показатель электрического износа контактного провода в конкретной точке в определенный момент времени характеризуется величиной протекающего через эту точку количества электрической энергии. Исходя из данного утверждения можно сделать вывод о том, что при одинаковых скоростях движения в прочих постоянных условиях работы величина электрического износа напрямую зависит от снимаемого токоприемником тока. Наибольший практический интерес представляет проблема взаимного влияния двух видов износа электрического и механического [2].



Классификация видов износа контактного провода

Зависимость удельного износа контактного провода от величины тока, снимаемого токоприемником с учетом удаления от пункта заправки полоза жировой смазки может быть представлена следующей формулой:

$$i^a = 455 \cdot 10^{-6} \cdot l + 56 \cdot 10^{-4} \cdot l + 0.142, \quad (1)$$

где  $i^a$  – ток снимаемый токоприемником, А;  $l$  – расстояние от точки анкерного участка до места заправки полозов смазкой, км.

В результате анализа проводимых по тематике данной работы исследований было установлено, что с увеличением снимаемого тока вследствие усиления электровзрывной эрозии возрастает вероятность возникновения искрения [3,4].

Следует остановиться на основных видах электрического износа.

1. Износ на сопряжениях анкерных участков, стрелках, воздушных промежутках. Наблюдающийся на воздушных промежутках линий повышенный электроэрозионный износ возникает в следствие образования электрической дуги при замыкании ползком токоприемником секций контактной сети с разными потенциалами.

2. Термином «волнообразный износ» принято обозначать явление интенсивного электрического износа с образованием тяжелых дуговых повреждений КП на коротких, последовательно расположенных участках контактной сети. Волнообразный износ свойственен для мест строгания и остановки подвижного состава, подъемов и спусков.

3. При осуществлении токосъема через электрическую дугу ввиду образования на контактом проводе корки гололеда некоторой толщины, возникшего по причине изменения условий окружающей среды возникает износ при гололеде.

4. Влияние контактного нажатия на износ. С одной стороны, увеличение контактного нажатия на провод позволят снизить электрическое сопротивление и уменьшить время отрыва полоза токоприемника от провода, что в свою очередь ведет к снижению электрической составляющей износа. Однако, с другой стороны, возрастает его механическая составляющая.

5. Результатом электроэрозионного повреждения является появление дефекта на поверхности провода, который в условиях постоянных нагрузок на растягивание и параллельно происходящем искрении может привести к пластическому деформированию провода с образованием шейки и его обрыву.

## Источники

1. Филина О.А., Черепенькин И.В., Оценка технического состояния // Наука и образование в контексте глобальной трансформации: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2022.
2. Закирова Н.Ж., Снежинская Е.С., Абдуллина А.Р., Павлов П.П. Отказоустойчивость аппаратуры технических систем // ТЧ-2021 «Энергетика и цифровая трансформация»: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2021. – С. 250–253.
3. Khusnutdinova, E., Pavlov, P., Fandeyev, V., Khizbullin, R., Khusnutdinov, A., Cherepenkin, I.: In: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, vol. 915, p. 012032 (2020).
4. Sabitov L., Pavlov P., Fandeyev V., Butakov V., Khusnutdinov A., Siyetinskaya A.: In: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, vol. 915, p. 012047 (2020).
5. Павлов П.П., Идиятуллин Р.Г., Литвиненко Р.С. К вопросу оценки надежности электротранспортной системы города // Бюллетень транспортной информации, 2017, №5(263). – С.23–26.

УДК 681.586.36

## УСТРОЙСТВА (ДАТЧИКИ) КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА ВЛ

Шарафиев Д.Ф.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

dmir.sharaf@mail.ru

Науч. рук. доц. Писковацкий Ю.В.

В тезисе предложена модель устройства датчика контроля температуры провода ВЛ, применяемая для защиты электрических сетей и высоковольтных линий общего назначения от перегрева проводов, повышая надежность снабжения электроэнергией.

**Ключевые слова:** датчик температуры, модель, провод воздушной линии, воздушная линия, аварийный режим, повышение надежности.

Передача электроэнергии от вырабатывающих электростанций к конечным потребителям является одной из ключевых задач электроэнергетики. Электроэнергия перемещается преимущественно по проводам воздушной линии, которые, как правило, состоят из самих кабельных линий, а также оборудования для преобразования энергии. Таким образом, эффективность и надежность передачи энергии определяется состоянием сетей электроснабжения.

Мониторинг температуры воздушных линий позволяет решить многие проблемы:

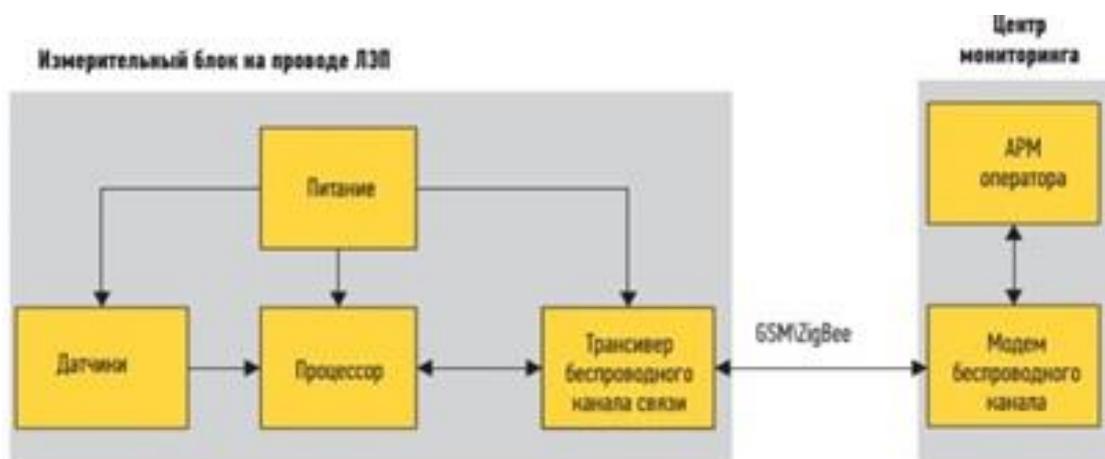
Одна из них – это проблема механической перегрузки кабеля вследствие ледовой, снеговой и ветровой нагрузок. Гололедно-снеговые отложения на проводах обуславливают дополнительные механические нагрузки на ЛЭП, вследствие которых возможны обрывы проводов, разрушение арматуры и опор ВЛ.

Еще одна проблема – максимально допустимая температура провода. Контроль этого параметра позволит:

- сохранить механическую прочность провода, тем самым избежать увеличения стрелы провеса и возникновения опасности уменьшения нормированных расстояний до земли и пересекаемых объектов;
- избежать обрыва кабеля вследствие перегрева.

Мониторинг воздушной линии является важной частью для повышения надежности и эффективности снабжения электроэнергией потребителей. Реализовать данный подход можно как на основе уже существующих методов, осмотр каждого километра линии, так и с применением новых решений, позволяющих значительно снизить временные и материальные затраты.

На данный момент во всем мире находят множества решений реализации системы мониторинга воздушных линий, которые обеспечивают системного оператора реальными сведениями о текущем состоянии воздушных сетей электроснабжения. Система мониторинга состоит из измерительных блоков в состав которых входят различные датчики, процессор, трансферы беспроводной связи, их питание и тд, Связь измерительного блока и центра мониторинга образуется за счет канала связи. На рисунке показана система мониторинга проводов ЛЭП.



Система мониторинга проводов ЛЭП

Устройство крепится непосредственно на токоведущих частях высоковольтного оборудования и измеряет температуру в месте установки при помощи встроенного интегрального датчика температуры. Результаты измерений температуры по стандартному беспроводному интерфейсу передаются в приемники беспроводной информации на расстояние до 100 метров. Измерение и передача данных происходит в заданный период времени (например, каждые 10 секунд, 15 минут и т. д.).

Данное устройство можно применять в системах электроснабжения потребителей для защиты контактной сети и электрических сетей, оно может использоваться также для защиты контактной сети городского и других видов транспорта, а также для защиты электрических сетей и высоковольтных линий общего назначения от перегрева проводов.

### **Источники**

1. Красник В.В. Меламед А.М. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств: производственно-практическое пособие – М.: ЭНАС, 2016.

2. Самарин А.В., Рыгалин Д.Б., Шкляев А.А. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП // Естественные и технические науки. 2012. – № 1, 2.

3. ООО ДИМРУС. BDM/T – беспроводной датчик для контроля температуры контактов высоковольтных выключателей, ошиновки КРУ и проводов ЛЭП при плавке гололёда. [Электронный ресурс]. <https://dimrus.ru/bdmt.html> (дата обращения: 07.08.22).

УДК 620.424.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ СИСТЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС**

Шипилов А.С.<sup>1,2</sup>, Ведерников А.С.<sup>1</sup>, Ярыгина Е.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара, Россия

<sup>2</sup> Филиал АО «СО ЕЭС» Самарское РДУ, г. Самара, Россия

alss.p@mail.ru

В статье проведены исследования по определению ошибки существующего метода прогнозирования электропотребления системы собственных нужд АЭС. Показано, что точность прогноза напрямую влияет на экономическую эффективность

станции, на основе реальных данных рассчитана ошибка прогнозирования, выявлены периоды, в которых ошибка прогнозирования повышается.

**Ключевые слова:** электрические станции, собственные нужды, прогнозирование, электропотребление

Любая электрическая станция осуществляет не только выработку электроэнергии, но и ее потребление на многочисленные собственные нужды (СН). Работа электрической станции невозможна без вспомогательных механизмов. Затраты электроэнергии на собственные нужды АЭС могут составлять до 14 % от вырабатываемой мощности [1].

С 2008 года электрические станции являются участниками оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) не только в части вырабатываемой электроэнергии, но и потребляемой на собственные и хозяйственные нужды.

Приобретение электроэнергии на СН станцией осуществляется при помощи двух рыночных механизмов: рынка на сутки вперед (РСВ) и балансирующего рынка (БР).

Для покупки электроэнергии на РСВ необходимо в сутки, предшествующие расчетным, подать заявку на приобретение ее соответствующего количества на каждый час суток, для чего это количество требуется спрогнозировать. Основной объем электроэнергии выгоднее приобрести на РСВ по цене  $C_{РСВ}$ . В случае, если фактическое потребление будет отличаться от указанного в заявке, недостаток придется приобрести на БР по цене  $C_{БР+}$ , а излишек – продать по цене  $C_{БР-}$ .

Такое отклонение от заявки является «собственной инициативой» станции. Принцип формирования цены на ОРЭМ таков, что собственные инициативы участника наказываются. В рассматриваемом случае это приводит к следующему соотношению цен:

$$C_{БР-} < C_{РСВ} < C_{БР+} \quad (1)$$

Таким образом, если в момент поставки фактическая потребляемая мощность  $P_{факт}$  будет больше прогнозной  $P_{прогн}$ , будет иметь место отрицательный экономический эффект, связанный с упущенной выгодой из-за того, что часть электроэнергии, которая могла быть куплена на РСВ по цене  $C_{РСВ}$ , была куплена на БР по более высокой цене  $C_{БР+}$ . Аналогично, если  $P_{факт}$  окажется меньше  $P_{прогн}$ , излишек электроэнергии будет куплен на РСВ, а продан на БР по более низкой цене  $C_{БР-}$ . Таким образом, отклонение  $P_{факт}$  от  $P_{прогн}$  ведет к финансовым потерям, а наибольшая экономическая эффективность достигается при максимальной точности прогноза.

Следовательно, для экономически эффективной работы АЭС существенное значение имеет прогнозирование не только выработки электроэнергии, но и потребления на собственные нужды.

На реальных данных действующей на территории России атомной электростанции были построены и проанализированы графики, отражающие фактическое и прогнозное значения электропотребления системой СН на основании имеющейся методики расчета (см. рисунок).



Часть графика, отражающего фактические и прогнозные значения электропотребления системой СН АЭС за март 2018 года.

В качестве критерия точности прогноза была выбрана средняя абсолютная процентная ошибка прогнозирования (МАРЕ). Данная оценка используется в технологии оперативного планирования режимов при расчетах планов балансирующего рынка.

$$\text{МАРЕ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\Phi_i - \Pi_i}{\Phi_i} \right|, \quad (2)$$

где  $\Phi_i$  – фактическое значение электропотребления;  $\Pi_i$  – прогнозное значение электропотребления.

Для интервала, приведенного на рисунке,  $\text{МАРЕ} = 7,5 \%$ , в то время как достаточной точностью прогноза считается прогноз с ошибкой не более  $2 \%$ . За весь рассматриваемый период (2018 – 2021 гг.)  $\text{МАРЕ} = 1,76 \%$ , однако в отдельные временные промежутки точность прогноза заметно снижается. Анализ режимов работы станции показал, что наибольшая ошибка прогноза возникает в периоды вывода из работы и ввода в работу блоков станции и достигает  $5-20 \%$ .

Таким образом, используемый в настоящее время метод прогнозирования имеет ограниченную точность и, следовательно, требует доработки.

### **Источники**

1. Козлов А.Н., Козлов В.А., Ротачева А.Г. Собственные нужды тепловых, атомных и гидравлических станций и подстанций: учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 315 с.

2. Правила оптового рынка электрической энергии и мощности (утв. постановлением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 1172, с изменениями и дополнениями на 10 марта 2022 г.)

3. Методические рекомендации по несению нагрузки АЭС для обеспечения наибольшей экономической эффективности при реализации товарной продукции МР – ОПП.91.00.01. – 2017.

4. Методика оценки точности прогноза потребления (утв. распоряжением Оперативного штаба по совершенствованию конкурентного балансирующего рынка АО «СО ЕЭС» от 14 апреля 2011 г. № 132).

УДК 621.314.222

## **ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, ОТРАБОТАВШИХ НОРМАТИВНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ**

Юдин А.Д.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

Andreww\_999@mail.ru

Науч. рук. доц. Миронова Е.А.

В данном тезисе 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 маслонаполненных 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, 3].

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 [4, 5].

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 [6].

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 [3, 7].

### **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. Ву Н., Новиков В.Ф. Хроматографические методы исследования органических экстрагентов трансформаторного масла // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – №22(6). – С. 202-210.

4. Алексеев Б. А. Продление срока службы изоляции силовых трансформаторов // ЭЛЕКТРО. – 2004. – № 3. – С.7-18.

5. Нгуен З., Новиков В.Ф. Проблема определения антиокислительной присадки в трансформаторном масле хроматографическими методами // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – № 22(5). – С. 107-115.

6. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов: монография / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – С. 55.

7. Хальясмаа А.И., Овчинников В.К. Методы интерпретации результатов хроматографического анализа масла трансформаторного оборудования // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13. – № 1(49). – С. 177-190.

УДК 621.311.19

## **МЕТОДИКА РАНЖИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ УЧАСТКОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

Яхин Ш.Р., Галиев И.Ф., Гизатуллин А.Р., Маклецов А.М.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия  
yahinshr@mail.ru

В тезисе представлена методика ранжирования эффективности мероприятий по реконструкции и модернизации участков распределительной сети 6(10) кВ с учетом экономической целесообразности и статистики отключений.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, модернизация сети, надежность электроснабжения.

В работе Максимова Б.К. и Воротницкого В.В. «Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6-10 кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей» [1] была подробно изложена технология отыскания места повреждения в распределительной сети (РС) с древовидной топологией и распределенной вдоль линий нагрузкой. Там же описана основная аппаратура, применяемая для секционирования воздушных линий (ВЛ), а также произведены расчеты технической эффективности вариантов секционирования показателями частот и длительностей перерывов питания, значениями недоотпусков электроэнергии. При этом оценка окупаемости мероприятий не проводилась.

В данной публикации представим методику удельного весового ранжирования (МУВР) мероприятий по реконструкции и модернизации фидеров РС. Логика МУВР основывается на выделении условных иерархических уровней фидеров РС: центр питания (ЦП) – потребитель. Таким образом, для фидера 6(10) кВ с двухсторонним питанием выделим 3 условных уровня:

I уровень: ЦП – магистраль фидера до кольцевого разъединителя (КР);

II уровень: магистраль – протяженное ответвление (от 0,5 км);

III уровень: ответвление на трансформаторной подстанции (ТП) – собственно ТП.

При этом мероприятия, обладающие технической эффективностью, первоначально ранжируются пропорционально относительной частоте отказов элементов РС. Так, наиболее часто случаются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) на ВЛ с оголенными проводами. Очевидно, что целесообразно реконструировать участок линии, проходящий через просеку, или участок с высокой ветровой нагрузкой.

Ранжирование мероприятий по участкам сети следует проводить по простому критерию – определению относительной частоты отказов  $\omega_*$  элемента сети относительно общего числа на участке сети  $\omega_\Sigma$

$$\omega_* = \frac{\omega_\omega}{\omega_\Sigma}, \quad (1)$$

где  $\omega_\omega$  – частота отказов конкретного элемента сети из общего их числа.

Конкретное мероприятие должно приводить к устранению или снижению частоты проявления отказа элемента, причем выше ранг

у мероприятия с меньшей стоимостью его осуществления. Очевидно, что в результате проведенных мероприятий по реконструкции и модернизации действующих РС, мы получим снижение значений фактических суммарных среднегодовых ущербов  $У_{\Phi, \Sigma}$  на величину  $\Delta У_{\text{м}} = У_{\Phi, \Sigma} - У_{\text{м}}$ , где составляющая ущерба  $У_{\text{м}}$  от проведенных мероприятий на фидерах определяется расчетным путем.

Тогда, учитывая, что ежегодные дополнительные составляющие издержек при модернизации РС  $И_{\Sigma \text{м}}$ , вряд ли могут превышать диапазон в 5–10 % от общей стоимости мероприятий по секционированию  $К_{\text{м}, \Sigma}$  [2],  $И_{\Sigma \text{м}} \leq 0,1 K_{\text{м}, \Sigma}$ , запишем общий вид выражения для оценки их эффективности

$$\Delta У_{\text{м}} \geq 1,1 F_{\text{доп}} K_{\text{м}, \Sigma}. \quad (2)$$

Здесь особенность величины  $\Delta У_{\text{м}, k}$  – приращения для  $k$ -го участка состоит в том, что её значение определяется из общей величины  $\Delta У_{\text{м}}$  по соотношению

$$\Delta У_{\text{м}, k} = \left( \frac{q_k}{q_w} \right) * \Delta У_{\text{м}}, \quad (3)$$

где  $q_k$  – вероятность отключенного состояния потребителей сети из-за отказов и преднамеренных отключений оборудования  $k$ -го участка.

Величина  $q_k$  определяется достаточно просто из расчетных надежностных схем замещения. Например, если речь идет о линии электропередачи ВЛ 10 кВ, как элементе схемы замещения сети, то определить соотношение отказов на магистрали сети  $q_{\text{I}}$  (первый уровень) и ответвлениях  $q_{\text{II}}$  (второй уровень) можно соотношением

$$q_{\text{I}} = \frac{\ell_{\text{м}}}{\ell_{\Sigma}} * q_w, \quad (4)$$

где  $\ell_{\text{м}}$  и  $\ell_{\Sigma}$  – соответственно длины магистрального участка и общая длина линии с ответвлениями  $\ell_{\text{отв}}$ . Откуда  $\ell_{\text{отв}} = \ell_{\Sigma} - \ell_{\text{м}}$  и соответственно

$$q_{\text{II}} = \left( 1 - \frac{\ell_{\text{м}}}{\ell_{\Sigma}} \right) * q_w = \ell_{\text{отв}} * q_w / \ell_{\Sigma}. \quad (5)$$

Что же касается ответвлений (спусков) непосредственно к ТП – участкам третьего уровня, то их короткими длинами можно пренебречь, и все отказы, происходящие на спусках отнести к отказам самой ТП.

С учетом ограничений критерия (2) общие ежегодные затраты на эксплуатацию уже могут быть перераспределены внутри составляющих с учетом технической эффективности мероприятий.

Суммарная же составляющая  $\Delta U_m$  для РС в целом может быть определена ориентировочно по числу фидеров, отходящих от центра питания, пропорционально их суммарной протяженности и нагрузке.

### **Источники**

1. Максимов Б.К., Воротницкий В.В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6-10 кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей. *Электротехника*. – 2005. – № 10/05. – С. 7–22.

2. Методические указания по повышению надежности электро-снабжения потребителей, повышению качества электрической энергии, снижению потерь электроэнергии в элементах сети, увеличению продолжительности межремонтного эксплуатационного периода с сохранением надежности электроснабжения – Казань: КГЭУ, 2014. – 58 с.

3. Васильев Ю.А. Разработка критериев эффективности и моделей надежности функционирования питающих электрических схем промышленных предприятий с учетом факторов кратковременных нарушений электроснабжения. / Диссертация канд. техн. наук. – Казань, 2010.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РЗА ЭНЕРГОСИСТЕМ

<b>Ахметшина Л.Х.</b> Эффект от внедрения системы мониторинга запасов устойчивости в филиале АО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана .....	6
<b>Аюпов Р.Ш.</b> Взаимодействие существующих и основанных на «интеллектуальной» сети типов релейных защит .....	8
<b>Васина А.Ю.</b> Решение задач АСУТП, релейной защиты и автоматизации электрических подстанций .....	10
<b>Волгин В.А.</b> Организация систем мониторинга ВОЛС .....	13
<b>Губаев Д.Ф., Мустафин Р.Г., Гранская А.А., Гранский Г.А.</b> Применение системы векторных измерений на ЦПС .....	15
<b>Зайниев Р.А.</b> Повышение эффективности защиты дальнего резервирования .....	19
<b>Зудкин П.А., Артеменко А.В.</b> Программная реализация функции ДЗТ по стандарту МЭК 61850 .....	21
<b>Китанин Д.С.</b> Оценка возможного применения катушек Роговского в распределительных сетях вместо традиционных трансформаторов тока... ..	24
<b>Мавляутдинов Л.Р., Писковацкий Ю.В.</b> Моделирование систем с различными видами заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ .....	27
<b>Мирзаянов Б.И.</b> Феррорезонансные явления .....	30
<b>Новожеев С.Р., Украинцев А.В.</b> Автоматизация расчетов параметров нормального и аварийного режимов сети 6–220 кВ .....	33
<b>Новожеев С.Р., Украинцев А.В.</b> Моделирование режимов с продольно – поперечной несимметрией в сетях 6–220 кВ .....	36
<b>Рахматуллин С.С.</b> Компьютерное моделирование работы устройств автоматического ввода резерва .....	39
<b>Семенов М.Н.</b> Улучшение точности замера дистанционной защиты от коротких замыканий на землю .....	42
<b>Султанова Г.И., Гавриленко А.Н.</b> Использование коммуникационных технологий для построения системы релейной защиты .....	45
<b>Фаизов Н.Н.</b> Развитие релейной защиты и автоматики на подстанциях энергетического комплекса .....	48

<b>Фролов А.А.</b> Работа измерительных трансформаторов тока, связанных с насыщением магнитопровода при переходных процессах.....	50
<b>Tikhonov I.V., Piskovatsky Y.V.</b> Monitoring and diagnosis of overhead power line wires by non-destructive testing method .....	57

## **ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ: ЭКОНОМИКА, ПОЛИТИКА, КОММУНИКАЦИИ**

<b>Абзалова З.Р., Арзамасова А.Г.</b> Политика социального маркетинга в энергокомпаниях .....	60
<b>Афанасьев М.В.</b> Особенности развития экономики инноваций в энергетическом секторе России.....	62
<b>Баймурзин А.Х.</b> ESG принципы и их влияние на энергетику .....	65
<b>Барщевская В.М.</b> Цели устойчивого развития как фактор повышения экономической безопасности.....	68
<b>Васина А.Ю.</b> Обоснование технико-экономической эффективности применения мультивихревого сепаратора-классификатора.....	70
<b>Воробьев А.Е., Арзамасова А.Г.</b> Энергетическая политика России в контексте мировых тенденции.....	73
<b>Замалетдинова Л. Р.</b> Современные вызовы и развитие энергетики .....	77
<b>Зиновьева Д.О., Хуторова Л.М.</b> Трудности и задачи изучения проблемы модернизации россии студентами-бакалаврами ФГБОУ ВО «КГЭУ» в процессе освоения дисциплины «История» .....	82
<b>Ибраева Г.Р.</b> Роль международного энергетического права в регулировании энергетического сотрудничества.....	85
<b>Иванова А.И.</b> Коммуникативный потенциал студенческой группы.....	87
<b>Казиханов А.Р.</b> Прогнозирование спроса и предложения электроэнергии с помощью искусственного интеллекта .....	90
<b>Курмашова А.Р.</b> Использование возможностей социальных сетей для учебной коммуникации студентов в вузе .....	92
<b>Лаптева Е.А.</b> Устойчивая энергетика: сущность и проблемы.....	95
<b>Моисеева К.С.</b> Рассмотрение влияния различных факторов на экономическую эффективность внедрения сепаратора с двутавровыми элементами.....	98

<b>Моисеева К.С.</b> Экономическая оценка внедрения мультивихревого сепаратора с элементами квадратной формы.....	101
<b>Мубаракшина Р.Р.</b> Влияние цифровой экономики на развитие энергетических предприятий .....	104
<b>Мубаракшина Р.Р.</b> Особенности цифровой трансформации в энергетической отрасли .....	107
<b>Мугинов А.М., Зинуров В.Э.</b> Экономический эффект от внедрения классификатора.....	110
<b>Никифорович А.А., Зарипова Р.С.</b> Тренажеры-генераторы электричества как элемент «Зеленого маркетинга».....	113
<b>Рыдзевская А.Д.</b> Теоретические основы к исследованию энергетической безопасности .....	116
<b>Селезнев Д.К., Арзамасова А.Г., Юсупова И.В.</b> О состоянии кадрового потенциала промышленного сектора экономики Республики Татарстан.....	119
<b>Селезнев Д.К., Арзамасова А.Г., Юсупова И.В.</b> Проблемы и перспективы социально-экономического развития агломераций Республики Татарстан с позиции развития транспортной инфраструктуры.....	122
<b>Урванцев К.Д.</b> «Зеленая» повестка в энергетике в международных измерениях.....	127
<b>Хазиева А.А.</b> Влияние информационных технологий на повышение энергетической эффективности отрасли.....	129
<b>Храмова И.В.</b> Факторы эффективности управления программ действий в энергетике .....	132

## **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

<b>Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р., Гимадиев А.И.</b> Возможности применения модуля ESP-01 в дистанционных системах управления .....	136
<b>Беляков К.Ю.</b> Повышение надежности системы электроснабжения путем применения контроллеров и SCADA-систем.....	139
<b>Бончук И.А.</b> Генерирующее оборудование в изолированной энергосистеме .....	142
<b>Валеева Г.Р., Стародубец А.А.</b> Оценка глобального рынка развития технологий ВИЭ .....	144
<b>Воробьев Н.А., Хамидулина Г.Х.</b> Мониторинг, диагностика в управление собственных нужд котельной «Горки» .....	147

<b>Вострецов Е.А., Павлов П.П., Хуснутдинов А.Н., Нигматуллин Р.Р.,</b> Управление качеством технологических процессов на предприятиях железнодорожного транспорта.....	151
<b>Галимова А.Р.</b> Оценка технического состояния энергетических систем и комплексов на основе использования методов неразрушающего контроля .....	154
<b>Галиуллина И.З.</b> Области применения технологий цифровой трансформации в энергетике .....	156
<b>Галяутдинова А.Р., Низамиев М.Ф.</b> Применение машинного обучения для оценки технического состояния оборудования трансформаторной подстанции.....	159
<b>Зиангиров А.Ф., Мугинов А.М.</b> Пожарная безопасность в энерго- предприятиях .....	162
<b>Зиннатов И.Р.</b> Описание способов реализации защиты от потери возбуждения генератора.....	165
<b>Ибатуллин Э.Э., Грачева Е.И.</b> Повышение надежности электроснабжения потребителей промышленных предприятий средней мощности.....	168
<b>Иванова В.Р., Гусамов Д.И.</b> Модернизация системы искусственного освещения на объекте индивидуального жилищного строительства.....	172
<b>Кинёв Д.В.</b> Системы заряда электрических станции для электро мобилей .....	175
<b>Князев А.С.</b> Метод оценки эксплуатационного состояния силовых трансформаторов.....	179
<b>Латыпова А.А.</b> Сравнительный анализ масляных трансформаторов и трансформаторов с элегазовой изоляцией.....	181
<b>Манахов В.А.</b> Диагностика штанговой скважинной насосной установки методом спектрального анализа по параметрам ваттметрограммы .....	184
<b>Мухаметшин Р.Р.</b> Роль энергетических ресурсов в экономике ведущих стран по величине валового внутреннего продукта.....	187
<b>Муханова П.П.</b> Аппаратно-программный комплекс для контроля и диагностирования мобильных зарядных станций большой мощности с имитацией режимов работы электромобилей .....	191
<b>Нигматуллин Р.Р., Павлов П.П., Вострецов Е.А., Павлов А.Э.</b> Особенности ввода в эксплуатацию нового электрооборудования.....	194
<b>Оморев М.Б.</b> Анализ показателей перерегулирования переходного процесса скоростного следящего электропривода при различных видах настроек.....	197

<b>Петров А.Р.</b> Классификация факторов отказов низковольтных коммутационных аппаратов, устанавливаемых в системах внутрицехового электроснабжения .....	200
<b>Петров Т.И., Басенко В.Р.</b> Стенд для измерения вращающего момента и частоты вращения синхронных двигателей с постоянными магнитами.....	203
<b>Петрова Р.М.</b> Анализ надежности электрооборудования цеховых сетей.....	206
<b>Росляков А.В.</b> Выбор вида стандартных настроек для разработки корректирующих устройств в двухконтурном электроприводе постоянного тока.....	209
<b>Севастьянов Е.С.</b> Гибридные системы коммутационных низковольтных аппаратов.....	212
<b>Токтаров И.В.</b> Технологическое оборудование на производстве и санкции .....	217
<b>Уткин М.О., Россамахина Н.С.</b> Концепция автономного источника электроснабжения на базе газового генератора с двигателем стирлинга .	220
<b>Федулов И.А., Михайлов К.С.</b> Оценка расчетной нагрузки при малом количестве общепромышленных электроприемников.....	223
<b>Феоктистов Д.И., Воркунов О.В.</b> Смарт-контракты и блокчейн-среда в области электроэнергетики .....	226
<b>Цветкова А.А.</b> Оптимизация режимов работы вентиляционных установок для введения «Ночного» экономного режима работы .....	230
<b>Шайхуллин А.З.</b> Способ определения оценки технического состояния и надежности электрооборудования .....	233
<b>Шумихина О.А.</b> Потери электроэнергии в четырёхпроводных электрических сетях напряжением до 1 кВ.....	236

## **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ. ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

<b>Альзаккар А.М., Местников Н.П., Валеев И.М.</b> Оценка устойчивости напряжения в энергосистемах с умными парковками на основе сетей состояний.....	239
<b>Булыгин К.А., Булыгина О.В.</b> Интеллектуальная система формирования графиков ремонтов в диспетчерских центрах .....	242

<b>Бызов А.А., Трифонов Е.А.</b> Применение информационных технологий в электрических сетях .....	246
<b>Васильченко Д.Я.</b> Управление электроэнергетическими режимами солнечных электростанций, работающих в энергосистеме.....	249
<b>Гараев А.А., Маклецов А.М.</b> Контрольно-измерительные приборы используемые в цифровой подстанции.....	253
<b>Гарифуллина А.Р., Сабитов А.Х.</b> Современные методы при оценке состояния кабельных линий.....	257
<b>Гервасьева Ю.Р., Максимов В.В.</b> Моделирование токопроводящих шин с помощью программного комплекса Comsol Multiphysics .....	261
<b>Голенищев-Кутузов А.В., Семенников А.В., Миронов С.П.</b> Система автоматического управления ориентацией солнечной батареи .....	264
<b>Долматов Е.Н., Суворов А.А., Мухаметжанов Р.Н.</b> Отличительные особенности высоковольтных оптических трансформаторов тока и напряжения .....	267
<b>Иркагалиева И.И., Хузяшев Р.Г.</b> Сопоставление амплитуды тока резонансных вынужденных колебаний и переходного сигнала при резонансе напряжений и токов в реактивных элементах цепи .....	270
<b>Калиева М.О., Максимов В.В.</b> Мобильные комплексы для испытания силовых трансформаторов .....	274
<b>Корникова А.А., Козлов В.К.</b> Определение марки трансформаторного масла по координатам цветности .....	276
<b>Малькова Я.Ю., Уфа Р.А., Литвинов С.А.</b> Учет солнечной активности в оптимизационной задаче возобновляемой генерации.....	279
<b>Минаев И.А., Хузяшев Р.Г.</b> Импульсная характеристика CR-цепи.....	282
<b>Минанхузин И.И., Сабитов А.Х.</b> Современные методы диагностики состояния эксплуатируемых в России кабельных линий электропередачи .....	286
<b>Назаров А.А.</b> Алгоритм и методика оценки схемно-режимной значимости элементов энергосистем .....	289
<b>Насырова Э.Н., Салихов Р.Р., Гарифуллин М.Ш.</b> Характеристика современных виртуальных электросетей типа Microgrid .....	293
<b>Пигалин А.А., Гарифуллин М.Ш.</b> Применение БПЛА в электрических сетях и его экономический эффект .....	296
<b>Равин Д.А.</b> Влияние отклонений напряжения на работу асинхронных двигателей .....	300

<b>Радько П.П., Разживин И.А., Рубан Н.Ю.</b> Формирование методики анализа электроэнергетических систем на предмет риска возникновения недопустимых низкочастотных колебаний .....	303
<b>Разживина К.Д., Разживина К.Д., Мачан Д.В., Воркунов О.В.</b> Сравнительная характеристика современных элетроизоляционных конструкций .....	306
<b>Рахманкулов Ш.Ф., Гарифуллин М.Ш.</b> Комплексная система Eocortex для сбора и обработки видеоинформации на основе сетевых видеокамер .....	309
<b>Сабирзянова А.Ш., Касимов В.А.</b> Применение локационного мониторинга стрелы провеса проводов воздушных линий электропередачи .....	312
<b>Сабиров И.И.</b> Автоматизированные системы контроля состояния силовых трансформаторов .....	315
<b>Сагиров В.Р., Писковацкий Ю.В.</b> Перспективы развития солнечной энергетики в республике Татарстан .....	317
<b>Сагитов А.Р., Сабитов А.Х.</b> Цифровое моделирование силового масляного трансформатора как решение проблемы правильности расчетов его потерь .....	319
<b>Сапцына Е.Ю., Абеуов Р.Б.</b> Алгоритм синхронизации энергорайона с сетью энергосистемы в цикле автоматического повторного включения ЛЭП .....	323
<b>Саттаров Р.Е., Фомин К.Д.</b> Способы уменьшения потерь в воздушных линиях электропередач .....	326
<b>Смирнов Д.А., Хузяшев Р.Г.</b> Обратная свертка как способ восстановления истинной формы входного сигнала, поступающего на РС-фильтр .....	329
<b>Суханова С.П., Валиуллина Д.М.</b> Определение степени деградации трансформаторного масла по току на фотодиоде .....	332
<b>Тошходжаева М.И., Расулов Х.И.</b> Внедрение источников распределенной генерации: технико–экономические аспекты .....	335
<b>Третьякова Е.В., Маклецов А.М.</b> Современные подходы к реконструкции распределительных устройств .....	340
<b>Уткина В.Н., Галиев И.Ф.</b> Разработка модели функционирования зарядной станции на основе непрерывной цепи маркова .....	343
<b>Фаррахова А.М.</b> Цифровой разъединитель для сетей 6-10 кВ .....	346

<b>Филимонов С.С.</b> Аэроинспекция как способ диагностики состояния высоковольтных линий электропередач.....	349
<b>Фомин К.Д., Соломонов И.И., Гаязов А.Д.</b> Применение стандарта МЭК-61850 для повышения надёжности бесперебойности работы цифровых подстанций.....	352
<b>Хантимеров И.М., Салихов Р.Р., Воркунов О.В.</b> Компьютерное моделирование воздействия электромагнитных полей ЛЭП на открытые кабельные сети.....	354
<b>Хакимзянов Э.Ф., Агзамов М.Ф., Сагиров В.Р., Мавляутдинов Л.Р.</b> Определение потенциала внедрения солнечной энергетики в республике Татарстан.....	357
<b>Черепенькин И.В., Павлов П.П.</b> Электрический износ контактных проводов и арматуры, применяемых в контактной сети городского электрического транспорта .....	360
<b>Шарафиев Д.Ф.</b> Устройства (датчики) контроля температуры провода ВЛ.....	363
<b>Шипилов А.С., Ведерников А.С., Ярыгина Е.А.</b> Исследование точности прогнозирования электропотребления системы собственных нужд АЭС .....	365
<b>Юдин А.Д.</b> Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов, отработавших нормативный срок службы .....	368
<b>Яхин Ш.Р., Галиев И.Ф., Гизатуллин А.Р., Маклецов А.М.</b> Методика ранжирования эффективности мероприятий по реконструкции и модернизации участков распределительной сети.....	370

*Научное издание*

ХVII ВСЕРОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ МОЛОДЕЖНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»

20–22 октября 2022 г.

Материалы конференции

Подписано в печать 09.11.2022.  
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 22,2. Уч.-изд. л. 16,9.  
Тираж 30 экз. Заказ № 5261.

Центр публикационной активности КГЭУ  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «Фолиант»  
420111, г. Казань, ул. Профсоюзная, д. 17 В