

Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»

Академия электротехнических наук РФ

---

# **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

## **«ЭНЕРГИЯ-2020»**

**ПЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

### **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**г. Иваново, 7 - 10 апреля 2020 года**

**ТОМ 3**

**ИВАНОВО**

**ИГЭУ**

**2020**

УДК 620 + 621

ББК 31

Э 45

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА** // Пятнадцатая всероссийская (седьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2020»: материалы конференции. В 6 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2020. – 147 с.

ISBN 978-5-00062-419-7

ISBN 978-5-00062-422-7

Помещенные в сборник тезисы докладов студентов и аспирантов электроэнергетического факультета Ивановского государственного энергетического университета отражают основные направления научной деятельности кафедр в области электроэнергетики и высшего профессионального образования.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами электроэнергетики.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена, за исключением наиболее грубых ошибок оформления.

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

**Председатель оргкомитета:** проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

**Зам. председателя:** начальник управления НИРС и ТМ, к.т.н., доц. **А.В. МАКАРОВ**

**Члены оргкомитета по направлению:** декан электроэнергетического факультета – к.т.н., доц. **А.Ю. МУРЗИН**, зав. кафедрой ЭС – к.т.н., доц. **А.Е. АРЖАННИКОВА**, зав. кафедрой АУЭС – к.т.н., доц. **В.Д. ЛЕБЕДЕВ**, зав. кафедрой ТОЭЭ – к.т.н., доц. **М.Е. ТИХОВ**, зав. кафедрой ЭСПДЭ – к.т.н., доц. **А.В. ГУСЕНКОВ**, зав. кафедрой ВЭТФ – к.т.н., доц. **С.А.СЛОВЕСНЫЙ**.

**Ответственный секретарь:** к.т.н., доц. **ШАДРИКОВ Т.Е.**

**СЕКЦИЯ 13**  
**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

Председатель – к.т.н., доцент **Аржанникова А.Е.**

Секретарь – к.т.н., ст. преп. **Кормилицын Д.Н.**

*Ю.А. Белобородова, маг.;*  
*рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМОВ ЭЭС НА ПРИМЕРЕ ОДНОФАЗНОГО АПВ

Отечественные ПВК моделируют несимметричные режимы ЭЭС только по их прямой последовательности. При этом вызывает затруднения определение аварийного шунта при неполнофазном режиме.

В докладе на примере моделирования действия однофазного АПВ в сложной ЭЭС продемонстрирован метод [1] расчёта этого шунта.

Полученный анализ переходных процессов ЭЭС рис. 1 при действии однофазного АПВ позволяет оценить устойчивость системы и выяснить условия сохранения синхронизма при неуспешном однофазном АПВ.

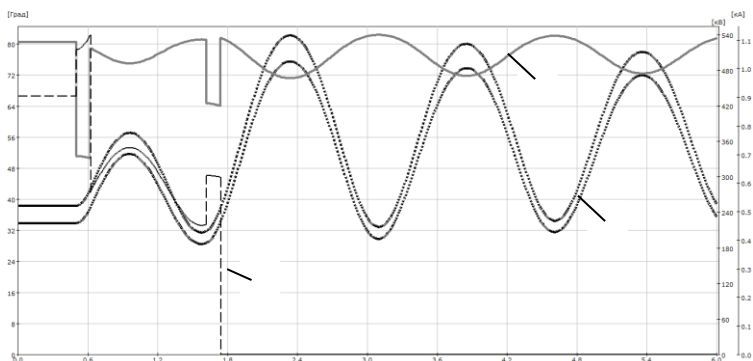


Рис. 1. Графики изменения при коротком замыкании на ВЛ:

- 1 – напряжения в месте КЗ;
- 2 – углов роторов генераторов;
- 3 – тока в поврежденной и отключенной ВЛ

### Библиографический список

1. Братолобов А.А. О связи параметров продольной несимметрии и поперечной несимметрии в ЭЭС. // Международная научно – техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XX Бенардосовские чтения) ИГЭУ. – 2019. Том 1. – С. 300-303.

*В.Ю. Вуколов, к.т.н.;  
А.А. Петров; М.В. Шарыгин, д.т.н.  
(НГТУ им. Р.Е.Алексеева, г. Нижний Новгород)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

В настоящее время распределительные сети 6-35 кВ являются либо радиальными, либо длительно работают в разомкнутом режиме для упрощения диспетчеризации и согласования уставок РЗА. Управление нормальным режимом такой сети осуществляется путем выбора оптимальной разомкнутой конфигурации и состава включенных в работу коммутационных аппаратов. Конечный механический и коммутационный ресурс выключателей и разъединителей ограничивает возможное число переключений на суточном интервале. Поэтому задачу управления нормальным режимом сети целесообразно решать на основе базы данных расчета параметров режима всех возможных конфигураций распределительной сети 6-35 кВ с учетом возможного диапазона изменения нагрузок в узлах.

В качестве основных параметров, по которым будет проводиться оценка характеристик и свойств распределительной сети 6-35 кВ, рекомендуется выбрать следующие:

- 1) технические потери электроэнергии в установившемся режиме сети;
- 2) единичные показатели надежности основных элементов электропередачи;
- 3) возможность селективного согласования уставок релейной защиты для выбранной конфигурации сети (неправильная работа РЗА приводит к возникновению ложных отключений и снижению надежности электроснабжения потребителей);
- 4) возможность поэтапного восстановления сети в послеаварийных и ремонтных режимах без ограничений электроснабжения потребителей.

Кроме того, использование синхронизированных измерений токов и напряжений в различных участках сети, позволяет реализовать более точные двухсторонние методы определения мест повреждения на линиях электропередачи при возникновении аварийных отключений.

**Выводы.** Разрабатываемые алгоритмы позволят обеспечить снижение потерь электроэнергии при ее передаче на величину до 10%, повышение надежности электроснабжения потребителей, уменьшение ущерба от недоотпуска электроэнергии и снижение тарифа на транспорт.

*И. Е. Гарин, маг.;*  
*рук. О. А. Бушуева, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОМПАКТНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ДЛЯ РАСЧЕТОВ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Актуальной задачей в области электроэнергетики является создание интеллектуальных электроэнергетических систем, основой которых должны быть компактные управляемые самокомпенсирующиеся воздушные линии электропередачи (УСВЛ), осуществляющие изменение собственных эквивалентных параметров и режимных характеристик [1-2].

Целью работы является создание информационной модели двухцепной компактной УСВЛ для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем с учетом конструкции опоры и марки провода.

Установлено, что для опоры типа «Чайка» отличительной особенностью конструкции является попарное сближение фаз для разных цепей, которое приводит к значительному увеличению их электромагнитного влияния, а регулирование угла сдвига между системами векторов напряжений и токов цепей обеспечивает изменение в большом диапазоне эквивалентных параметров и основных характеристик линии: волнового сопротивления, натуральной и зарядной мощностей.

Предложен математический аппарат для расчета основных параметров УСВЛ.

Результаты работы могут быть использованы для создания информационных моделей УСВЛ в расчетах установившихся режимов электроэнергетических систем.

### **Библиографический список**

1. **Положение** ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. Утверждено Советом директоров ОАО «Россети» 22.02.2017.
2. **Постолатий В.М., Быкова Е.В., Сулов В.М.** Управляемые компактные линии электропередачи высокого напряжения // Проблемы региональной энергетики. 2016. №1 (30).

*А.В. Гусельщикова, студ.;*  
*рук. Д.Н. Кормилицын, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ**

В настоящее время при расчете установившихся режимов и статической устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС) существенное значение занимает вопрос учёта зависимостей активной и реактивной мощности нагрузки от приложенного напряжения и частоты, называемых статическими характеристиками нагрузки (СХН) [1].

Лабораторные работы по дисциплине «Качество электрической энергии» позволяют студентам проводить опыты с помощью учебных комплектов, созданных ИПЦ «Учебная Техника». В ходе работы студенты смогут изменять значения напряжения и частоты в сети при подключении различных приемников и смешанной нагрузки. Полученные измерения позволяют оценить влияние отклонений напряжения и частоты в сети на качество электроэнергии в реальной электроэнергетической системе (ЭЭС).

В ходе исследования была проведена работа по подбору оптимальных потребителей электроэнергии для получения различных по виду статических характеристик нагрузки по частоте и напряжению, изучению влияния регулирующего эффекта нагрузки. Предполагается получение студентами квадратичных полиномов СХН отдельных потребителей по результатам измерений и их математическое моделирование в программном комплексе «EnergyCS». Целью является выявление погрешности между значением реального потребления мощности смешанной нагрузки и значением потребляемой мощности, полученной в результате учета СХН отдельных потребителей в программном комплексе.

Перспективное направление развития – использование возможности обмена данными между компьютером и стендовым оборудованием через плату PC1e-6024 [2] для минимизации ошибок при измерениях, а также создание учебно-методического комплекса для выполнения лабораторных работ.

### **Библиографический список**

1. **Управление качеством электроэнергии:** учеб. пособ. / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; Под ред. Ю.В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. дом МЭИ, 2017. – 347 с. : ил.
2. **NI 6023E/6024E/6025E Family Specifications** [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.ni.com/pdf/manuals/370719c.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/370719c.pdf) (01.07.2012).

*В. А. Егоров, студ.;  
рук. А. И. Кулешов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ОПОР ДЛЯ ВЛ 110 - 750 кВ**

Опоры воздушных линий электропередачи – это не только строительные конструкции, но и элементы, которые принимают на себя воздействие токов короткого замыкания и молний, комбинированные электрические и механические воздействия.

Кроме того, монтаж и ремонт оборудования в условиях труднодоступной местности является довольно непростой задачей. Причем высокий уровень износа элементов воздушных линий 110 – 750 кВ увеличивает актуальность разработки современных решений, одним из которых является применение опор из композитного материала, обладающих рядом преимуществ над традиционными типами опор (снижение затрат при транспортировке, простота сборки, снижение эксплуатационных затрат на обслуживание ВЛЭП, меньший вес, длительный жизненный цикл и другое) [1].

Однако в процессе разработки подобных инновационных опор требуется учитывать отличие их электрических параметров (электрическое сопротивление жилы постоянному току, индуктивное сопротивление проводов, допустимый ток нагрузки, ток термической стойкости и другое) от соответствующих параметров железобетонных и металлических опор, являющихся полностью проводящими [2].

Использование композитных материалов для опор ВЛ требует уточнения электрических параметров по причине того, что они влияют как на грозозащиту, так и на работу изоляции.

Существующие сегодня на рынке предложения стеклопластиковых стоек могут быть адаптированы для удовлетворения потребностей российской энергетики в конструкциях, которые аналогичны существующим типам опор.

### **Библиографический список**

1. **Савина Н.В.** Развитие видов опор ВЛЭП и их адаптация к современным условиям // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сб. ст. по матер. IX междунар. науч.-технич. конф. – Благовещенск: АмГУ, 2019.
2. **Бочаров Ю. Н.** Композитные опоры. Перспективы применения для ВЛ 110–750 кВ // Новости электротехники. 2012. №1. – С. 15-19.



*А.Н. Железнов, маг.;*  
*рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДВУХМАШИННОЙ ЭЭС

Целью исследования является сравнение двух методов оценки статической аperiodической устойчивости двухмашинной ЭЭС.

Исследование устойчивости проводится в программно-вычислительном комплексе (ПВК), в котором моделируется рассматриваемая электроэнергетическая система.

В результате утяжеления режима по взаимному углу положения роторов генераторов ( $\delta_{12}$ ) построены угловые характеристики (рис.1).

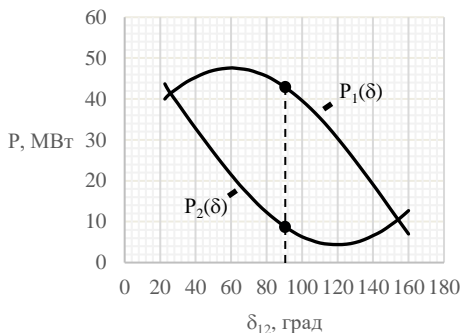


Рис.1. Угловые характеристики активной мощности двух генераторов  $P_1(\delta)$  и  $P_2(\delta)$

Эталонная оценка статической устойчивости проводится путём расчёта переходных процессов при малом возмущении, при этом сравниваются два критерия:

1. Критерий Вагнера-Эванса, в котором постоянная инерции машин ( $T_J$ ) оказывает влияние на устойчивость;

2. Критерий с учётом изменения частоты, в котором на устойчивость оказывает влияние коэффициент статизма ( $s$ ) мощности турбин.

Устойчивость анализируется в режиме при  $\delta_{12} = 90^\circ$  (см. рис. 1).

При расчёте электромеханического переходного процесса, варьируется  $T_J$  и  $s$  генераторов. В результате расчётов выявлено, что при фиксированных  $T_J$  и различных соотношениях  $s$  второй критерий полностью выполняется. Тогда как при некоторых значениях  $s$ , любая комбинация  $T_J$  не приводила к нарушению устойчивости.

*А.В. Калуцков, студ.;  
рук. Д.Н. Кормилицын, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРАВЛЯЕМОЙ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ**

Установка управляемой продольной компенсации способна существенно увеличить пропускную способность линии электропередачи, заметно сокращать взаимный угол между напряжениями на шинах отправной и приемной частей системы, а также повышать устойчивость системы в целом. Данные процессы характерны для энергосистем с электропередачами номинального напряжения 500 кВ [1]. Однако в отличие от электропередач 500 кВ ограничение на предел передаваемой мощности чаще всего накладывает токовая загрузка элементов сети, а не проблемы с устойчивостью энергосистемы [2].

Целью данной работы является повышение пропускной способности электропередач высокого напряжения на основе применения управляемых устройств продольной компенсации.

В качестве рассматриваемого объекта исследования принята часть электроэнергетической системы Республики Коми. При полной токовой нагрузке линий, связывающих электрическую станцию через несколько подстанций с мощной энергосистемой, на станции появляется «запертая мощность», которую невозможно выдать без разгрузки смежных более мелких электрических станций, что требует увеличения пропускной способности линий связи.

Произведена качественная оценка возможности установки УПК на линии 220 кВ с уже существующими параметрами линий, а также выработаны варианты по их изменению для достижения максимального эффекта от применения управляемой продольной компенсации.

### **Библиографический список**

1. **Голов В.П.** Выбор коэффициентов регулирования автоматического регулятора возбуждения для сохранения колебательной устойчивости электроэнергетической системы с управляемой линией электропередачи / В.П. Голов, Н.А. Градов, Д.Н. Кормилицын, Е.С. Скоропеева, Ю.О. Чуркина // Вестник ИГЭУ. №5, 2017. – с. 27-36.

2. **Куликов Ю.А.** Переходные процессы в электроэнергетических системах. – М: Омега-Л, 2013. –384 с.

*А.А. Корчагина; А.А. Рубцова, студ.;  
рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УУПК В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB GUI**

В электроэнергетических системах (ЭЭС) существует проблема недостатка пропускной способности линий электропередачи сверхвысокого напряжения (ЛЭП СВН), устойчивости и управляемости. Для решения этих проблем применяются управляемые устройства продольной компенсации (УУПК).

Изучая дисциплину «Дальние линии электропередачи сверхвысокого напряжения» студенты исследуют вопросы повышения устойчивости ЭЭС содержащей ЛЭП СВН с управляемыми устройствами продольной и поперечной компенсации. Эти вопросы решаются с помощью математического моделирования, используя современные программные комплексы.

Математическое моделирование ЭЭС в программном комплексе MATLAB GUI значительно упрощает и позволяет наглядно проводить вычислительные эксперименты, исследуя устойчивость ЭЭС с управляемыми устройствами продольной и поперечной компенсации. Данная модель можно использовать в учебном процессе для изучения вопросов повышения пропускной способности ЛЭП СВН, выбора закона регулирования управляемых устройств с целью повышения устойчивости ЭЭС.

### **Библиографический список**

1. **Мартиросян А.А.**, Зотова М.В., Кормилицын Д.Н. Выбор места установки и законов регулирования устройств продольной емкостной компенсации для повышения устойчивости электроэнергетической системы // Вестник ИГЭУ, 2017. Вып. 4. – с. 30-36.

*Е.О.Кривова, студ.;*  
*рук. И.В. Ившин, д.т.н., проф.*  
*(КГЭУ, г. Казань)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРО-ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В КАЧЕСТВЕ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ УДАЛЁННОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Изолированные от энергосистемы потребители испытывают такие проблемы, как дефицит электроэнергии, дальний транспорт топлива, ограниченность сроков сезонного завоза. В результате этого источники электроэнергии имеют низкие технико-экономические показатели, а рост цен на топливо провоцирует удорожание электроэнергии [1].

Практический опыт показывает, что именно затраты на топливо являются основополагающими в себестоимости получаемой энергии [2].

Существенным недостатком ветрогенераторной установки является непостоянство направления и скорости ветра, вследствие переменной погоды. Выходом из ситуации может стать использование системы аккумуляторов большой емкости или комбинация с дизель-генератором. Во втором случае возможно распределение потребляемой энергии между ветроэнергетической установкой и дизелем.

Сочетание дизельных электростанций с альтернативной энергетикой даст возможность понизить топливную составляющую, что существенно повысит эффективность такого решения [1].

Именно возобновляемые источники электроэнергии представляют особый интерес в вопросе развития систем электроснабжения удаленных потребителей малой мощности [2].

Публикация статьи осуществлена в рамках проекта «Создание серии электроприводов на базе российских высокоэффективных синхронных двигателей для станков-качалок нефти с применением беспроводных систем передачи данных и адаптивной системой управления для «умных» месторождений, Соглашение №074-11-2018-020 с Минобрнауки РФ от 30 мая 2018 г.

### **Библиографический список**

1. **Хошнау З. П.** Пути повышения энергоэффективности автономных ветроэлектростанций // Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Электроэнергия: от получения и распределения до эффективного использования" – Томск: политех. ун-т, 2010. – с. 3-10.
2. **Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А.** Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями // Учеб. пособ., 2015. – с. 6-7.

**Ф.А. Куликов, А.М. Кормилицына, студ.; И.Е. Иванов, ст. преп.;**  
**рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.**  
**(ИГЭУ, г. Иваново)**

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ТОЧНОСТЬ ДВУСТОРОННЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

Точность двустороннего определения места повреждения (ОМП) на воздушной линии (ВЛ) зависит от множества факторов: вид короткого замыкания, его местоположение, методическая погрешность используемого алгоритма, погрешности измерительных трансформаторов тока и напряжения [1]. Вместе с тем точность ОМП существенно зависит от корректности задания параметров ВЛ. **Целью исследования** является комплексный анализ взаимосвязи между вариациями параметров ВЛ – комплексных сопротивлений и проводимостей – и погрешностями двустороннего ОМП. **Методом исследования** является математическое моделирование с применением программного обеспечения *MATLAB/Simulink* и *ATPDraw*.

В результате проведенных исследований установлено, что неточности задания параметров схем замещения прямой и нулевой последовательностей ВЛ оказывают существенное влияние на точность ОМП (рис. 1), сопоставимое с влиянием погрешностей измерений. В связи с этим **необходима** разработка методов уточнения параметров ВЛ, используемых в алгоритмах двустороннего ОМП.

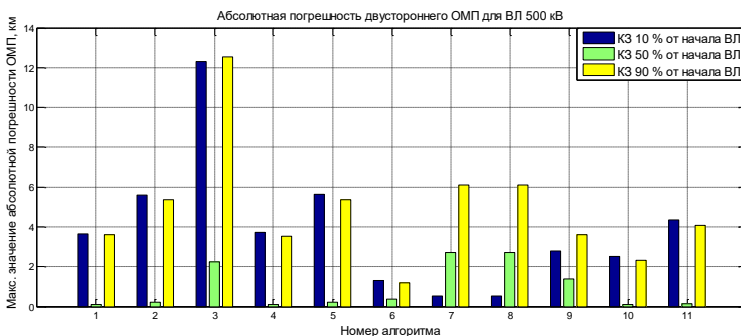


Рис. 1. Предельные погрешности ОМП, вносимые неточностью задания параметров ВЛ

### Библиографический список

1. **Аржаников Е.А.** Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржаников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов; под ред. В.А. Шуина. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.

*Ф.А. Куликов, А.М. Кормилицына, студ.; И.Е. Иванов, ст. преп.;  
рук. А.Ю. Мурзин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ С УТОЧНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Совершенствование методов определения места повреждения (ОМП) на высоковольтных воздушных линиях (ВЛ) электропередачи является *актуальной задачей*, от точности решения которой зависят финансовые и временные затраты, связанные с поиском, устранением повреждения и восстановлением нормальной конфигурации электрической сети.

Одним из факторов, вносящих методическую погрешность при решении задачи ОМП, является неточность учета параметров ВЛ, входящих в расчетные выражения. *Цель исследования* заключается в разработке и тестировании метода, направленного на компенсацию погрешностей двустороннего ОМП, вносимых некорректной информацией о фактических параметрах ВЛ. В качестве основного *метода исследования* используется математическое моделирование с применением программного обеспечения MATLAB.

Вместо расчетных выражений двустороннего ОМП [1], в которых параметры ВЛ считаются известными, разработана система уравнений, в которую в качестве переменных входят все параметры схем замещения прямой и нулевой последовательностей ВЛ, а не только расстояние до места повреждения. Система уравнений формируется на основе модели ВЛ с распределенными параметрами. Для определения текущих параметров схем замещения используются данные *синхронизированных векторных измерений напряжений и токов* [2], зафиксированных по концам ВЛ в момент возникновения короткого замыкания.

Предварительный анализ *результатов моделирования* свидетельствует о работоспособности предложенного метода ОМП, однако сделать более объективные выводы возможно только после детального анализа реальных погрешностей векторных измерений, выполненных при возникновении короткого замыкания на ВЛ.

### **Библиографический список**

1. **Аржанников Е.А.** Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов; под ред. В.А. Шуина. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
2. **IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems**, IEEE Standard C37.118.1-2011.

*Ю.В. Мокроусова, студ.;*  
*рук. А.Г. Фишов, д.т.н., проф.*  
*(НГТУ, г. Новосибирск)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ MINI-GRID С ДВУМЯ ТОЧКАМИ ПОДКЛЮЧЕНИЯ К ВНЕШНЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Актуальность и практическая значимость данной темы обусловлены тем, что в настоящее время активно развивается распределенная малая генерация (до 25 Мвт), при этом, на основе вводимых источников энергии могут создаваться потенциально сбалансированные по мощности и энергии районы электрической сети, способные работать, как автономно, так и параллельно с внешней электрической сетью (Minigrid). При присоединении Minigrid к внешней электрической сетью в двух точках достигаются максимальные системные эффекты по надежности электроснабжения, экономичности передачи электроэнергии и управляемости режима. Для обеспечения возможности такого присоединения и извлечения системных эффектов в составе Minigrid должно быть фазоповоротное устройство.

Целью работы является разработка алгоритмов управления режимами Minigrid с двумя точками присоединения к внешней электрической сети и исследование потенциала системных эффектов от такого технического решения на примере физической модели Minigrid, создаваемой в НИУ МЭИ, где в качестве фазоповоротного устройства используется асинхронный двигатель с фазным ротором.

Одним из первых этапов исследования является создание и верификация цифровой модели Minigrid, соответствующей ее реальным переходным процессам и установившимся режимам.

Работа выполняется с применением логико-математического моделирования с верификацией модели по результатам испытаний автоматики и тестирования физической модели Minigrid. В дальнейшем результаты предполагается использовать для совершенствования алгоритмов автоматики по управлению режимами Minigrid.

### **Библиографический список**

1. **Smart** технологии для подключения к электрическим сетям и управление режимами малой генерации. / Фишов А. Г., Ландман А.К., Сердюков О. В. // Сб. труд. конф. Электроэнергетика глазами молодежи, г. Самара 02-06 окт. 2017. СГТУ (Самара), 2017. – с. 27-34.

*М.Р. Отузбаев, студ.;*  
*рук. А.Г. Русина, д.т.н., доц.*  
*(НГТУ, г. Новосибирск)*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОЩНОСТИ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Прогнозирование мощности нагрузки является актуальной задачей в процессе планирования и управления режимами электроэнергетической системы. Всё более и более востребованным становится решения задач прогнозирования с применением технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. С помощью аналитической платформы Deductor были проведены очистка и анализ данных, составление модели, её обучение на ретроспективных данных и верификация на примере Новосибирской энергосистемы. Из метеорологических факторов учитывались атмосферное давление и температура окружающей среды, так как данный показатель имеет наибольший коэффициент корреляции.

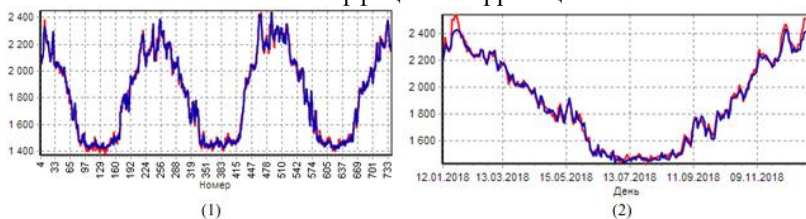


Рис. 1. Графики нагрузки (1) на период ретроспективы и (2) на период прогноза, синяя линия – прогнозируемая мощность, красная линия – реальная мощность

В результате прогнозирования средняя погрешность модели составила 1,1%. Что касается показателей эффективности применения полученной модели: максимальная погрешность составила 4,88 %, а средняя - 1,36 %.

### Библиографический список

1. **Русина А.Г.,** Отузбаев М.Р. Разработка модели прогнозирования графиков нагрузки с использованием аналитической платформы Deductor // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства: сб. ст. 2 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием им. В. В. Губарева, Новосибирск, 11–13 дек. 2018 г. – Новосибирск: Изд: НГТУ, 2018. – С. 267–272.



*В.Р. Рафиков, студ.; И.Е. Иванов, ст. преп.;  
рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОМОЩЬЮ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ**

Внедрение и развитие технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ) в электроэнергетических системах (ЭЭС) позволяет осуществлять полноценный мониторинг параметров электрических режимов, что способствует совершенствованию алгоритмов систем релейной защиты, автоматики и управления энергосистемами. Широкое распространение СВИ предоставляет потенциальную возможность автоматической идентификации параметров оборудования ЭЭС.

**Основной целью исследования** является разработка методики определения параметров синхронного генератора (СГ) по данным установившегося режима ЭЭС, используя измерения напряжений и токов, полученные с устройств СВИ. **Методом исследования** является математическое моделирование с применением программного комплекса «MATLAB» и реальных архивов СВИ.

На первом этапе работы сформирована математическая модель СГ, используемая при расчете установившихся режимов ЭЭС, и на ее основе разработаны и протестированы несколько методов определения синхронных сопротивлений турбо- и гидрогенератора на базе СВИ в установившихся режимах ЭЭС.

На втором этапе осуществлена оценка влияния систематических погрешностей и «шумов» измерений на результаты расчета параметров СГ в соответствии с рассматриваемой методикой.

**Результаты** вычислительных экспериментов свидетельствуют о возможности верификации синхронных сопротивлений СГ на основе СВИ. Окончательные выводы будут сформулированы после обработки реальных архивов СВИ с нескольких СГ. **Дальнейшее направление исследований** связано с уточнением параметров СГ на базе СВИ в переходных режимах ЭЭС.

### **Библиографический список**

1. **IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems, IEEE Standard C37.118.1-2011.**

*А.С. Смирнов, маг.;*  
*рук. А.А. Братолобов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ

Продолжая исследования математических моделей синхронной машины (СМ) [1], было произведено моделирование подключения ненагруженного генератора к линии с большой ёмкостной проводимостью для выявления области самовозбуждения путем решения уравнений электрической системы в программном комплексе «Matlab Simulink».

Точечным методом получены зоны асинхронного и синхронного самовозбуждения для опытов подачи малого возбуждения и опыта с подключением линии к генератору на холостом ходу.

Сравнение полученных результатов для полных моделей в записи через ЭДС (сплошная линия) с учетом электромагнитной инерции статорной цеп и в записи через потокосцепления (пунктирная линия) представлены на рис. 1.

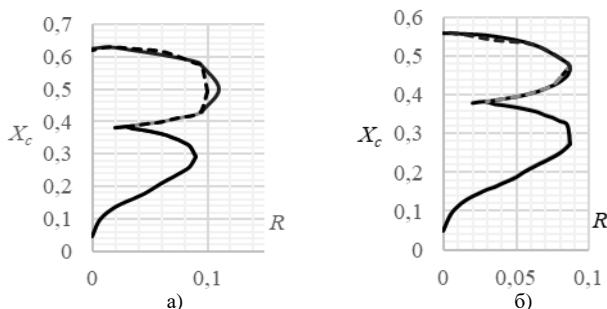


Рис. 1. Сравнение областей самовозбуждения для опытов: а) подачи малого возбуждения; б) подключением линии к генератору на холостом ходу

Из полученных результатов видно, что модели в записи через ЭДС и в записи через потокосцепления дают одинаковые зоны самовозбуждения. Незначительные различия вызваны погрешностью точечного метода, что дает повод говорить о возможности использования полной математической модели СМ в записи через ЭДС.

### Библиографический список

1. Смирнов А.С. Исследование математических моделей синхронных машин для анализа переходных процессов в ЭЭС // Сб. науч. трудов XIV Международная н.-т. конф. студ., асп. и молодых ученых «Энергия-2019» в 7 т. Т. 3. – Иваново: ФГБОУВО Иван. гос. энерг. ун-т. им. В.И. Ленина», 2019. – С.20

*Ю.И. Сысоева; А.И. Сибирякова, студ.;  
рук. А.О. Егоров, к.т.н., доц.  
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

## **МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА НА УРАЛЕ**

Малая гидроэнергетика является перспективным и доступный возобновляемым ресурсом Урала, который имеет перспективы для электроснабжения малых и удалённых потребителей электроэнергии. На территории Урала протекает более 18 тысяч рек, более 100 искусственных водоёмов с объёмом воды выше 1 млн. м<sup>3</sup> имеют плотины. Использование имеющихся плотин для постройки на них новых мини ГЭС имеет ряд преимуществ.

Мини ГЭС, которые могут быть построены на старых заводских плотинах Урала, с минимальным нарушением экологии, могут эффективно решать задачи, связанные с относительно дешёвым электроснабжением удалённых потребителей, когда электросетевое строительство является слишком затратным.

Реконструкция существующих плотин и строительство на них новых мини ГЭС для удалённых потребителей, позволит:

- Снизить нагрузку на электрические сети;
- Уменьшить потери в распределительных сетях;
- Повысить надёжность электроснабжения;
- Повысить качество электроснабжения в районах с резко переменным графиком нагрузки.

Свердловская область является промышленным регионом, в котором расположены крупные промышленные центры чёрной и цветной металлургии. Предварительные изыскания показывают, что для Свердловской области перспективный объём строительства мини ГЭС для удалённых потребителей может составить около 300 МВт, что немного для всей области с установленной мощностью электростанций 10600 МВт, но весьма существенно для потребителей, расположенных в сельской местности. Реализация строительства мини ГЭС также целесообразна для Челябинской области и Пермского края Урала.

*Р.М. Хамдард; А.С. Высокогляд, студ.;  
рук. Н.Н. Смотров, асс.  
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## **ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ 6(10) КВ С УЧЁТОМ РЕЖИМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ**

В настоящее время происходит перевод распределительных сетей 6(10) кВ на низкоомный режим заземления нейтрали. Низкоомный режим заземления нейтрали характеризуется большими токами однофазного замыкания на землю, который может вызвать опасные уровни напряжения на заземленных корпусах электроустановок.

Целью работы является расчет параметров распределительной сети на напряжение прикосновения при ОЗЗ.

При расчетах напряжения прикосновения варьировались следующие параметры: тип заземления нейтрали, длины кабельных линий (КЛ) между центром питания и РП, длины КЛ между РП и ТП, тип грунта. На основе проведенных расчетов, получены следующие результаты: при изолированном режиме заземления нейтрали максимальное значение в непосредственной близости от ТП. Сопротивление земли было принято 50 Ом, что соответствует удельному сопротивлению чернозема. Значения напряжения прикосновения на расстоянии 1 км от ТП составляет 113 Вольт, а ток через тело человека больше 11 мА. Данное значение превышает пороговый неотпускающий ток и является опасным для человека. На 5 км от ТП происходит снижение напряжения замыкание в 2 раза, и значение тока снижается до порогового осязательного.

При низкоомном режиме заземления нейтрали большая часть тока протекает через сопротивление заземлителя. При расчете в непосредственной близости от ТП напряжение прикосновения составляет 1160 В, а ток через тело человека составляет больше 1 А. Данное значение является смертельным для человека, так как пороговое значение фибрилляционного тока составляет 100 мА.

Исходя из полученных результатов видно, что при низкоомном режиме заземления нейтрали напряжения прикосновения больше чем при изолированном, и электробезопасность будет обеспечиваться только быстрым отключением поврежденной фазы.

### **Библиографический список**

1. **Карякина Р.Н.** Основы электромагнитной совместимости. – Барнаул, 2007.
2. **ГОСТ 12.1.038-82.** Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.

**Ю.С. Шибачев, студ.;**  
**рук. А.А. Мартиросян, к.т.н., доц.**  
**(ИГЭУ, г. Иваново)**

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНЗИТА КОЛА-КАРЕЛИЯ-ЛЕНИНГРАД

Кольская энергосистема является избыточной с установленной мощностью генерации 3606 МВт и собственным максимумом потребления за последние 5 лет на уровне 1935 МВт (2016 год). Борисоглебская ГЭС-8 (установленная мощность 56 МВт) имеет возможность работать параллельно с энергосистемой Норвегии в режиме «острова». Также осуществляются экспортные поставки до 75 МВт в энергосистему Финляндии. При этом максимально допустимый переток по критерию апериодической статической устойчивости в сечении Кола-Карелия составляет 600 МВт в нормальной схеме (с учетом действия существующей противоаварийной автоматики и работы ЦС АРЧМ Кольской энергосистемы).

На данный момент ведутся работы по усилению транзита путем ввода в работу вторых цепей ВЛ на участках ПС Лоухи – Путкинская ГЭС и Путкинская ГЭС – Ондская ГЭС. Также существуют проекты по строительству вторых цепей на остальных участках транзита.

В данной работе рассматривается альтернативный вариант повышения пропускной способности транзита с применением устройств продольной емкостной компенсации.

Схема транзита Кола-Карелия-Ленинград приведена на рис. 1.

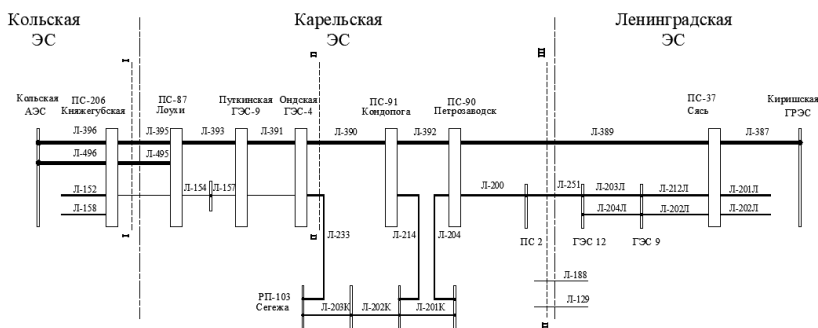


Рис. 1. Схема транзита Кола-Карелия-Ленинград

### Библиографический список

1. Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс] // URL: <http://so-ups.ru/> (Дата обращения 28.12.2019).

*А.И. Марченко, И.С. Мурашкина, асп.;*  
*рук. А.Г. Фишов, д.т.н., проф.*  
*(НГТУ, г. Новосибирск)*

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ**

Актуальность темы исследования определяется ежегодным ростом количества ввода объектов распределенной малой генерации, как в России, так и в мире, при этом учащаются случаи возникновения аварийных ситуаций, в основном связанные с особенностями технологического присоединения электростанций в существующие электрические сети и последующей эксплуатацией оборудования объектов малой генерации. Эффективность работы локальных систем электроснабжения на базе малой распределенной генерации (MiniGrid) определяется выработкой тепловой и электрической энергии и её реализацией близлежащим энергопотребителям. В проведенных исследованиях были проанализированы технические решения по интеграции MiniGrid с установками малой распределённой синхронной генерацией на базе когенерационных энергоблоков в общую электрическую сеть региональной энергосистемы большой мощности. Исследована разработанная в Новосибирском государственном техническом университете, с участием авторов, инновационная технология управления режимами параллельной работы MiniGrid с сетью. Доказано, что при синхронной работе с электрической сетью энергосистемы обеспечивается безопасность работы, как для объекта малой генерации, так и для распределительной сети, надежность электроснабжения потребителей MiniGrid и качество электрической энергии. Режим работы энергоблоков ведется автооператором («беспилотная» электростанция), при этом имеется возможность выдачи или потребления электроэнергии, т.е. её обмена с внешней электрической сетью. Обеспечивается возможность свободного (малозатратного) присоединения, как энергопотребителей, так и ввода в состав MiniGrid новых энергоблоков малой генерации при осуществлении параллельной работы с электрической сетью энергосистемы.

### **Библиографический список**

1. **Марченко А.И.** Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью / А.И.Марченко, В.В. Денисов, И.С. Мурашкина // Научный вестник НГТУ. – 2019. № 1 (74). – С. 77–90. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-77-90.

**СЕКЦИЯ 14**  
**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ**

**Председатель – к.т.н., профессор Бушуева О.А.**

**Секретарь – ст. преп. Полкошников Д.А.**

*Д. А. Абсатаров, маг.;  
рук. Н. В. Денисова, к.ф.-м.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ» В СТРУКТУРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

Система «Умный город» многофункциональна и включает в себя технологии управления и энергосбережения электроэнергии путем объединения зданий, предприятий и коммунальных электросетей в единую информационную сеть (Smart GRID). Уже внедряются элементы этой системы – электронные карточки жителя для авторизации в различных учреждениях, системы интеллектуального управления светофорами, управляемые тепловые насосы для перераспределения тепла между потребителями, адаптивное наружное освещение и многое другое. На нижнем уровне находится система «Умный дом», которая предназначена для управления водоснабжением, освещением, регулировкой климата и настройкой охранных систем. Поддержание климата в промышленных предприятиях – одна из задач для создания комфортной среды обитания человека. Изменение температуры в помещении всего лишь на несколько градусов может значительно повлиять на самочувствие.

В современном промышленном предприятии устанавливают следующие климатические системы (климат-контроль):

1. системы вентиляции для обеспечения притока свежего воздуха из помещения и отведения использованного воздуха на улицу;
2. системы кондиционирования для изменения температуры внутреннего воздуха в помещении;
3. системы отопления для обогрева помещений.

Для того чтобы эти системы работали совместно для создания микроклимата, им нужен управляющий элемент. Этим элементом и выступает система "Умный дом". Например, теплый пол не будет прогревать помещение в то время, когда оно охлаждается кондиционером. Кроме этого, в современном промышленном предприятии встает задача поддержки разного климата в разных помещениях. Умное управление климатом призвано оптимизировать алгоритм работы оборудования, что в свою очередь ведет к увеличению ресурса работы оборудования и экономии средств.

### **Библиографический список**

1. [http://www.csr-nw.ru/files/publications/doklad\\_tehnologii\\_dlya\\_umnyh\\_gorodov.pdf](http://www.csr-nw.ru/files/publications/doklad_tehnologii_dlya_umnyh_gorodov.pdf)
2. <https://studfile.net/preview/8073276/>



*Д.Е. Артемов, студ.;  
рук. Н.В. Денисова, к.ф.-м.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

В тезисе представлено развитие технологий современного освещения. В настоящее время все более широкую популярность приобретают светодиодные приборы, которые обеспечивают качественное освещение объектов, отличаются длительным сроком эксплуатации и экономичностью в использовании. Исследование материалов и методов производства светодиодов (СД) позволяет активно совершенствовать продукцию, производимую производителем.

**Ключевые слова:** источники питания светодиодов по переменному току, возможность настройки цвета, освещение и биоритмы.

При разработке новых технологий освещения уделяется внимание и источникам питания. Так, традиционно для обеспечения равномерного (без мерцания) освещения применяются источники питания на постоянном токе, обеспечивающие защиту светодиодного светильника от короткого замыкания, перегрева и перепадов напряжения. Но в последнее время намечается тенденция к использованию источников переменного тока. К их преимуществам относится простота архитектуры и способность избавлять светодиоды от таких недостатков как низкая мощность и значительные нелинейные искажения [1].

Современные световые технологии позволяют проектировать СД-светильники для получения любого цвета в видимом диапазоне. Полный спектр цветов излучают фиолетовые и синие светильники. Востребованы цветные приборы, прежде всего, для оформления автомашин, торговых и жилых помещений [2].

Стремление адаптировать технологии освещения жилого помещения к особенностям человеческого организма, приводит к появлению светильников с управляемым цветом излучения. Использование такого оборудования позволяет организовать освещение, которое благоприятно влияет на здоровье человека, в частности, на биоритмы, от которых зависит вероятность развития ожирения, диабета и онкологических заболеваний [3].

### Библиографический список

1. <https://www.pravda.ru/navigator/sovremennye-tekhnologii-osveshchenija.html> (Дата обращения 29.10.2019).
2. **Бугров В.Е., Виноградова К.А.** Оптоэлектроника светодиодов: учеб. пособ. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.
3. **Д. Килпатрик.** Свет и освещение. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 223 с.

*В.Р. Басенко, асп.,  
М.Ф. Низамиев, к.т.н., доц.;  
рук. И.В. Ившин, д.т.н., проф.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Разработан и создан измерительно-диагностический комплекс для регистрации параметров вибрационных сигналов силового трансформатора на основе бесконтактных лазерных виброметров с применением программного обеспечения на основе LabVIEW (рис. 1).

Программное обеспечение позволяет сравнивать спектры эталонного и контролируемого сигнала с помощью целевых функций сравнения на различных интервалах частот, выявлять различия и формировать характеристики сравнения.



Рис. 1. Структурная схема лазерного измерительно-диагностического комплекса

Сравнение формы сигналов с эталонной осуществляется с помощью информационной спектральной технологии, в основе которой лежит сравнение соотношения амплитуд и начальных фаз основной составляющей каждой из кратных ей по частоте составляющих.

### Библиографический список

1. **Измерительно-диагностический комплекс** для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев, И.В. Ившин, О.В. Владимиров, Ю.В. Ваньков // Изв. высш. учеб. зав. Проблемы энергетики, 2014. – №3-4. – С. 108-113.
2. **Петрухин В.В.** Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учеб. пособие. / В.В. Петрухин, С.В. Петрухин. – М.: Инфра-Инженерия, 2010. – 176 с.
3. **Измерительно-диагностический комплекс** для контроля технического состояния электротехнического оборудования / М.Ф. Низамиев, И.В. Ившин, В.В. Максимов, Ф.Ф. Билалов // Электрика, 2015. - №6. – С.18-25.

*В.А.Беляева, А.Н. Белов, маг.;*  
*рук. А.Е. Аржанникова, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

В рамках дисциплины «Спецвопросы оптимизации структур и параметров систем электроснабжения (СЭС)» ведется работа по созданию математических моделей СЭС и использования их для выбора оптимальных параметров (мощностей батарей статических конденсаторов (БСК)), обеспечивающих совместное выполнение экономического критерия (минимума затрат) и технического критерия – обеспечения качества электроэнергии.

При передаче электроэнергии в элементах сети происходит падение напряжения, которое можно компенсировать добавками напряжения за счет компенсации реактивной мощности с помощью БСК и за счет управления коэффициентом трансформации с помощью устройств ПБВ, например. Мощности батарей конденсаторов, ответвления ПБВ - величины дискретные, что существенно усложняет решение задачи оптимизации режимов СЭС. Эти переменные включены в ограничение по обеспечению требуемого уровня напряжения в узле подключения нагрузки, которое реализует технический критерий оптимизации.

Продолжением работы по использованию встроенных средств Excel в задачах оптимизации режимов работы СЭС стало введение в математическую модель СЭС сельскохозяйственного района нового параметра оптимизации - ряда дискретных (целочисленных: -2, -1, 0, +1, +2) значений ответвлений ПБВ трансформаторов ( $n_i$ ) и соответствующих им двоичных переменных ( $\delta_i$ ). Сумма произведений ( $\Delta k\% \sum n_i \delta_i$ ) реализует в формуле ограничения по напряжению добавку за счет ПБВ. Для каждой из трансформаторных подстанций в сервисе «Поиск решения» добавлены ограничения, задающие двоичным переменным их тип, и ограничения вида «если..., то...», которые задают логические условия «если в оптимальное решение должно войти одно из дискретных значений ответвлений ПБВ, то  $\sum \delta_i = 1$ ». Модель позволила создать варианты для самостоятельной работы магистрантов на лабораторных занятиях и может быть использована в проектной части выпускной квалификационной работы. Полный перебор дискретных значений оптимизируемых переменных привел бы к многократному росту объема расчетов.

Изучение методов дискретного программирования, разработка вариантов заданий с использованием Excel, оформление методических материалов являются частью НИР авторов.

*В.В. Еременко, асп.; Р.Ш. Бедретдинов, к.т.н.  
рук. Е.Н. Соснина д.т.н., проф.,  
(НГТУ, г. Нижний Новгород)*

## СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Одним из направлений повышения энергоэффективности атомных электростанций (АЭС) является снижение расхода электроэнергии собственных нужд (СН), на долю которых приходится около 10 % от общей генерации электроэнергии. Так, при уменьшении потребления электроэнергии СН только на 1% экономический эффект для АЭС может составить более 20 млн. руб/год.

На рис. 1 приведена диаграмма расхода электроэнергии основных потребителей СН АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК.

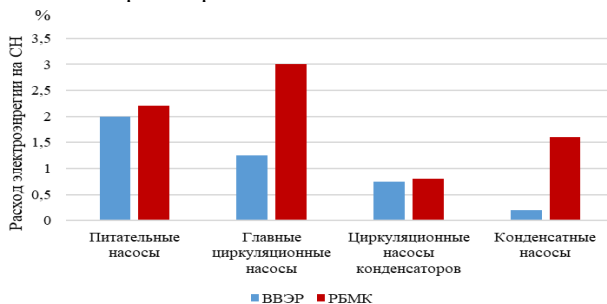


Рис. 1. Расход электроэнергии основных потребителей СН АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК

К основным потребителям СН АЭС относятся электроприводы питательных, главных циркуляционных и конденсатных насосов, циркуляционных насосов конденсаторов и др.

К системе СН предъявляются повышенные требования надежности, так как авария на АЭС может привести к крупным техногенным катастрофам.

Потребители СН АЭС делятся на три основные группы: I - потребители, не допускающие перерывов в электроснабжении (ЭС); II - потребители, допускающие перерыв питания длительностью 1-3 минуты; III - потребители, не предъявляющие повышенных требований к надежности ЭС.

Повышение энергоэффективности СН АЭС возможно за счет: оптимизации режима работы электроприемников, повышения качества электрической энергии, применения электроприемников с улучшенными характеристиками, выбора рациональных схем СН, применения альтернативных источников энергии, а также цифровизации системы ЭС СН.

*Р.А. Искаков, студ.;*  
*рук. С.О. Гапоненко, к.т.н., доц.*  
*(КГЭУ, г. Казань)*

## О ПРОБЛЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Вопрос электроснабжения в крупных городах включает в себя следующие пункты: надёжность сети, способность выстоять перегрузкам, безопасность и экологичность. Были случаи, когда аварии на линии приводили к большим проблемам. Вставал электротранспорт, обесточивались жилые дома и муниципальные учреждения, прекращалось отопление. В итоге эти ситуации приводили к большим финансовым убыткам [1].

Что касается малых и средних городов, то здесь ситуация складывается серьезнее: недостаточно трансформаторной мощности для стабильного электроснабжения. Это касается, как и жилых построек, так и муниципальных учреждений. Также неудовлетворительное состояние коммунальных электрических сетей. Оборудование требует замены и модернизации [2].

Говоря об отдаленных населенных пунктах, то можно обозначить одну главную проблему: затруднительная постройка ЛЭП и поставка электроэнергии на большое расстояние. Чтобы электрофицировать дальше поселение нужна большая сумма. Не всегда представляется возможным выделить бюджет под эту задачу. Вдобавок нужен четкий план прокладки электрических сетей и, соответственно, выделить электрическую станцию для выработки энергии [3].

### Библиографический список

1. **Ruscable.ru** [Электронный ресурс]: Проблемы электроснабжения крупных городов и мегаполисов URL: [https://www.ruscable.ru/article/Problemy\\_elektrosnabzheniya\\_krupnykh\\_gorodov\\_i](https://www.ruscable.ru/article/Problemy_elektrosnabzheniya_krupnykh_gorodov_i) (Дата обращения: 25.01.2020).
2. **Союз** малых городов Российской Федерации [Электронный ресурс:] Оценка состояния и проблемы электроснабжения URL: <http://smgrf.ru/otsenka-sostoyaniya-i-problemy-elektrosnabzheniya> (Дата обращения: 25.01.2020).
3. **Научная** электронная библиотека «Киберленинка» [Электронный ресурс]: Обеспечение электроэнергией труднодоступных, малонаселенных и удаленных регионов URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie\\_elektroenergiy-trudnodostupnyh-malonaselennyh-i-udalennyh-regionov](https://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie_elektroenergiy-trudnodostupnyh-malonaselennyh-i-udalennyh-regionov) (Дата обращения: 25.01.2020).

*А.А.Кочегарова, Д.С.Пучкова студ.;*  
*рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Металлургическая промышленность постоянно развивается. Дуговые сталеплавильные печи характеризуются резкопеременным и случайным потреблением реактивной и активной мощностей, что приводит к отклонениям и колебаниям напряжения, также печи являются источниками электромагнитных помех - высших гармоник, интергармоник и несимметрии напряжений. В значительной мере генерирование этих помех проявляется в период расплавления. В результате действия помех снижается эффективность работы не только ДСП, но и системы электроснабжения. Поэтому необходима точная оценка данных показателей электромагнитной совместимости.

Актуальной темой является борьба с высшими гармониками в сетях с ДСП с помощью определенной методики, а также увеличение качества электроэнергии и уменьшение потерь мощности.

Рассмотрены устройство дуговой сталеплавильной печи, причины возникновения несимметрии напряжения в ДСП, причины возникновения высших гармоник и метод борьбы с ними, влияние печей на другие электроприемники в системе электроснабжения. Произведен анализ факторов, которые способствуют возникновению высших гармоник в сетях, которые, в свою очередь, подключены к дуговым сталеплавильным печам. При проектировании систем электроснабжения силового электрооборудования очень важно правильно определить уровень возникающих от работы ДСП высших гармоник и выбрать параметры необходимых фильтрокомпенсирующих устройств, например резонансных фильтров, для нормализации коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения и выполнения баланса реактивной мощности.

Применение фильтрокомпенсирующих устройств позволяет привести показатели качества электроэнергии к допустимым значениям.

### **Библиографический список**

1. **Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А.** Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. – Н.Новгород: Академия, 2004. – 224 с.

*О.И. Кравченко, маг.;*  
*рук. А.Е. Савенко к.т.н., доц.*  
**ФГБОУ ВО «КГМУ», (г. Керчь, Республика Крым, РФ)**

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК РЕШЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Понятие АСКУЭ (Автоматизированная Система Коммерческого Учета Электроэнергии) появилось не так давно, но, несмотря на это, задачи по повышению контроля над энергоресурсами ставились всегда

В наше время экономия и достоверный учёт потребляемой электроэнергии — это актуальная задача повышения энергоэффективности во всех сферах деятельности человека (промышленности, гражданском строительстве, жилищно-коммунальном хозяйстве). Качественный расход как электрической, так и любой другой энергии требует соблюдения определённой точности, высокой степени автоматизации и оперативности. Благодаря этому можно создать все необходимые условия для комфортного, а главное экономного использования энергоресурсов. Именно таким важным шагом является точный учёт энергопотребления АСКУЭ. Правильное использование АСКУЭ позволяет в сжатые сроки принимать важные решения об изменении режима работы установленного электрооборудования, отслеживать текущий баланс, а также осуществлять оперативные расчёты потребления энергии.

Система автоматизированного контроля над отпуском и потреблением электроэнергии обеспечивает достоверный учёт, который одновременно выгоден для всех. При установленной системе учета энергоснабжающие организации и собственники могут контролировать расходы и качество полученной энергии. Совершенствование технологий обмена данными позволило существенно упростить коммерческий учёт энергоресурсов, в результате чего снизилась стоимость внедрения таких систем. Для нормального функционирования системы необходимы цифровые устройства учёта электроэнергии и мощности, коммуникаций, компьютеров, а также программного обеспечения. К основным преимуществам системы АСКУЭ можно отнести способность учитывать активную и реактивную энергию в соответствии с действующим тарифом, а оборудование позволяет вычислять показатель мощности во всех направлениях.

### **Библиографический список**

1. **Программное** обеспечение ЭНФОРС АСКУЭ БП. Руководство пользователя, 2015. – 163 с.

*М.Н. Малова, студ.;  
рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПРИМЕНЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Одними из основных вариантов применения накопителей электрической энергии (НЭЭ) в сетях 0,4-110 кВ являются такие направления, как резервирование социально значимых объектов 0,4 кВ и поддержание качества электроэнергии, сглаживание пиковых нагрузок на перегруженных подстанциях 35-110 кВ, а также их применение в составе объектов распределенной генерации на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и для ценозависимого снижения потребления [1].

Для первого и второго направления, по данным ПАО «Россети», применение накопителей целесообразно, а для сглаживания пиковых нагрузок на подстанциях 35-110 кВ экономическая эффективность не подтверждена.

При применении накопителей энергии в составе объектов распределенной генерации на базе ВИЭ экономическая эффективность подтверждена, но их применение в составе комплексных систем обеспечения электроснабжения, в т. ч. автономного, вместе с источниками малой генерации ограничено [2].

По мнению ПАО «Россети», для применения НЭЭ в ценозависимом снижении потребления энергии требуется реализация разработки программно-аппаратного комплекта НИОКР.

К 2030 году, по оценке экспертов, все вышеперечисленные области применения НЭЭ станут экономически целесообразными [1].

Рассмотрен вариант использования НЭЭ в филиале «Белгородэнерго» при модернизации воздушной линии 0,4 кВ №2 от трансформаторного пункта 980 подстанции 110 кВ Западная.

Выполнена оценка показателей качества электроэнергии на шинах потребителей и подтверждена экономическая эффективность.

### **Библиографический список**

1. **Абрамов А.Ю. и др.** Экспертно-аналитического отчет. Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры / А.Ю. Абрамов, П.В. Богаченко, А.В. Куликов И.Ю. Ряпин / Под ред. Д.В. Холкина, Д.А. Корева. – М.: IDEА Библ. (по заказу инфраструктурного центра EnergyNet), 2019. – 157 с.
2. **Хабачев Л.Д., Плоткина У.И.** Внедрение объектов малой энергетики как путь повышения эффективности региональных энергетических систем/ Хабачев Л.Д., Плоткина У.И. [Электронный ресурс] // Научный журнал «Научно-технические ведомости СПбГПУ: Экономические науки». 2012. №2 – С. 13-18.



*Д.О. Манько, студ.;*  
*рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

В условиях изменчивого рынка продукции и сырья, постоянном изменении ассортимента продукции и низком уровне достоверности исходной статистической информации, существующие классические методы анализа электропотребления на предприятиях наиболее надежные результаты могут быть получены расчетно-экспериментальным путем с применением современных методов математической статистики.

Целью работы является создание модели прогнозирования электропотребления промышленного предприятия.

Для решения задачи исследованы статистические методы, применяемые на промышленных предприятиях, и выбран метод прогнозирования с использованием искусственных нейронных сетей [1 - 2].

В качестве исходных данных использованы объемы потребления электроэнергии предприятия за четыре года (суточные и месячные), а также объемы потребления отдельным оборудованием и цехом в целом.

Для построения модели использован пакет Nntool программного комплекса MatLab. Структурная схема модели искусственной нейронной сети построена с использованием пакета Simulink.

При прогнозировании электропотребления оборудованием и предприятием в целом ошибка модели искусственных нейронных сетей не превысила 2%.

Результаты работы планируется использовать для прогноза электропотребления на промышленном предприятии ООО «Автокран» (г. Иваново).

### **Библиографический список**

1. **Вилков Д. В.** Алгоритм настройки весовых коэффициентов для многослойного персептрона // Нейроинформатика и её приложения: материалы XI Всероссийского семинара. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001.
2. **Галушкин А.И.** Теория нейронных сетей. Кн.1. – М.: ИПРЖР, 2001.

*Э.Д. Муратова, маг.;*  
*рук. Н.Л. Бабикова, к.т.н.*  
*(УГАТУ, г. Уфа)*

## **К ВОПРОСУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ**

В связи с обострением проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов из-за постоянного роста цен на них, особую значимость приобретают вопросы энергосбережения и эффективного использования электроэнергии.

Электрическая энергия является единственным видом продукции, для передачи которого от мест производства до мест потребления не используются другие ресурсы. Для этого расходуется часть самой передаваемой электроэнергии, поэтому ее потери неизбежны. Основные потери связаны с тенденцией к концентрации производства электроэнергии на крупных электростанциях; непрерывным ростом нагрузок электрических сетей; с естественным ростом нагрузок потребителей и отставанием темпов прироста пропускной способности сети от темпов прироста потребления электроэнергии и генерирующих мощностей. Потери электроэнергии в электрических сетях являются экономическим показателем состояния сетей. Поэтому на основании уровня потерь электроэнергии можно сделать выводы о необходимости и объеме внедрения энергосберегающих мероприятий. Для снижения или поддержания потерь на технико-экономически обоснованном уровне потери нормируют. В норматив потерь должны включаться: потери холостого хода в трансформаторах, батареях статических конденсаторов и статических компенсаторов, шунтирующих реакторах, синхронных компенсаторах (СК) и генераторах, работающих в режиме СК; потери на корону в линиях; расход электроэнергии на собственные нужды подстанций; прочие обоснованные и документально подтвержденные условно-постоянные потери; нагрузочные переменные потери в электрических сетях; потери в связи с погрешностями учета электроэнергии.

При формировании общего уровня спроса на электроэнергию учитывается возможность и эффективность осуществления в перспективе энергосберегающих мероприятий, а также эффективность внедрения электро-технологий. В этих целях необходимо учесть материалы программ энергосбережения, материалы руководящих органов субъектов Российской Федерации, данные местных органов энергонадзора, агентств и фондов энергосбережения, а также использовать материалы обследования потребителей.

*П.Ю. Пустохин, студ.;*  
*рук. Р.М. Юнусов, асп.*  
*(УрФУ, г. Екатеринбург)*

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ УМЕНЬШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Одной из основных проблем энергетики является проблема неравномерного потребления электроэнергии в течение суток. На данном этапе проблема решается с помощью гидроаккумулирующих электростанций – ГАЭС.

Однако такой способ решения проблемы имеет ряд недостатков:

1. Низкий КПД ( $\approx 65\text{-}75\%$ );
2. Требуется нужный перепад высот и площадь для строительства водохранилища;
3. Ресурсоемкое и долговременное строительство;
4. Сложность зимней эксплуатации

Аналогом данного способа является применение мощных источников бесперебойного питания с аккумуляторными батареями большой емкости. В результате проведенного исследования был смоделирован и практически реализован данный преобразователь.

В результате моделирования работы преобразователя на нагрузку, по параметрам схожую с реальным потребителем – квартирой, был получен график тока нагрузки (рис.1), форма которого близка к синусоидальной.

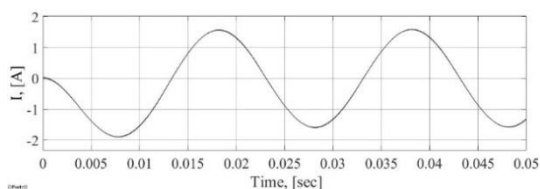


Рис.1 График тока нагрузки,[о.е.]

### Библиографический список

1. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты: монография. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 653 с. Библиогр.: – с. 630–645.

*Д.С.Пучкова, А.А.Кочегарова, студ.;*  
*рук. А.Ф. Сорокин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ**

Рост единичной мощности потребителей с резкопеременной нагрузкой в системах электроснабжения промышленных предприятий приводит к увеличению отклонений и колебаний напряжений. Искажение качества электроэнергии ведет к значительным ущербам. Для обеспечения качества электроэнергии требуются дополнительные затраты. В связи с этим возникают задачи достоверного оценивания показателей качества электроэнергии.

Существующие методы не учитывают нестационарность режимов работы дуговых сталеплавильных печей, поэтому актуальной становится задача усовершенствования методики оценки отклонений и колебаний напряжений в этих условиях.

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) характеризуются резкопеременным и случайным потреблением реактивной и активной мощностей, что приводит к отклонениям и колебаниям напряжения, а также являются источниками электромагнитных помех – высших гармоник.

При проектировании систем электроснабжения силового электрооборудования необходимо предусматривать мероприятия, устраняющие или снижающие до указанных выше значений колебания напряжения, вызываемые резкопеременными нагрузками крупных двигателей, мощных электропечей, выпрямителей и т. п.

Для снижения колебаний напряжения применяются выравнивание реактивной мощности потребителя с резкопеременной нагрузкой, уменьшение результирующего сопротивления цепи, по которой протекает резкопеременный ток, увеличение напряжения в точках подключения электроприемников с резкопеременной нагрузкой и ограничение их мощности.

Проведена оценка колебаний напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия, содержащего дуговые сталеплавильные печи.

### **Библиографический список**

1. **Вагин Г.Я.** Электромагнитная совместимость в электроэнергетике / Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – Н. Новгород: изд-во Академия, 2004. – 224 с.

*С.А. Седов, А.И. Коробкова, маг.;  
рук. А.А. Шульгин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Одним из приоритетных направлений инновационного развития России, согласно ФЗ № 261 «Об энергосбережении...» и другим документам, входит повышение эффективности использования электроэнергии и уменьшение негативных воздействий хозяйственной деятельности на окружающую среду [1, 2].

Актуальность разработки и внедрения современных автоматических информационно-измерительных систем учета электроэнергии (АИИС УЭ) обусловлена тем, что одним из путей повышения энергоэффективности является снижение коммерческих потерь электроэнергии в бытовом секторе и технических потерь, значительная доля которых приходится на передачу электроэнергии по распределительным сетям 0,4 кВ. Измерительные комплексы учета электроэнергии для бытового сектора устанавливаются как выносные, так и располагаются в зданиях и сооружениях. Примерами потерь электроэнергии в бытовом секторе являются – недоучет, хищение, несинхронность снятия показаний.

Внедрение АИИС УЭ позволит снизить издержки и затраты на потребление электроэнергии, а также снизить коммерческие потери за счет повышения точности полученных данных и сокращения времени их сбора и обработки. На сегодняшний день область интеллектуального учета энергопотребления остается одной из важных точек роста российского «интернета вещей», а сегмент АИИС УЭ может возрасти на фоне растущего рынка новых зданий. Фактором сдерживания является высокая стоимость АИИС УЭ и большой срок окупаемости.

Значимость работы состоит в дальнейшей разработке АИИС УЭ на базе современных приборов учета электроэнергии, технических средств и программного обеспечения измерительных комплексов.

### **Библиографический список**

1. **Федеральный закон** РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ от 23 ноября 2009 года (с изм).
2. **Постановление** Правительства РФ от 15 апреля 2014 года № 321 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики»».

*Е.С. Солдаткина, маг.;*  
*рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ**

В настоящее время получают распространение системы электроснабжения городов с источниками малой генерацией (МГ), которые подключаются к существующим распределительным электрическим сетям и являются одним из альтернативных вариантов решения проблемы тепло- и энергодефицита в короткие сроки [1,2].

Распределительные сети с появлением в них источников МГ приобретают черты основной сети и в них возникает ряд проблем [2].

Целью данного исследования является выявление проблем, связанных с внедрением малых ТЭЦ в системы электроснабжения и их влияние на режимы работы основных электрических сетей.

Объектами исследования являются распределительные электрические сети городов с объектами МГ, которые могут работать автономно и параллельно с основной электрической сетью.

Выявлены проблемные вопросы: устойчивости, связанные с режимами работы генераторов малых ТЭЦ и возникновением различных аварийных ситуаций (короткое замыкание, отключение генераторов и др.), усложнения диспетчерского управления электрическими сетями, изменения качества электроэнергии в системах электроснабжения.

Результаты работы будут использованы в проектах развития систем электроснабжения городов с применением источников МГ для обеспечения нормального функционирования основной электрической сети с целью надежного обеспечения потребителей электрической энергией.

### **Библиографический список**

1. **Воропай Н. И.** Распределенная генерация в электроэнергетических системах // Матер. Междунар. научно-практической конф., «Малая энергетика-2005», 2005.
2. **Куликов А.Л., Осокин В.Л., Папков Б.В.** Проблемы и особенности распределённой электроэнергетики // Вестник НГИЭИ, 2018. № 11 (90). – С. 123 – 136.

*Е.Р. Соловьев, студ.;*  
*рук. А.Е. Аржанникова, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, Иваново)*

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ТОКОВЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ДЛЯ КАБЕЛЕЙ МАРКИ ААШВ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ СТОИМОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Для выбора оптимальных сечений кабелей марки ААШВ напряжением 10 кВ построены экономические токовые интервалы (рис. 1).

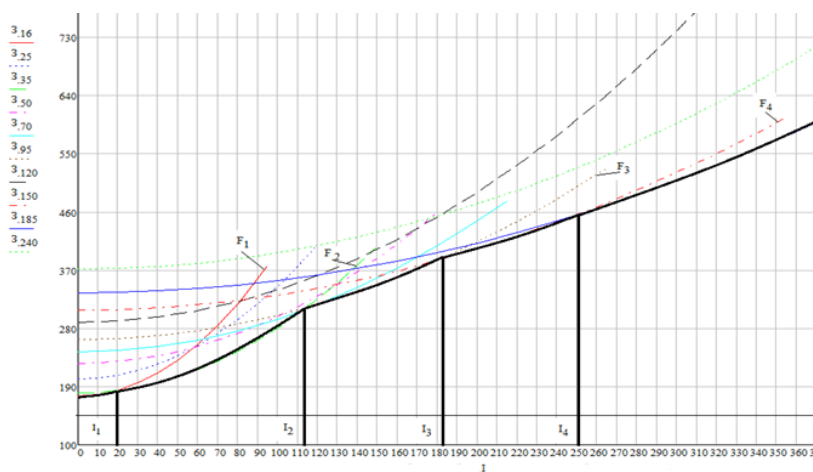


Рис. 1. Экономические токовые интервалы

При расчете дисконтированных затрат в кабельные линии сечениями от 16 до 240 мм<sup>2</sup> использованы современные стоимостные показатели:

- тариф на электроэнергию (во втором полугодии 2019 года в Ивановской области);
- стоимость кабеля;
- стоимость прокладки кабеля в траншее, в которую включены следующие виды работ: разработка грунта; маркировка кабеля и концов; устройство песчаной подушки кабеля; укладка асбоцементных труб; устройство уплотняемых трамбовками слоев; обратная засыпка грунта.

Полученные интервалы будут использоваться при учебном проектировании системы электроснабжения промышленного предприятия и при исследовании тенденций изменения значений экономически выгодных сечений в связи с изменением стоимостных показателей современной экономики.

*И. А. Сухойкина, студ.;*  
*рук. Д.А. Полкошников, ст. препод.;*  
*А. Ф. Сорокин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, Иваново)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Качество электроэнергии (КЭ) является ключевым показателем, влияющим на надёжность технологического оборудования и стабильность технологического процесса. Изменения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) могут возникнуть вследствие потерь электроэнергии при передаче на большие расстояния, увеличения потребляемой нагрузки, электромагнитных явлений и др.

Если КЭ не соответствует параметрам, определенным в [1], могут возникать сбои в работе оборудования, нарушения технологического процесса, снижаться экономические характеристики энергосистемы, что приводит к серьезным финансовым потерям.

Для дистанционного контроля ПКЭ и управления распределением электроэнергии на предприятии используются автоматизированные системы управления электроснабжением (АСУЭ). В первую очередь, в задачи АСУЭ входят сбор, обработка, хранение и предоставление информации о результатах измерений ПКЭ, о состоянии средств и объектов измерения. Также система реализует функции управления объектами электроснабжения в дистанционном режиме, предупреждает ошибочные действия персонала, обеспечивает своевременное и грамотное реагирование на предаварийные и аварийные ситуации и ведет журнал технологических событий.

Применение систем АСУЭ позволяет повысить надежность технологического процесса и снизить затраты, связанные с недоотпуском или браком продукции из-за низких показателей КЭ.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.



*Е.А. Уткина, маг;  
рук. С.В. Балдов, ст. преп.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Одним из требований при подключении электроустановки Потребителя к электрическим сетям в рамках технологического присоединения, предъявляемым сетевой организацией Заявителю, является обеспечение соответствия требуемых показателей качества электрической энергии [1].

Целью данного исследования является разработка методических положений и практических рекомендаций по определению отдельных показателей качества электрической энергии на стадии проектирования систем электроснабжения объектов промышленного и непромышленного назначения.

Объектом исследования являлись существующие системы электроснабжения промышленных и сетевых предприятий, к электрическим сетям которых осуществляется технологическое присоединение электроустановок Потребителя, которые в том числе включают сварочную линию GW12-АС, мощностью 1,5 МВт, номинальным напряжением 0,4 кВ.

По результатам проведенного исследования получены следующие результаты:

- выполнен анализ существующей практики определения показателей качества электрической энергии на стадии проектирования;
- выявлены основные факторы, оказывающие влияние на показатели качества электрической энергии, выполнена оценка влияния данных факторов на эти показатели;
- даны практические рекомендации к объему исходных данных и выполнению расчета отдельных показателей качества электрической на стадии проектирования.

### **Библиографический список**

1. **ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014.

*А.А.Фетисов, маг.;*  
*рук. А.А. Шульпин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

Принимая во внимание высокий уровень изношенности электротехнического оборудования в РФ (более 60%) действенной мерой, повышающей надежность и экономичность электрических сетей, является использование новых видов энергосберегающих силовых трансформаторов (СТ), отвечающих требованиям современной энергетики.

К ним относятся энергосберегающие СТ типов ТМГ12, ТМГ32, ТМГ33 и ТМГэ (ТМГэ2), имеющие низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания, по сравнению с СТ других серий [1, 2].

Кроме СТ с магнитопроводом из обычной электротехнической холоднокатаной стали в электрических сетях успешно работают СТ с магнитопроводами из аморфной электротехнической стали типов АТМГ (АТМ), ТМГА (ТМА), имеющие низкие потери холостого хода по сравнению с СТ других серий [3, 4].

Проведен анализ энергоэффективных СТ и СТ с магнитопроводами из аморфной электротехнической стали по сравнению с СТ других серий. В результате проведенного анализа установлено:

1. Применение энергосберегающих СТ позволяет снизить холостого хода и короткого замыкания на 30% по сравнению СТ других серий.

2. Применение в СТ магнитопроводов из аморфной стали позволяет снизить потери холостого хода на 75% по сравнению с использованием магнитопроводов из обычной электротехнической холоднокатаной стали.

3. При разнице в цене до 30-35% по сравнению с СТ других серий, энергосберегающие СТ и СТ с магнитопроводами из аморфной стали окупаются в течение 1-5 лет в зависимости от стоимости СТ, мощности СТ, годового времени работы, средней годовой нагрузки СТ, региональных тарифов на электроэнергию.

### **Библиографический список**

1. <http://www.metz.by> - официальный сайт «Минского электротехнического завода им. В.И. Козлова».
2. <http://www.alttrans.ru> - официальный сайт Алтайского трансформаторного завода (ОАО «Алттранс»).
3. <http://www.transformator.ru> - официальный сайт производственной группы «Трансформер».
4. <https://zstp.ru> - официальный сайт завода силовых трансформаторов «ПРОТОН».

*А. В. Фролов, Ю. А. Чудинов, студ.;*  
*рук. О.А. Бушуева, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГООБЪЕКТА ИВАНОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

Основным инструментом, используемым в расчетах электроэнергетических режимов энергосистем, является информационная модель, а одним из ключевых факторов, влияющих на точность расчетов, является способ задания электрических нагрузок [1,2].

Наиболее полно свойства нагрузки отражают статические характеристики: зависимости активных и реактивных потребляемых мощностей потребителей от напряжения [2].

Целью работы является исследование режимов работы потребителей подстанции с напряжениями 110/6 кВ Ивановской энергосистемы и создание модели комплексной нагрузки.

Выполнен анализ схемы прилегающей сети 110 кВ, схемы подстанции, режимов работы трансформаторов и состава потребителей электрической энергии.

Исходными данными для анализа режимов работы потребителей являлись массивы данных напряжения, активной и реактивной мощностей за характерные сутки, полученные в результате проведения пассивного эксперимента.

Получены модели комплексной нагрузки узла электрической сети для характерных режимов (зимний максимум и летний минимум).

Полученные результаты могут быть использованы в создании единой информационной модели Ивановской энергосистемы для проведения расчетов электроэнергетических режимов.

### **Библиографический список**

1. **Учет** статических характеристик нагрузки при расчетах режимов энергосистем / Д.Н. Дадонов, В. Г. Гольдштейн, Е. А. Кротков, М. М. Птичкин // Изв. высш. учеб. зав. Электромеханика, 2011. №3. — С. 35 - 37.
2. **Определение** статических характеристик нагрузки по напряжению в электрических сетях с комплексной нагрузкой / А. А. Шутьпин, А. Ю. Мурзин, О. А. Бушуева и др. / Вестник: – Иванов. гос. энергет. ун-т, 2014. №6. – С. 22-30.

*Ю.Н. Шувалова, студ.; А.А. Ворошилов, асп.;  
рук. Р.Ш. Бедретдинов, к.т.н.  
(НГТУ, г. Н. Новгород)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ**

Производство электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии постоянно увеличивается, значимая доля выработки принадлежит фотовольтаическим преобразователям [1].

Одним из перспективных способов повышения эффективности применения фотовольтаических панелей (ФП) является применение систем их пространственного ориентирования.

Системы ориентации в основной комплектации имеют несущую конструкцию, двигатели-актуаторы, систему безопасности и систему управления. Главная задача таких систем – ориентировать панель перпендикулярно солнечным лучам, для достижения максимального КПД панели. Подвижная часть меняет своё положение при помощи двигателей-актуаторов, управляемых контроллерами.

Для работы систем ориентации применяются пассивный способ управления, при котором трекер поворачивает панель в соответствии с программой таймера и активный способ, при котором управление осуществляется с помощью программы, рассчитывающей местоположение солнца на основе показаний датчиков.

В системе, включающей в себя несколько трекеров, появляется потребность учитывать возможность затемнения панелей при их повороте. Для этого приходится увеличивать расстояние между солнечными батареями, что уменьшает эффективно используемую площадь [2].

Для исследования эффективности использования системы ориентации ФП была разработана модель устройства. В основу модели положена элементная база Arduino и язык программирования C++.

Проведенные исследования показали, что применение системы ориентации повышает эффективность применения ФП на 26% относительно стационарных систем.

### **Библиографический список**

1. **Мировая** энергетическая статистика // Статистический ежегодник мировой энергетики 2018, 2009-2018. URL: <https://yearbook.enerdata.ru/renewables/wind-solar-share-electricity-production.html> (дата обращения: 28.01.2020).
2. **Кобезский В. А., Соколов М. М.** Целесообразность применения солнечного трекера для ориентирования солнечных панелей // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 544-547.

*Н.В. Шумский, асп.; П.А. Шрамко, студ.; Р.А. Шулин, студ.;  
рук. Е.Н. Соснина д.т.н., проф.  
(НГТУ, г. Н. Новгород)*

## **РАСПРЕДЕЛЕННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРОУТЕРОМ НА БАЗЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

Децентрализация энергетики, ее декарбонизация и переход на цифровые технологии меняют представление о методах генерации, передачи, распределения и потребления электроэнергии, а также требуют новой архитектуры электроэнергетических систем.

Подход к построению децентрализованной электросети с автоматическим распределенным управлением на основе энергетических транзакций получил название Интернета энергии. Его структурной единицей является энергетический роутер,

В НГТУ разрабатывается экспериментальный образец энергороутера - тиристорный регулятор вольтодобавочного напряжения (ТРВДН) [1]. Ведется активная работа над реализацией алгоритмов функционирования и логики поведения системы управления (СУ).

Основными требованиями, предъявляемыми к СУ ТРВДН, определены надежность, быстродействие, адаптивность и возможность прогнозирования. Перспективным решением является ее построение на базе искусственной нейронной сети, в основе которой лежит многослойный персептрон, состоящий из слоев сенсорных, ассоциативных и реагирующих элементов, связанных весовыми коэффициентами [2].

Для обеспечения требуемого качества электроэнергии разработан алгоритм, разделяющий входные сигналы от измерительных устройств на три зоны – безопасную (зеленую), зону ожидания (желтую), и зону мгновенной регулировки (красную). При попадании в «красную» зону, ТРВДН будет самостоятельно принимать решение о регулировании параметров. При попадании в «желтую» зону - будет ориентироваться на ведущие регулирующие устройства. В «зеленой» зоне СУ не будет предпринимать попыток к регулированию.

На данный момент основной задачей является сбор статистических данных и обучение нейронной сети. Дальнейшая работа связана с повышением точности и увеличением функциональных возможностей.

### **Библиографический список**

1. Асабин А.А. [Принципы работы тиристорного регулятора величины и фазы вольтодобавочного напряжения для распределительных сетей](#) // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2019. № 2 (125). – С. 112-118.
2. Гудфеллоу Я. Глубокое обучение. – М.: ДМК ПРЕСС, 2018. – 651 с.

**Ю.П. Юренков, асп.;**  
**рук. А.В. Кузнецов, д.т.н., проф.**  
**(УлГТУ, г. Ульяновск)**

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ  
в рамках научного проекта № 19-38-90307**  
**ЗАВЫШЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ  
В СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Одним из приоритетных направлений научно-технологического развития РФ является переход к ресурсосберегающей энергетике. Это напрямую связано со снижением инвестиций в электроэнергетический комплекс РФ, в частности в системы транспортировки и распределения электроэнергии (СТРЭ), с развитием технологий создания энергосберегающих СТРЭ, отмеченных Указом Президента РФ №899 от 7 июля 2011 года как критические технологии в РФ. Для решения задачи необходимо создание технологий, обеспечивающих передачу электроэнергии по пути наименьшего электрического сопротивления.

Важнейшим требованием к системам транспортировки и распределения электроэнергии является высокая надежность, в том числе при возникновении аварийных ситуаций, связанных с возможностью возникновения коротких замыканий. Для сохранения работоспособности системы технологией предусмотрено отключение поврежденного участка, которое осуществляется устройствами защиты.

На сегодняшний день, технические характеристики применяемых устройств защиты не всегда обеспечивают защиту элементов электрической сети, выбранных по номинальным параметрам. В результате:

- завышение инвестиционной составляющей в СТРЭ электроэнергии напряжением до 1 кВ по отношению к общим затратам на производство и передачу электроэнергии достигает 2,7% [1];

Избежать этого возможно за счет применения устройств защиты разумно сочетающих в себе токоограничивающие свойства и быстродействие. Предварительные результаты исследований токоограничивающих устройств защиты на основе, так называемых жидкометаллических самовосстанавливающихся предохранителей позволяют сделать вывод о том, что их применение может обеспечить снижение инвестиционной составляющей в системы электроснабжения [1,2].

**Библиографический список**

1. **Кузнецов А.В.** Жидкометаллические предохранители и инвестиционная привлекательность их разработки/ А.В.Кузнецов. – М: Энергоатомиздат, 2006. – 297 с.
2. **A.V. Kuznetsov and Y.P. Yurenkov.** Analysis of research and area of application of self-resetting liquid metal fuse, 2019, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 643, International Scientific Electric Power Conference ISEPC-2019, 23- 24 May, 2019, Russia, 012034 doi:10.1088/1757-899X/643/1/012034.

*А.С. Ярошовец, маг.,  
рук. Н.Л. Бабилова, к.т.н.  
(УГАТУ, г. Уфа)*

## **К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ**

Согласно ФЗ-261 «Об энергосбережении», здание должно соответствовать требованиям внутреннего микроклимата помещений, условиям проживания с обеспечением экономного расхода энергетических ресурсов.

Повышение энергоэффективности зданий и сооружений направлено на выполнение ряда мероприятий, которые обеспечивают максимально экономичный расход основных энергоресурсов — электроэнергии, горячей и холодной воды, тепловой энергии. В табл. 1 представлена структура потребления энергии в жилом секторе.

**Таблица 1. Структура потребления энергии в жилом секторе**

Наименование	Соотношение в %
Отопление	67
ГВС	15
Электроприборы	11
Приготовление пищи	7

Для обеспечения увеличения энергоэффективности зданий следует предусмотреть выполнение комплекса мер на стадии проектирования, строительства, реконструкции, ремонта и эксплуатации здания или сооружения. Кроме того, следует проводить регулярные работы с жильцами домов по разъяснению необходимости соблюдения требований энергоэффективности, а также мер ее повышения. Важно стимулировать население к переходу на более эффективные бытовые приборы и системы учета.

Значительная часть электроэнергии потерь приходится на освещение мест общего пользования. При постоянном освещении до 90% общего времени приборы освещают пустые помещения. Типовыми мероприятиями по снижению затрат в системе электроснабжения являются: автоматизация освещения, установка датчиков движения, замена люминесцентных ламп на светодиодные, установка проходных выключателей, выбор проводов нужного сечения, выбор долговечной теплоизоляции.

Не существует универсального средства повышения энергетической эффективности и комфорта в общественном здании. Разумно использовать энергосберегающие технологии в комплексе и рассматривать их целесообразность, с точки зрения окупаемости.

**СЕКЦИЯ 15**

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Председатель – к.т.н., доцент **Лебедев В.Д.**

Секретарь – ассистент **Кузмина Н.В.**



*Л.Л. Алексеев, асп.;*  
*рук. В.Ю. Вуколов, к.т.н., доц.*  
*(НГИЭУ, г. Княгинино)*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ**

Особенность конструкции распределительных устройств (РУ) подстанций напряжением 0,4-35 кВ заключается в том, что токоведущие части в них имеют воздушную изоляцию и малые габариты, поэтому при возникновении дугового короткого замыкания (ДЗ) подвергаются значительным термическим и динамическим воздействиям. Горение электрической дуги в начальный момент возникновения ДЗ характеризуется максимумом ударной волны, приводящей к разрушению электрооборудования. В случае задержки отключения повреждения свыше 100 мс начинается плавление концевой заделки кабелей, а через 150 – 200 мс происходит плавление меди и стали.

Таким образом, возникает необходимость разработки быстродействующей и чувствительной микропроцессорной дуговой защиты (ДгЗ), позволяющей надежно определять факт и место возникновения ДЗ в пределах РУ подстанций, обеспечивая селективное отключение поврежденного участка сети за счет согласования с другими подстанционными защитами.

Проведенный анализ вариантов исполнения чувствительных измерительных органов ДгЗ показал, что для определения места возникновения ДЗ в пределах РУ подстанции наиболее эффективно устанавливать волоконно-оптические датчики.

Исследование вариантов исполнения и нормативных требований к устройствам защиты от дуговых замыканий показало возможность применения распределенных и централизованных ДгЗ. Основным преимуществом распределенной дуговой защиты является существенное упрощение монтажа и послеаварийного обслуживания. Но для реализации функции контроля тока требуется наличие в терминале ДгЗ аналого-цифрового преобразователя, что существенно увеличивает стоимость устройства. Централизованные ДгЗ являются более дешевым и экономически эффективным вариантом.

По результатам исследования авторами рекомендуется применять централизованную микропроцессорную дуговую защиту с поддержкой стандарта МЭК-61850, выполненную с использованием волоконно-оптических датчиков.

*М.Р. Батманов, маг., А.Е. Евдаков;  
рук. А.А. Яблоков, к.т.н., доц., Г.А. Филатова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТОКА  
И АЛГОРИТМОВ ИХ ДИАГНОСТИКИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО  
МОДЕЛИРУЮЩЕГО И ИСПЫТАТЕЛЬНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ RTDS**

В ИГЭУ проводятся исследования по теме определения времени до насыщения трансформаторов тока при коротких замыканиях. Работа направлена на обеспечение выполнения требований, в соответствии с которым технические характеристики трансформаторов тока (ТТ) и подключенных к ним устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) в совокупности должны обеспечивать правильную работу устройств релейной защиты при коротких замыканиях, в том числе при возникновении апериодической составляющей тока.

В настоящий момент происходит проверка и оценка точности существующих методов расчёта времени до насыщения измерительных индуктивных ТТ для защиты с замкнутым магнитопроводом, а также отработка новых методов, с использованием имитационных моделей ТТ. Практическую ценность имеют исследования по экспериментальному получению характеристик ТТ. Для методов расчета с применением имитационных моделей ТТ необходимо использование не только характеристик намагничивания (или вольт-амперных характеристик), но и частных петель гистерезиса.

Одной из основных задач исследования явилась разработка методики снятия экспериментальных характеристик намагничивания ТТ, включая частные петли гистерезиса, для построения имитационных моделей ТТ, а также методики проверки (верификации моделей ТТ) на основе экспериментально полученных осциллограмм вторичных напряжений. Для проведения экспериментальных исследований использовался комплекс моделирования в режиме реального времени RTDS. Моделирование переходных режимов, а также обработка вторичных напряжений ТТ и получение расчетных характеристик намагничивания производилось в программной среде RSCAD. В ходе серии экспериментов была выбрана типовая схема испытаний ТТ, а также получены кривые намагничивания магнитопровода для ТТ, имеющих в лаборатории.

*К.А. Грызунов, студ., А.С. Алексинский (ООО «Синглтон»);  
рук. С.О. Алексинский, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ МОДУЛЬ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

Развитие цифровизации релейной защиты и автоматики электрических сетей в качестве одного из перспективных направлений предусматривает разработку мультиагентных защит [1]. Принцип мультиагентности заключается в объединении компактных микропроцессорных модулей в локальную цифровую сеть релейной защиты и автоматики.

В электрических сетях напряжением 6-35 кВ одной из актуальных задач является обеспечение быстроты срабатывания защиты шин распределительных устройств подстанций. Применение дифференциального принципа ограничивается высокой вероятностью глубокого насыщения магнитопроводов трансформаторов тока с малыми коэффициентами трансформации. Для повышения устойчивости функционирования дифференциальной защиты шин разрабатывается мультиагентная релейная защита шин с цифровой коррекцией эффекта глубокого насыщения магнитопровода трансформатора тока в каждом агенте-терминале.

С целью сокращения трафика в локальной информационно-управляющей сети релейной защиты предусматривается передача векторных измерений и технологических дискретных сигналов, а также разработан специальный технологический протокол. Принцип организации сети peer-to-peer с передачей маркера, что исключает коллизии.

В каждом агенте терминале предусматривается схема масштабирования сигналов пропорциональных фазному току и смещения сигнала переменного напряжения в однополярную область на основе операционных усилителей.

В агенте-терминале использован 32-х битный микроконтроллер компании STMicroelectronics ARM Cortex M4. При отладке микроконтроллера использовалось программное обеспечение STM32 CubeIDE.

### **Библиографический список**

1. **План** мероприятия («Дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы. Министерство энергетики Российской Федерации, 2016. – URL: [https://nti2035.ru/markets/docs/DK\\_energynet.pdf](https://nti2035.ru/markets/docs/DK_energynet.pdf) (дата обращения: 15.01.2020).

*А.Е. Евдаков, маг.;*  
*рук. В.А. Шуин, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ТОКОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ**

**Введение.** Для исследования динамических режимов функционирования токовых защит нулевой последовательности (ТЗНП) от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) наиболее эффективно применение программно-аппаратных комплексов типа РЕТОМ, Omicron и др., обеспечивающих возможность воспроизведения сигнала тока, записанного в COMTRADE-формате. Для получения тестовых сигналов переходных токов при дуговых ОЗЗ, как правило, используются современные системы моделирования (Matlab, PSCad и др.). Однако технические возможности указанных устройств, ограничивающие спектр частот воспроизводимых сигналов до 1-3 кГц, не позволяют обеспечить точное соответствие выходных сигналов входным токам переходного процесса при дуговых ОЗЗ в кабельных сетях 6 -10 кВ, полученным на имитационных моделях. В связи с этим возникает необходимость в эквивалентировании переходных токов ОЗЗ, полученных с применением математических моделей, с ограничением их спектра.

**Постановка задачи и метод исследований.** Для решения задачи необходимо определить верхнюю частоту ограничения спектра тока, полученного на имитационной модели, при которой обеспечивается эквивалентность воздействия сигнала на измерительный орган тока исследуемого исполнения ТЗНП. Задача просто решается для исполнений ТЗНП, выполненных на микроэлектронной и микропроцессорной базе, для которых известны частотные характеристики входных цепей тока. Для ТЗНП, выполненных с применением электромагнитных реле тока, допустимое значение верхней частоты ограничения спектра входного тока зависит от частотных характеристик как реле тока, так и кабельного трансформатора тока нулевой последовательности (ТТНП), к которым подключается защита. Для решения задачи проведены разработаны математические модели электромагнитных реле тока типа РТ-40 и кабельных ТТНП, применяемых в ТЗНП, и проведены исследования спектра вторичного тока при различных параметрах первичного переходного тока ОЗЗ.

**Основные результаты и выводы.** На основе исследований на имитационных моделях установлено, что для ТЗНП, выполненных на основе электромеханических реле тока типа РТ-40, эквивалентность воздействия на защиту переходного тока при дуговых ОЗЗ можно обеспечить, если спектр первичного тока ограничен верхней частотой  $f_e \geq 2,5-3$  кГц.

*Е.А. Ематин, Д.В. Селезнёв, Р.Т. Аблаев, студ.;*  
*рук. Е.Ю. Шварцман*  
*(УГАТУ, г. Уфа)*

## **О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Согласно [1] в результате реализации проекта было установлено 54 реклоузера, модернизированы 32 ячейки на центрах питания, установлено более 12 тысяч интеллектуальных приборов учета, а так же внедрен единая автоматизированная система оперативно-технологического управления "Олимп" - "искусственный интеллект", которому предстоит управлять электросетевым комплексом.

На момент старта проекта, уровень потерь в Мамонтоском и Багратионовском РЭС был в районе 26%, длительность отключений(SAIDI) 29,5, а количество отключений в год(SAIFI) 11,9.

После реализации проекта[2], удалось добиться снижения количества отключений в год(SAIFI) до 3,15 или снижения на 73,4%. Снижение уровня потерь до 12%, что в общем дает снижение потерь на 53,1 % от уровня на старте проекта. Наиболее ощутимый эффект заключается в снижении времени обесточения потребителей – в Багратионовском РЭС снизилось более чем в 5 раз по отношению к 2013 году, то есть время восстановления электроснабжения снизилось с 5,5 часов до чуть более часа. Если раньше локализация аварийного участка занимала полтора часа, теперь - одну минуту, так как переключения происходят автоматически.

Наблюдается существенное снижение количества обесточенных потребителей при локализации поврежденного участка – вместо 20-30 трансформаторных подстанций отключается 7-10, соответственно вместо 2-3 тысяч потребителей при аварии остаются обесточенными 500-900 человек. Снижение недоотпуска электроэнергии при аварийных отключениях на 60,3%, при плановых отключениях на 15,9%. Снижение показателя SAIDI (длительности отключений потребителей) в год на 53,1%.

### **Библиографический список**

- 1. Интервью** Игоря Маковского изданию «российская газета» URL: [https://www.yantarenergo.ru/press/22889/?WEB\\_FORM\\_ID=4&RESULT\\_ID=1278&formresult=addok](https://www.yantarenergo.ru/press/22889/?WEB_FORM_ID=4&RESULT_ID=1278&formresult=addok) (дата обращения: 08.02.2020).
- 2. Проект:** «ЦИФРОВОЙ РЭС ЯНТАРЬЭНЕРГО» [Электронный ресурс]. URL: <https://energynet.ru/upload/yantarenergo.pdf> (дата обращения 08.02.2020).

*Н.В. Кузьмина, асп.;*  
*рук. В.А. Шуин, д.т.н., проф., В.Д. Лебедев, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ТОЧКИ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ДЛЯ ВЛ 6-10 кВ**

Основными задачами цифровизации является повышение управляемости объектов, внедрение оборудования, которое позволит обеспечить передачу необходимой информации на диспетчерские пункты и центры управления сетями.

В настоящее время традиционные пункты коммерческого учета (ПКУ) выполняют только функцию учета электроэнергии, они подвержены влиянию феррорезонанса, питание происходит от измерительных ТН, имеют большую массу и габариты, поэтому актуальным является разработка ПКУ на базе цифровых трансформаторов ЦТТН 6(10) кВ. Задачами работы являются изготовление, испытание опытного образца, создание математических моделей, исследование алгоритмов релейной защиты от однофазных замыканий на землю [1].

Данный ПКУ предназначен для измерения и учёта активной и реактивной энергии прямого и обратного направления в цепях переменного тока напряжением 6(10) кВ, а так же для передачи измеренных и вычисленных параметров на верхний уровень.

В докладе рассмотрены особенности ПКУ на базе цифровых комбинированных измерительных преобразователей тока и напряжения и представлено обоснование достижения ими высокого класса точности измерений, широкого частотного диапазона, сниженных массогабаритных показателей, а также обеспечения работы в условиях эксплуатации на открытом воздухе (температура, влажность, загрязнения).

Для задач релейной защиты и автоматики в конструктивном решении ПКУ заложена возможность измерения как линейных, так и фазных электрических величин, обеспечивая измерение токов и напряжений нулевой последовательности в широком частотном диапазоне, для выполнения функций определения места повреждения. Создание ПКУ позволяет существенно сократить зону поиска возникающих повреждений и повысить качество электроснабжения.

### **Библиографический список**

1. **Lebedev V.D., Yablokov A.A., Filatova G.A., Lebedeva N.V.** Specific features of digital current and voltage transformers for relay protection, automation and commercial electric power metering, 2018 International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation, RPA 2018. – С. 8537187.

**Ю. Д. Кутумов;**  
**рук. В.А. Шуин, д. т. н., проф.**  
**(ИГЭУ, г. Иваново)**

## **ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ**

Не в полной мере решенной, и поэтому достаточно актуальной в настоящее время проблемой остаётся компенсация высших гармонических составляющих тока ОЗЗ. Наличие высших гармоник в токе ОЗЗ может быть обусловлено двумя факторами. Во-первых, токи ОЗЗ содержат в себе, помимо составляющей, обусловленной установившимся режимом, высокочастотные составляющие, обусловленные разрядом ёмкости поврежденной фазы (спектр от 1 до 3 кГц) и дозарядом ёмкостей неповрежденных фаз (от 100 до 1000 Гц) [1]. Во-вторых, нелинейность вольт-амперных характеристик ряда потребителей обуславливает наличие высших гармонических составляющих в токах ОЗЗ. В связи с дальнейшей перспективой разработки алгоритма устройства компенсации полного тока замыкания на землю представляется целесообразным произвести аналитический обзор существующих устройств компенсации высших гармонических составляющих токов ОЗЗ. В связи с поставленной целью работы, необходимо выделить её задачи. В рамках исследования необходимо:

- 1) Исследовать частотный спектр составляющих токов ОЗЗ, обусловленных переходными процессами и нелинейными ВАХ потребителей электрической энергии;
- 2) Рассмотреть существующие методы и устройства компенсации высших гармоник в токах ОЗЗ; обозначить спектры частот, в которых происходит работа данных устройств;
- 3) Оценить приемлемость данных устройств для работы при переходных и установившихся режимах ОЗЗ;
- 4) Сделать необходимые выводы; сформулировать требования к устройствам компенсации высших гармонических составляющих тока ОЗЗ.

### **Библиографический список**

1. **Шуин В.А.** Начальные фазовые соотношения электрических величин переходного процесса при замыканиях на землю в кабельных сетях 6-10 кВ // Электричество, 1991.
2. **Qu, Yilong, Weipu Tan and Yihan Yang.** "H-Infinity Control Theory Apply to New Type Arc-suppression Coil System." 2007 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (2007): 1753-1757.
3. **Дементий, Ю.А.** Компенсация полного тока замыкания на землю в сетях 6-10 кВ / Булычев А.В., Дементий Ю.А., Козлов В.Н. // Вестник Чувашского университета, 2018. № 1. – С. 24-35.

*Е.И.Лейман, студ.;*  
*рук. А.Е.Савенко, к.т.н., доц.*  
*(КГМУ, г.Керчь)*

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И ЕЕ НАЗНАЧЕНИЕ

Релейная защита, далее РЗ – это часть электрической автоматики, которую используют для поиска и автоматического отключения неисправного электрооборудования. С помощью этой системы можно определить ненормальный режим работы сети [1]. В современном электрооборудовании ни одно электрическое устройство не обойдется без автоматики, которая является залогом безопасности и предотвращения сбоев в работе устройств.

РЗ делится на технологическую и противоаварийную автоматику. Основные требования: быстродействие (0,02-0,1 сек.), селективность, чувствительность и надежность.

Селективность – выявление неисправности и отключение его ближайшим выключателем. Абсолютная (быстродействующая) селективная защита функционирует только при повреждении защищаемого элемента. Относительная (с задержкой) селективная защита срабатывает при повреждении защищаемого элемента или узлов сети. Селективность имеет 3 варианта работы: по принципу действия, по чувствительности, по времени.

Чувствительность - способность РЗ реагировать на появление короткого замыкания или ненормального режима работы. Чувствительность всегда рассчитывается относительно работы конкретной электрической сети. Ток срабатывания защиты меньше тока короткого замыкания на коэффициент чувствительности, напряжение и сопротивление защиты больше на эту величину.

Надежность защиты обуславливается точным и безотказным отключением оборудования при нарушении нормального режима работы. Современные устройства релейной защиты имеют встроенные системы автоматической проверки. Вне зависимости от сложности структуры электрического устройства предприятия всегда будут пользоваться релейной защитой.

### Библиографический список

1. Киреева Э.А., Цырук С.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. 5-е изд., стер. – М.: Академия, 2016. – 287 с.



Д. Максимов, А. Соловьева, студ.;  
рук. В.А.Шуин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПРОВЕРКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПО ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ

**Введение.** В соответствии с требованиями ПУЭ все трансформаторы тока (ТТ) для релейной защиты класса 10Р должны обеспечивать точную работу (полную погрешность по току  $\varepsilon \leq 10\%$ ) в расчетных по условиям устойчивости функционирования РЗ внутренних и внешних коротких замыканиях (КЗ) или режимах без КЗ. Погрешности ТТ  $\varepsilon > 10\%$  могут быть причиной отказов функционирования РЗ, сопровождающихся значительным экономическим ущербом.

**Цель работы и обоснование метода исследований.** При выборе ТТ для РЗ в соответствии с РД 153-34.0-35.301-2002 используются 4 основных способа расчетной проверки на 10%-ю полную погрешность по току: 1) по кривым предельной кратности; 2) по паспортным данным ТТ; 3) по типовой кривой намагничивания электротехнической стали, используемой для изготовления ТТ; 4) по действительной вольт-амперной характеристике ТТ. Целью работы является исследование точности оценки погрешностей ТТ с применением указанных способов. Наиболее эффективным методом исследований погрешностей ТТ в установившихся и переходных режимах КЗ является имитационное моделирование на ЭВМ.

**Модель ТТ.** Для исследований точности указанных выше способов проверки ТТ на 10%-ю полную погрешность на основе стандартного блока Saturable Transformer библиотеки SimPowerSystems системы моделирования Simulink разработана имитационная модель ТТ типа ТВ-110-IX-3 с магнитопроводами, выполненными из худших сортов электротехнической стали Э3405. Сравнение погрешностей модели и паспортных данных завода-изготовителя ТТ данного типа при различных значениях первичного тока в установившихся режимах работы подтвердило адекватность модели и достоверность получаемых на ее основе результатов.

**Методика и результаты исследований.** Для заданных расчетных условий (схема подключения РЗ к ТТ, сопротивление элементов вторичных цепей тока РЗ, ток КЗ и др.) выполнены расчеты допустимых по условию  $\varepsilon \leq 10\%$  кратности первичного тока  $K_{дон}$ , допустимой вторичной нагрузки  $Z_{дон}$ , расчетной погрешности  $\varepsilon_{расч}$  с последующей проверкой  $\varepsilon$  в установившемся и переходных режимах КЗ на модели ТТ.

**Выводы.** На основе проведенных исследований получены оценки точности применяемых в РЗ способов проверки ТТ по условию  $\varepsilon \leq 10\%$ .

*Р.Г. Минуллин, д. ф.-м. н., проф.,  
В.А. Касимов, к.т.н., П.В. Кононцев  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **АППАРАТУРА ЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДА И ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Для надежной работы линий электропередачи (ЛЭП) в условиях образования гололеда на проводах воздушных ЛЭП ведется непрерывное наблюдение за уровнем обледенения линий электропередачи с целью своевременной плавки гололеда, которая позволит предотвратить аварию на ЛЭП.

Сотрудниками Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ) совместно с индустриальным партнером ООО «Промэнерго» разработан многоканальный локационный комплекс мониторинга воздушных линий электропередачи напряжением 35 – 750 кВ для обнаружения гололедно-изморозевых отложений и определения места повреждения проводов под их тяжестью с указанием расстояния.

Локационный комплекс поочередно осуществляет зондирование 16 ЛЭП, путем отправки импульсов в линию и их последующего приема после отражения от неоднородностей волнового сопротивления ЛЭП, каковым является конец линии. По изменению рефлектограмм локационного зондирования ЛЭП могут быть обнаружены гололедные отложения на проводах и их повреждения.

Преимуществом данной аппаратуры перед другими системами обнаружения гололеда и повреждений на проводах является ее универсальность, дистанционность, простота монтажа и обслуживания, низкая стоимость и малые габариты. Подобная аппаратура эффективно эксплуатируется с 2009 года на шести подстанциях России. В зависимости от полученной информации, аппаратура выдает определенный сигнал: «Норма» (соответствует нормальному состоянию линий без гололеда) или сигнал «Обледенение» (с указанием толщины стенки гололеда) или сигнал «Авария» (в случае короткого замыкания или обрыва проводов с указанием вида повреждения: короткое замыкания или обрыв).

Для проведения испытаний локационных комплексов был разработан испытательный стенд, который состоит из двух основных частей: персонального компьютера и приемопередатчика сигналов. Управление приемопередатчиком осуществляется с компьютера с помощью специальной программы «Испытательный стенд».

*В.Ю. Осокин, асп.;*  
*рук. А.Л. Куликов, д.т.н, проф.*  
*(НГТУ, г. Н. Новгород)*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛЭП 6-35 КВ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЛЛАСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ**

В электротехнических комплексах с изолированной нейтралью задача дистанционного определения места повреждения при ОЗЗ не имеет однозначного, принятого эксплуатацией точного решения.

Для решения задачи ОМП при ОЗЗ, предлагается кратковременное подключение балластного сопротивления к резервной ячейке секции шин распределительного устройства 6–35 кВ через выключатель с пофазным приводом. При возникновении замыкания, производится коммутация одной из неповрежденных фаз выключателя, обеспечивая протекание через балластное сопротивление ограниченного по величине и времени тока короткого замыкания, тем самым имитируется двойное замыкание на землю. После регистрации протекающего через балластное сопротивление тока, выключатель отключается, и режим работы сети с ОЗЗ восстанавливается.

Имитация ОЗЗ проводилась на модели линии электропередачи с распределенными параметрами напряжением 35 кВ. Анализ полученных результатов показал, что благодаря созданию кратковременного искусственного двойного замыкания на землю и использованию предлагаемого алгоритма, возможно, определить расстояние до места возникновения ОЗЗ с погрешностью, не превышающей 10 %, при этом расчетная погрешность связана с проводимостью линии. За счет использования имитационного моделирования, накопления статистической информации и введения поправочного коэффициента, возможно, снизить погрешность ОМП ЛЭП до единиц процентов.

**Вывод:** Предлагаемые алгоритмы позволяют с высокой точностью определить расстояния до места возникновения ОЗЗ. Важным преимуществом разработанных алгоритмов является полное исключение влияния переходного сопротивления на точность определения места ОЗЗ, а введение корректирующего коэффициента с учетом равномерного распределения проводимости по длине линии позволяет свести к минимуму соответствующую погрешность расчета. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90144.

*П.С. Пелевин, асп., А.А. Лоскутов, к.т.н.;  
рук. А.Л. Куликов, д.т.н., доц.  
(НГТУ, г. Н. Новгород)*

## **УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО УЧАСТКА СМЕШАННЫХ ЛЭП ДЛЯ БЛОКИРОВАНИЯ АПВ**

Неселективное автоматическое повторное включение (АПВ) смешанных кабельно-воздушных ЛЭП (КВЛ) не позволяет в полной мере повысить надежность электропередачи. Следовательно, необходимо применение селективного АПВ КВЛ, при котором перед циклом АПВ определяется поврежденный участок КВЛ и при повреждении на кабеле АПВ блокируется. В тоже время существующие методы селективного АПВ КВЛ [1], обладают недостатками, снижающими их эффективность, в частности, требуют использования большого числа оборудования и специальных каналов связи. Более перспективными являются методы на основе оценки высокочастотных (волновых) составляющих сигналов тока и напряжения [1]. Однако существующие методы оценки поврежденного участка на основе односторонних измерений [1, 2] требуют относительно сложной цифровой обработки и предъявляют повышенные требования к вычислительной мощности реализующего его устройства.

Поэтому в докладе рассматриваются методы оценки поврежденного участка КВЛ, основанные на двусторонних измерениях и упрощенной цифровой обработкой высокочастотных сигналов. Описывается новый метод, в основе принципа действия которого лежит явление резкого изменения параметров распространения волнового сигнала при повреждении разных участков КВЛ [2]. Что обусловлено рассогласованностью волновых сопротивлений разнородных участков КВЛ. При этом определение поврежденного участка осуществляется лишь на основе оценки уровня (амплитуды) волнового сигнала, что определяет простоту способа.

### **Библиографический список**

1. Пелевин П.С., Лоскутов А.А., Шарфеев Т.Р. Повышение надежности кабельно-воздушных линий электропередачи путем организации интеллектуального автоматического повторного включения // Метод. вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 70. Методические и практические проблемы надежности систем энергетики. В 2-х кн. / Кн. 2 / Под ред. Н.И. Воропай. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2019. – С. 252-261.
2. Куликов А.Л., Пелевин П.С., Лоскутов А.А. Метод автоматического повторного включения на кабельно-воздушных ЛЭП с использованием двусторонних измерений // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2019, №4. – С 81-90.

*А.Е. Петров, маг.;*  
*рук. В.Д. Лебедев, Г.А. Филатова, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ И УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА RTDS**

В ИГЭУ на кафедре АУЭС совместно с ООО НПО «Цифровые измерительные трансформаторы» разработаны цифровые трансформаторы тока и напряжения, а также комбинированные трансформаторы (ЦТТН) для классов напряжений 6 (10), 35, 110 и 220 кВ. Разработана мультифункциональная система, использующая сигналы от ЦТТН, содержащая функции коммерческого учета (КУ), диагностики, релейной защиты и автоматике (РЗА), в том числе определения места повреждения (ОМП) [1].

Проведены дополнительные испытания по применению ЦТТН для целей РЗА. В настоящее время проводятся испытания по исследованию совместной работы цифровых измерительных трансформаторов с цифровыми устройствами РЗА (в том числе, производства ООО НПО «ЦИТ») в различных режимах работы. Разработана программа и методика экспериментальных исследований с использованием оборудования уникальной научной установки №507666 и комплекса моделирования в реальном времени RTDS полигона «Цифровая подстанция». Для проведения совместных испытаний ЦТТН и РЗА широко использовался метод физико-математического моделирования. При проведении экспериментальных исследований физические сигналы (токи и напряжения) подаются на испытуемое устройство (например, цифровой измерительный трансформатор с подключенным устройством РЗА) от усилителей тока и напряжения, включая 4-х квадрантный усилитель, через повышающие электромагнитные трансформаторы тока и напряжения. Подобная установка позволила получить в лаборатории напряжений до 10 кВ и токов до 10 кА и более, что приближает условия физического моделирования к реальным уровням напряжений и токов КЗ в действующих электроустановках. Для организации обратной связи измеренные значения, а также данные с устройств релейной защиты подаются на аналоговые и цифровые входы комплекса RTDS.

### **Библиографический список**

**V.D. Lebedev, A.A. Yablokov, G.A. Filatova; N.V. Lebedeva.** “Specific Features of Digital Current and Voltage Transformers for Relay Protection, Automation and Commercial Electric Power Metering”, 2018 International Youth Scientific and Technical Conference Relay Protection and Automation (RPA).

*Н.А. Родин, маг.;*  
*рук. Л.М. Колесов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ С УЛАВЛИВАНИЕМ СИНХРОНИЗМА**

На линиях электропередач с двусторонним питанием при возникновении самоустраняющегося короткого замыкания устройства релейной защиты отключают повреждённый объект с обоих концов. С одной стороны отключенной линии выключатель включается по факту отсутствия напряжения на линии и наличия напряжения на шине. При таком включении с другого конца линии имеется информация о напряжениях с обеих сторон выключателя. Эти напряжения могут иметь разные частоты из-за отсутствия или наличия резерва мощности в энергосистеме. В этом случае один из векторов напряжения будет вращаться относительно другого. Включение выключателя должно произойти при минимальной разности векторов напряжений по двум сторонам выключателя, называемой напряжением скольжения. Поэтому команда на включение выключателя должна подаваться с учётом времени включения выключателя. Для этих целей используется автоматическое повторное включение с улавливанием синхронизма (АПВ УС).

Целью данной работы является анализ эффективности алгоритмов реализации АПВ УС в микропроцессорных терминалах автоматики управления выключателем.

Аналізу были подвержены следующие алгоритмы улавливания синхронизма (АУС): АУС на основе синхронизатора с постоянным временем опережения; АУС с использованием элемента времени с регулируемым параметром срабатывания; АУС с определением угла между векторами напряжений; АУС со сравнением времени между переходом через ноль первого и второго сигналов с расчётным временем.

Для анализа эффективности АУС были смоделированы реальные изменения частоты при отсутствии и наличии резерва мощности в энергосистеме. Анализ алгоритмов был произведён в пакете прикладных программ MATLAB. Он показал, что данные алгоритмы имеют высокую точность, поэтому их можно использовать для реализации АПВ УС на линиях электропередач с двусторонним питанием.

*А.С.Сиротина, К.С.Алёшин, студ.;  
рук. В.А.Шуин, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКОВ В ЛЭП 110-220 кВ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ ПРИ САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАГРУЗКИ**

**Введение.** При расчетах параметров срабатывания резервных ступеней токовых и дистанционных защит (ТЗ и ДЗ) ЛЭП напряжением 110-220 кВ рекомендуется принимать значение коэффициента самозапуска электродвигателей нагрузки  $K_{зан} = 1,5-2$  [1]. В то же время действительное значение  $K_{зан}$  существенно зависит от состава комплексной нагрузки, прежде всего, доли асинхронных двигателей высокого и низкого напряжения (АДВ и АДН) в общей мощности нагрузки, что не учитывается применяемыми в настоящее время методиками выбора уставок ТЗ и ДЗ. Кроме того, на устойчивость функционирования резервных ступеней ДЗ существенное влияние оказывает не только величина, но и угол тока самозапуска электродвигателей нагрузки  $\varphi_{зан}$ .

**Постановка задачи и обоснование метода исследований.** Целью работы является исследование влияния состава комплексной нагрузки ЛЭП 110-220 кВ с односторонним питанием, а также параметров элементов схемы распределительных электрических сетей на уровне 6-10 и 0,4 кВ на величину  $K_{зан}$  и  $\varphi_{зан}$ . Учитывая сложность, а также большое число факторов, влияющих на электромеханические и электромагнитные процессы в ЛЭП 110-220 кВ при самозапуске электродвигателей нагрузки, наиболее эффективным методом исследований является имитационное моделирование на ЭВМ. В данной работе решается задача разработки имитационной модели для исследования режимов самозапуска электродвигателей нагрузки ЛЭП 110-220 кВ с односторонним питанием с использованием системы моделирования Simulink и библиотеки блоков SimPowerSystems.

**Основные результаты.** Разработана схема имитационной модели, включающая ЛЭП 110-220 кВ с односторонним питанием, понизительную подстанцию 110-220/6-10 кВ, участок распределительных сетей 6 и 0,4 кВ системы электроснабжения с варьируемым составом доли двигателей АДВ и АДН в комплексной нагрузке подстанции. Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили адекватность модели и достоверность полученных на ее основе результатов.

**Вывод.** Разработанная модель может использоваться для исследования токов в ЛЭП 110-220 кВ с односторонним питанием в режимах самозапуска электродвигателей нагрузки.

*В.Р. Сонин, Е.В. Ильичёв, студ.;  
рук. Е.С. Шагурина, О.А. Добрягина, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ТЕРМИНАЛА**

Подготовка бакалавров и магистров по направлению Электроэнергетика и электротехника с направленностью (профилем) – Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем в ИГЭУ предусматривает освоение студентами таких дисциплин, как «Основы цифровой релейной защиты», «Основы проектирования релейной защиты и автоматики», «Цифровые системы управления электроэнергетическими объектами». Учебным планом предусмотрено проведение лабораторных работ по указанным дисциплинам. В связи с этим представляет интерес разработка соответствующих лабораторных установок, позволяющих овладеть навыками работы с микропроцессорными устройствами, в особенности отечественных производителей.

ООО научно-производственное предприятие «ЭКРА» является лидером в производстве устройств релейной защиты и автоматики в России и активно сотрудничает с профильными вузами в части передачи выпускаемых микропроцессорных устройств для введения их в образовательный процесс. Одним из таких устройств является терминал БЭ2502А, предназначенный для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации присоединений в сетях 6 – 35 кВ.

В лаборатории кафедры АУЭС собрана установка для отработки навыков программирования и конфигурирования терминала БЭ2502А по стандартным методикам, заданным производителем [1, 2], а также проведения исследований по научным направлениям кафедры. Особенностью установки является подключение терминала по цепям управления к реле типа РЭП38Д-1, имитирующего выключатель, позволяющее моделировать дискретные сигналы управления, и производить проверку и наладку функций терминала в полном объёме. Подготовлены схемы проведения экспериментов и методические материалы для лабораторных работ.

### **Библиографический список**

1. **Терминал** защиты, автоматики, управления и сигнализации линии БЭ2502А01ХХ. Руководство по эксплуатации ЭКРА.650321.020/01 РЭ. Электрон. версия печат. публикации. – Режим доступа: <https://dev.ekra.ru/downloads/documents/25>.
2. **Протокол** приемо-сдаточных испытаний терминала защиты, автоматики, управления и сигнализации линии БЭ2502А 0103. Технический протокол №ЭКРА.656122.020-054 Д5.



**СЕКЦИЯ 16**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА  
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ**

**Председатель – д.т.н., доцент Тихов М.Е.**

**Секретарь – к.т.н., доцент Долгих И.Ю.**

*М.Е. Агаев, студ.;*  
*рук. К.В. Куликов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ**

Современные инверторные источники питания позволяют выполнять сварку с высоким качеством. Во-первых, это определяется высокой частотой коммутации. Во-вторых, тем, что по отношению к технологическому процессу аппарат является полностью управляемым [1].

Основной источник брака при сварке – это человеческий фактор, который можно разделить на две условные категории:

- 1) работник вносит в сварочный процесс различного рода возмущения (неправильный угол наклона электрода по отношению к свариваемому изделию, неправильная высота удержания электрода и т.д.);
- 2) неправильный выбор режима сварки по отношению к типу металла свариваемого изделия (сталь, медь, алюминий и т.д.) [2].

Чтобы исключить второй аспект, можно в систему управления ввести дополнительные функции, а также выполнить отдельные узлы аппарата с переменной структурой. Например, изменяя структуру выходного выпрямителя, появляется возможность получения различной формы и полярности сварочного тока (однополярный, двухполярный, постоянный и т.д.). В этих целях предлагается встроить в источник питания два селектора:

- 1) выбор типа свариваемого металла;
- 2) выбор толщины свариваемого изделия.

На дисплее могут быть выведены рекомендации по выбору электрода и автоматически установлена величина сварочного тока и структура выходной части инвертора. Такая модернизация возможна при изменении системы управления.

### **Библиографический список**

1. **Эраносян С.А.** Сетевые блоки питания с высокочастотными преобразователями. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 176 с.
2. **Володин В.Я.** Современные сварочные аппараты своими руками. – СПб.: Наука и техника, 2008. – 304 с.

*Д.Ю. Вихарев, студ.;*  
*рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЕРОЯТНЫХ ПУТЕЙ МАГНИТНОГО ПОТОКА ДЛЯ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Для расчёта электротехнических устройств широко применяются численные методы. Наибольшее распространение получил метод конечных элементов, который реализован в пакетах прикладных программ FEMM и ELCUT. Результатом расчёта является значение магнитной индукции и напряжённости магнитного поля в различных участках магнитной цепи исследуемого электротехнического устройства.

Однако для инженерных расчётов не утратил своей актуальности метод расчёта, основанный на теории магнитных цепей и методе вероятных путей магнитного потока [1,2].

Основным преимуществом этого метода является простота реализации. Недостаток метода заключается в необходимости моделирования вероятных путей магнитного потока для каждой конструкции магнитопровода.

Целью работы является вывод математических зависимостей магнитных проводимостей для геометрических фигур различной конфигурации.

Для решения поставленной задачи использовался математический анализ, на основе которого были получены математические соотношения для различных фигур, что особенно актуально для магнитожидкостных устройств различного назначения [3].

На основании выполненной работы получены основополагающие равенства, для фигур проводимостей. Сравнительная оценка полученных и известных соотношений показала высокое совпадение результатов. Расхождение в результатах не превысило 2 – 3 %.

### **Библиографический список**

1. Буль Б.К. Основы теории и расчёта магнитных цепей. – М.: – Л.: Энергия, 1964. – 464 с.
2. Буль О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. – М.: Академия, 2006. – 288 с.
3. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб.: Изд.: «Лань», 2017. – 136 с.

*Е.Е. Готовкина, асп.;*  
*рук. В.Д. Лебедев к.т.н., доц., А.А. Яблоков, к.т.н.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА IEC 61850 ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

В системах автоматизации промышленных установок используются такие протоколы обмена данными как Modbus, Profibus, CAN, Modbus-ASCII/RTU (организация «полевых» шин) и Modbus/TCP (организация локальных вычислительных сетей по стандарту Ethernet) [1]. Отсутствие единого унифицированного протокола передачи данных приводит к необходимости применения дополнительных устройств сопряжения (при использовании оборудования с различными протоколами) и, соответственно, к снижению надежности, а также увеличению стоимости системы автоматизации, или к ограничению выбора устройств на этапе проектирования и сложностям дальнейшей модернизации системы автоматизации (при использовании одного протокола).

Широкое распространение получила передача измерительной информации при помощи токовой петли 4-20 мА [2]. Недостатки передачи измерительной информации при помощи токовой петли заключаются в отсутствии возможности передачи по одному каналу нескольких параметров, а также в проблемах, связанных с контурами заземления и изоляцией каналов.

Стандарт IEC 61850 был разработан для унификации информационного обмена на электрических подстанциях. Благодаря принципам гибкости и расширяемости, заложенными разработчиками, стандарт непрерывно развивается. В настоящее время вышли главы стандарта, описывающие его применение на объектах гидроэнергетики, распределенной генерации, а также для автоматизации паротурбинных и газотурбинных установок.

В докладе будут рассмотрены вопросы применения стандарта IEC 61850 для систем автоматизации электротехнологических установок.

### **Библиографический список**

1. **Крюков, О.В.** Реализация АСУ электротехнических объектов на базе ETHERNET-сетей // Вестник ПНИПУ, 2017. № 21. – С. 5-24.
2. **Пономарев, А.Ю.** Приемопередатчик интерфейса 4-20 мА // Программные системы: теория и приложения, 2015. № 4 (27). – С. 441-453.

*Е.В. Десятков, студ.;*  
*рук. Н.Н. Дыдыкина, М.Г. Марков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА «ВИБРОНИК SL-C17»**

Авторам данной работы на экспертизу был передан ручной инфракрасный массажер «Виброник SL-C17» [1, 2], предназначенный для генерирования длинноволновых инфракрасных лучей в сочетании с вибромассажем. Устройство неоднократно подвергалось ремонту, после которого снова быстро вышло из строя. В нем перегорали лампы, создающие инфракрасное излучение. С согласия владельца, устройство было вскрыто, по монтажу составлена его принципиальная схема и проведены измерения режимов работы элементов. Было установлено, что на инфракрасные лампы подается напряжение, существенно превышающее допустимое для них. Анализ показал, что причиной является неграмотная схема питания ламп от сети. Схема не серийно способна, требует индивидуальной подстройки в каждом экземпляре прибора и даже после настройки не стабильна в работе. Ненадежность инфракрасной части приборов данного типа подтверждается сообщениями в интернете [3]. Заключение по исследованию прибора – в схему заложена ненадежность и быстрый выход прибора из строя.

Было предложено существенно модернизировать прибор, с целью повышения надежности работы инфракрасной части. Авторы разработали микропроцессорную систему управления устройством питания инфракрасных ламп, которая обеспечивает требуемое напряжение и защищает нагрузку от случайного повышения напряжения. Система не требует индивидуальной подстройки и может быть использована в серийном производстве. Предложенная схема на микроконтроллере PIC10F206 [4] несколько сложнее и дороже исходной, но это окупается надежной работой устройства. Сейчас модернизированное устройство находится в опытной эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. <https://relaxio.ru/nefritovyy-massazher-vibronik>
2. <https://docplayer.ru/32901521-Instrukciya-po-primeneniyu.html>
3. <http://monitor.espec.ws/section29/topic167373.html>
4. <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC10F206>

*П.А. Кабаков, студ., Е.Е. Готовкина, асп.;  
рук. А.А. Яблоков, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПРОВОДНИКА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА РАЗЪЕМНОЙ КАТУШКОЙ РОГОВСКОГО**

Катушка Роговского является одним из видов нетрадиционных первичных преобразователей тока, которые не имеют ферромагнитного сердечника, что позволяет избавиться от эффектов насыщения и остаточной намагниченности магнитопроводов [1]. Маломощный низковольтный выходной сигнал данного преобразователя долгое время не позволял использовать его на электрических подстанциях с традиционными устройствами релейной защиты и автоматики, коммерческого учета электроэнергии и измерений. Развитие микропроцессорных технологий и внедрение их в электроэнергетике привело к созданию разнообразных устройств, осуществляющих аналого-цифровое преобразование непосредственно в месте установки катушки Роговского. Такими устройствами являются цифровые трансформаторы тока и напряжения, автоматизированные точки коммерческого учета электроэнергии и др. [2].

Катушки Роговского с разомкнутым сердечником позволяют осуществлять монтаж без разрыва токопровода, однако, у таких преобразователей имеется зависимость погрешности измерения тока от величины воздушного зазора при смещении токопровода.

Исследование эффективности различных методов уменьшения влияния положения первичного проводника на погрешность измерений тока разъемной катушкой Роговского было выполнено на верифицированных имитационных моделях с распределенными параметрами. Отличительной особенностью разработанных моделей является параметризованная геометрия, позволяющая задавать сценарии изменения влияющих величин и производить серии автоматических расчетов.

В докладе будут представлены разработанные имитационные модели и результаты исследований, выполненные на них.

### **Библиографический список**

1. ИЕС 61869-6. Instrument transformers - Part 6: Additional general requirements for low-power instrument transformers., 2016. – 41 p.
2. ООО НПО «ЦИТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitrans.ru>.

*Е.Е. Корытченкова, маг.;*  
*рук. С.Н. Ткаченко, к.т.н., доц.*  
*(ДонНТУ, г. Донецк)*

## **ВОДОРОДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ В СОСТАВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

В настоящее время существует тенденция внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистемы (ЭС) различного уровня, что требует стабилизации работы ЭС ввиду непостоянства генерации мощности от ВИЭ. Для поддержания баланса мощностей и необходимого уровня напряжения в системе целесообразно применение накопителей энергии.

Для оптимизации управления ЭС с большой долей ВИЭ существует концепция интеллектуальной ЭС «Smart grid», подразумевающая использование цифровой системы управления процессами генерации, потребления и аккумулирования электроэнергии. Одним из ее структурных элементов является микросеть (или микрогрид), способная работать как автономно, так и параллельно с ЭС [1].

В данной работе рассмотрено применение водородных топливных элементов (ВТЭ) в качестве накопителей энергии в составе микрогрид-системы. Для проведения необходимых исследований авторами разработана математическая модель микрогрид с ВИЭ и ВТЭ в среде MATLAB/Simulink. Стоит отметить, что накопителями энергии служат не сами ВТЭ, а водород, производимый в режимах избытка электроэнергии от ВИЭ: интеллектуальная система управления микрогрид запускает систему производства водорода (электролизная установка), пополняя его запасы; соответственно, в режиме нехватки электроэнергии от ВИЭ запасенный водород затрачивается на ее производство. Неоспоримыми преимуществами водородной технологии накопления энергии являются высокий КПД топливных ячеек (до 90%) ввиду всего лишь одного этапа преобразования энергии [2], их большой срок эксплуатации за счет не расходовемых в процессе реакции электродов и возможности быстрого восстановления энергоресурса.

### **Библиографический список**

1. **Buchholz В.М.** Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014. – 396 p.
2. **Стычинский З.А.** Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика. – Магдебург, Docupoint GmbH, 2010. – 209 с.

*Л.А. Лунёв, маг.;*  
*рук. Г.В. Чекан, к.т.н.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА ПУТЁМ МОДЕРНИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Железнодорожный, электрифицированный транспорт имеет стратегическое значение, а его система электроснабжения, включающая большое количество различных электротехнических установок [1], является ключевым компонентом. В связи с внедрением сети скоростного и высокоскоростного электрифицированного сообщения между городами, а также существенное расширение зоны покрытия метрополитена в крупных городах, а, особенно, в столичном регионе [2], требуется усовершенствовать подход к осуществлению ремонта и контроля текущего состояния оборудования.

Одной из основных причин несвоевременного ремонта является большая удалённость важных для нормального функционирования всей системы объектов от центральных и даже местных узлов управления, что, в свою очередь, серьёзно затрудняет своевременное информирование профильных служб о возникающих нештатных ситуациях.

Частично решить проблему своевременного информирования о проблемах на тяговых подстанциях, могла бы система удалённого мониторинга параметров трансформаторов и других электротехнических установок, которая, при проявлении отклонений от нормальных значений, сигнализировала бы на пульте управления с выдачей параметров в реальном времени по сети GSM.

В настоящее время ведутся работы по внедрению такого функционала в пилотные образцы измерительных трансформаторов, разработанных на базе ИГЭУ.

### **Библиографический список**

1. **Чернов Ю.А.** Электроснабжение железных дорог: учеб. пособие. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 406 с.
2. **Шевлюгин М.В., Чекан Г.В.** Интегральный критерий для оценки безотказности электроэнергетических объектов метрополитена с использованием модифицированного топологического метода // Электроника и электрооборудование транспорта, 2018. – № 3. – С. 23–27.



*В.А. Малушенко, студ.;*  
*рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРАХ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ**

Мирный атом занимает передовое значение в развитии Российской Федерации. Компания Росатом занимает одно из первых позиций в мире не только по количеству внедренных новых технологий в развитие атомной индустрии, но и по эффективности работы наших АЭС. На территории Российской Федерации находится 13 АЭС, две из которых уже выведены из эксплуатации (Обнинская и Сибирская) и одна заканчивает свое строительство и готовится к пуску (ПАТЭС). Самыми крупными Ленинградская и Нововоронежская атомные станции, на которых уже установлены реакторы нового типа БН, на которые возложены надежды замкнуть атомный топливный цикл.

Что бы ни повторить судьбу 26 апреля 1986 года Россия придает огромное значения безопасности атомных станций не только для человека, но и для природы, что немаловажно. При разгерметизации оборудования могут возникнуть проблемы с давлением в реакторе, либо с его системой охлаждения или обеспечением водой, что опасно, так как она выполняет функцию не только теплоносителя, но и замедлителя реакции.

Для обеспечения более надежной герметизации оборудования могут помочь магнитожидкостные герметизаторы, которые использовались в освоении космоса и хорошо переносят некоторые уровни радиации, а так же хорошо предотвращают смешивание сред.

*И.Ю. Невольников, студ.;*  
*рук. Е.С. Зайцев, к.т.н.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СТОЛА ДЛЯ КРЕПЕЖА ЗАГОТОВОК НА ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ ЧПУ**

Фрезерование – один из самых распространенных видов обработки заготовок на станках с ЧПУ. При механической обработке, под влиянием действующих сил резания, звенья упругой технологической системы (станок, приспособление, инструмент, деталь) перемещаются. Эти упругие деформации технологической системы приводят к тому, что режущие кромки инструмента, образующие профиль обрабатываемой поверхности, отклоняются от исходного положения настройки.

Влияние усилий закрепления детали на ее деформацию зависит от конфигурации детали, от способа получения заготовки для нее и от характера выполняемой операции. С течением времени внутренние напряжения постепенно выравниваются и исчезают. При этом деталь коробится. В процессе механической обработки при снятии внешних слоев металла (особенно литейной корки) часто происходит резкое перераспределение напряжений в теле детали и соответствующая ее деформация.

Решить проблему деформации деталей на фрезерном станке ЧПУ может электромагнитный стол. Обрабатываемые стальные детали, расположенные на таких плитах, удерживаются во время обработки силами магнитного притяжения плиты. Электромагнитное закрепление имеет преимущества по сравнению с зажатием в кулачках. Включая ток, можно сразу закрепить много деталей, расположенных на поверхности плиты. При электромагнитном закреплении может быть достигнута большая точность обработки, так как заготовка при нагреве в процессе обработки не сжата с боков и может свободно расширяться. При электромагнитном закреплении имеется возможность обрабатывать детали с торца и сбоку.

*Я.А. Никитенко, маг.;  
рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.  
(КГМТУ, г. Керчь)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БЕЗРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ г. КЕРЧЬ**

Городской электротранспорт относится к числу наиболее энергоёмких потребителей электрической энергии, его доля в общегородском потреблении составляет около 30 %. Постоянное повышение стоимости энерго-ресурсов заставляет внедрять современные ресурсосберегающие технологии с минимальными потерями электроэнергии.

В городе Керчь на электротранспорте используется реостатно-контакторная система управления тяговым электроприводом. Данная система управления имеет значительные потери электроэнергии в результате использования мощных потребителей электроэнергии, которые имеют значительные тепловые потери, а также трудоемкое обслуживание различных узлов, таких как коллекторно-щеточный переход двигателя и контакторная система [1].

Одна из систем, которая более эффективно может использовать потребляемую электроэнергию, по сравнению с реостатно-контакторной системой, является безреостатная система тиристорно-импульсного управления, которая строится на базе силовых GTO (Gate Turn Off) тиристоров. В такой системе необходимый по величине ток создаётся не коммутацией сопротивлений в цепи двигателя, а посредством формирования временной последовательности токовых импульсов заданной частоты и скважности. Изменяя эти параметры, можно изменять средний ток, протекающий через тяговый электродвигатель, а, следовательно, и управлять вращающим моментом тягового электродвигателя [2].

Безреостатная система управления тяговым электроприводом зарекомендовала себя как надёжная и экономичная и является намного менее энергозатратной, нежели реостатно-контакторная система управления.

### **Библиографический список**

1. **Корягина Е. Е.**, Коськин О. А. Электрооборудование трамваев и троллейбусов. – М.: Транспорт. 1982. – 4 с.
2. **Максимов А.Н.** Городской электротранспорт: Троллейбус: Учеб. для нач. проф. образования/ Анатолий Николаевич Максимов. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 256 с.

*В.А. Норин, студ.;  
рук. И.С. Снитько  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РЕШЕНИЕ ПОЛЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С УВЕЛИЧЕННЫМ РАССЕЯНИЕМ**

Как правило, одним из наиболее важных расчетов сварочного трансформатора с увеличенным рассеянием, от которого требуется высокая точность, является расчет индуктивного сопротивления рассеяния. Этот расчет необходим для получения крутопадающей внешней характеристики сварочного трансформатора и плавного регулирования сварочного тока. Трансформаторы с такой характеристикой используются для ограничения тока короткого замыкания, а также для получения на вторичной обмотке устойчивого напряжения 60-70 В.

В настоящее время предложено множество способов определения сопротивления индуктивностей рассеяния сварочного трансформатора. Большинство из них являются аналитическими и реальную геометрию трансформаторов (сложная конструкция магнитопровода и обмоток, способ намотки провода) учитывают с помощью приближенных коэффициентов. Наряду с этими методами используют 2D и 3D моделирование, при котором определяют величины основного магнитного потока и потока рассеяния и из этих параметров определяют индуктивности рассеяния [1].

Математические модели, основанные на существующих методах, имеют довольно невысокую точность, что является основанием для дальнейших поисков возможностей определения внешних характеристик сварочных трансформаторов.

Предлагаемый метод заключается в решении задачи синтеза цепной и полевой задачи, учитывающей сложную конструкцию магнитопровода трансформатора, а так же различные варианты соединения его обмоток при 2D и 3D моделировании сварочных трансформаторов с увеличенным рассеянием. В результате искомые индуктивности рассеяния могут быть определены довольно просто и с высокой точностью [2].

### **Библиографический список**

1. **Пайков И.А., Тихонов А.И.** Анализ моделей для электромагнитного расчета силовых трансформаторов // Вестник ИГЭУ, 2015. – Вып. 3. – С. 45–50.
2. **Снитько И.С., В.А. Норин, Н.Н. Дыдыкина.** Определение потоков рассеяния силового трехфазного трансформатора // Состояние и перспективы развития электро- и тепло-технологии (Бенардосовские чтения): материалы Международной (XX Всероссийской) научно-технической конференции – Иваново: ИГЭУ, 2019. Т.1 – С.3-6.

*А.О. Орлов, студ.;  
рук. В.С. Баженов, М.Г. Марков, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА ДАТЧИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В МАГНИТОЖИДКОСТНОМ ГЕРМЕТИЗАТОРЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ**

Использование магнитной жидкости (МЖ) в уплотнительной технике позволило разработать магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ), которые имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с уплотнениями традиционных конструкций – практически полное отсутствие утечек герметизируемой среды при заданных условиях работы, низкие потери мощности, малый момент сопротивления и минимальный износ вследствие чисто жидкостного трения в зазоре между подвижными и неподвижными элементами, высокую ремонтпригодность и простоту обслуживания. К недостаткам МЖГ следует отнести ограниченность температурного диапазона работы.

Известно [1], что превышение рабочей температуры отрицательно влияет на срок эксплуатации магнитной жидкости и, следовательно, магнитожидкостного герметизатора. Поэтому очень важно контролировать температуру магнитной жидкости на всём сроке ее эксплуатации.

В данной работе был разработан датчик измерения температуры магнитной жидкости на основе термопары, который позволяет в режиме реального времени следить за температурой МЖ. Размер рабочего зазора герметизатора 0.2 мм, поэтому температуру магнитной жидкости напрямую измерить невозможно. При решении поставленной задачи принято допущение, что температура МЖ равна температуре зубца герметизатора. Разработано устройство управления этим датчиком, которое при достижении критических температур оповещает об этом посредством включения светодиода «перегрев» и аварийной сигнализации.

### **Библиографический список**

1. Сайкин М. С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб: Изд. «Лань», 2017. – 136 с.
2. Аблязов Р. Программирование на ассемблере на платформе x86-64. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 304 с.

*В.А. Порохин, студ.;*  
*рук. А.Е. Савенко, к.т.н., доц.*  
*(КГМТУ, г. Керчь)*

## **ТЕХНОЛОГИЯ 3D ПЕЧАТИ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СМОЛЫ, ОСНОВЫВАЮЩАЯСЯ НА БАЗЕ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ**

3D принтеры заняли большую нишу в проектировании и создании различного рода вещей, начиная от обычной линейки, до имплантатов. Эти устройства могут заинтересовать человека с абсолютно разными родами занятий. Это могут быть и врачи, и скульпторы, и научные исследователи, и обычные люди, которым нужно распечатать недостающую вещь в быту.

SLA принтер способен печатать модели из светочувствительной смолы. Данное устройство основывается на базе стереолитографии. Принцип работы SLA принтера базируется на ультрафиолетовом излучении электромагнитного диапазона, благодаря которому жидкий и податливый фотополимер приобретает высокие качества прочности [1]. Весь процесс создания модели происходит в ёмкости, в которой находится светочувствительная смола. В эту ёмкость помещается сетчатая платформа, на которой и будет происходить “выращивание” прототипа. Данный способ получения модели является одним из самых высококачественных, так, как принтер имеет очень высокое разрешение и гладкость печати с точностью до 0,3 миллиметра и толщиной слоёв 0,3 миллиметра. По сравнению с FDM принтерами, данный принтер имеет очень маленькую скорость печати, а также ограниченный диапазон выбора цвета изделия.

SLA принтеры используются с большим успехом в самых различных отраслях, таких как: медицина, криминалистика, археология для восстановления объектов по данным рентгеновской, акустической, или ЯМР-томографии. Это величайшее изобретение, упростившее жизнь многим людям.

### **Библиографический список**

1. **Евсеев А.В. и др.** Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных и прикладных разработок. / Евсеев А.В., Камаев С.В., Кошуба Е.В., Марков М.А., Никитин А.Н., Новиков М.М., Панченко В.Я. //Под ред. Я.В. Панченко. – М.: “ФИЗМАЛИТ”, 2009. – С. 333-397.

*А.Д. Семин, студ.;*  
*рук. И.Ю. Долгих, к.т.н., В.М. Коряжкин*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ФУТЕРОВКИ ТИГЛЯ**

В настоящее время распространённым типом электротермического оборудования являются индукционные тигельные печи, область применения которых включает в себя различные виды производства, связанные с выплавкой стали и чугуна, а также алюминия, меди и сплавов на их основе. Однако, несмотря на значительные преимущества таких печей, их использование связано с рядом недостатков, важнейший среди которых заключается в тяжёлых условиях работы плавильного тигля, внутренняя поверхность которого подвергается в процессе работы термическим, механическим, эрозионным и химическим воздействиям, что служит причиной её постепенного разрушения. Это обуславливает необходимость использования специальных защитных средств, направленных на мониторинг текущего состояния огнеупорной футеровки с целью предупреждения аварийных ситуаций.

Одним из актуальных технических средств контроля остаточной толщины тигля является электротехнический комплекс [1], основанный на измерении температуры в контрольных точках футеровки и сравнении полученных значений с уставками, соответствующими исходному состоянию тигля и различным уровням его разрушения. При этом численные значения указанных величин могут быть определены методом математического моделирования в двумерной постановке на основе решения стационарной тепловой задачи в цилиндрической системе координат. В этом случае настройка модели требует ввода коэффициентов теплопроводности материалов моделируемых объектов, а также задания различных типов граничных условий (значение температуры расплава на границах футеровки, контактирующих с ним, а также расчётное выражение плотности теплового потока на границах соприкосновения с окружающей средой).

Разработанная модель позволяет получить распределение температурного поля в огнеупорной футеровке и выявить степень влияния её разрушения на значения температур в контрольных точках.

### **Библиографический список**

1. Долгих, И.Ю. Разработка системы контроля состояния огнеупорной футеровки индукционной тигельной сталеплавильной печи / И.Ю. Долгих, М.Г. Марков // Вестник Ивановского государственного энергетического университета (Вестник ИГЭУ). – 2019. – Вып. 5. – С. 58-66.

*Е.Н. Туренкова, студ.;  
рук. И.Ю. Долгих, к.т.н., Л.Б. Корюкин  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНДУКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ**

Перспективным направлением использования индукционного нагрева является индукционная точечная сварка [1], предназначенная для получения неразъёмных соединений тонких листов и массивных металлических конструкций. При её осуществлении индуктор накладывается над свариваемыми поверхностями в требуемой области и осуществляет их нагрев до заданной температуры. По окончании нагрева детали сдавливаются штоком, расположенным внутри индуктора, что способствует образованию точки сваривания.

Исследование индукционного нагрева проводилось в программе полевого моделирования COMSOL Multiphysics на примере точечной сварки двух стальных пластин в форме диска, что позволяет использовать цилиндрическую систему координат и решать задачу в двумерной осесимметричной постановке. Нагрев осуществляется индуктором, выполненным в виде цилиндрической катушки, располагаемой над местом сварки. Для концентрации магнитного поля в требуемой области изделия используется ферритовый магнитопровод.

Разработанная модель позволила получить картины распределения магнитного поля и объёмной плотности тепловыделения в расчётной области, анализ которых указывает на их концентрацию в пределах области, охватываемой индуктором. При этом показано, что для повышения уровня источников тепла и обеспечения более интенсивного нагрева требуемого участка целесообразно увеличение количества витков индуктора. В то же время были рассчитаны сосредоточенные параметры индукционной установки, характеризующие устройство как нагрузку для источника питания (входные сопротивления индуктора, его индуктивность, коэффициент мощности и электрический КПД), на основе которых определены наиболее подходящие режимы с позиции энергетической эффективности процесса сварки и обеспечения равномерности нагрева зоны сварки.

### **Библиографический список**

1. **Способ** односторонней индукционной точечной сварки разнотолщинных деталей и устройство для его осуществления / А.Н. Королёв, И.Ю. Долгих, Л.Б. Корюкин, Е.Н. Туренкова; заявка № 2017136048 с приоритетом от 10.10.2017, решение о выдаче патента от 20.08.2018 г.



А.А. Тяпин, асп.;  
 рук. В.И. Пантелеев, д.т.н., проф.  
 (СФУ, г. Красноярск)

## К ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ЛИНЕЙНОЙ МГД-МАШИНЫ

Для перемешивания жидкого алюминия в миксерах применяют 3-4-б зонные линейные МГД-машины с медными обмотками и с разомкнутым сердечником [1]. При трехфазном питании от IGBT-инвертора магнитное поле индуктора несимметрично. Поэтому для укороченных машин не следует применять Т-образную схему замещения [2].

В расчете многофазной магнитной цепи б-зонного индуктора применена нелинейная модель (рис. 1, а). По результатам итераций построена векторная диаграмма зубцовых магнитных потоков (рис. 1, б).

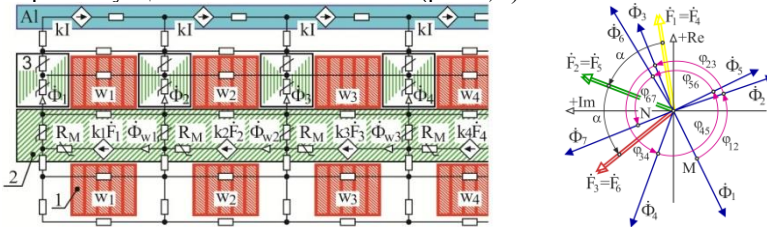


Рис. 1. Фрагмент магнитной схемы замещения и результаты расчета

Далее в анализе квазистационарного электромагнитного режима МГД-машины определяют интегральные параметры элементов электрической схемы замещения, которую синтезируют в трёхфазном исполнении с применением программной среды Ansys Multiphysics.

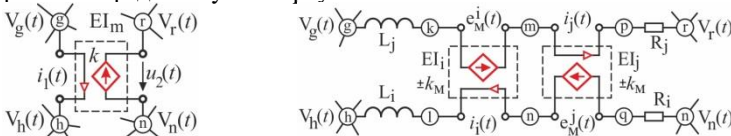


Рис. 2. Элементы электрической схемы замещения МГД-машины

В структуре схемы замещения используют управляемые источники (рис. 2, а) в базе модифицированного узлового анализа, позволяющие учесть взаимные индуктивности всех обмоток (рис. 2, б).

### Библиографический список

1. **Тяпин А.**, Kinev E. The magnetic field of a multi-phase induction device with switching windings from a triangle to a star. Norwegian Journal of development of the International Science. Oslo, 2019, No 29. Vol. 1. pp. 45 – 52. ISSN 3453-9875.
2. **Тяпин А. А.**, Kinev E. S., Bezhitsky S. S. Approach to optimization of the magnetic circuit of a threephase induction plant. Krasnoyarsk. Siberian Journal of Science and Technology. 2019, Vol. 20, No. 3, P. 398–408. Doi: 10.31772/2587-6066-2019-20-3-398-408.

А.А.Тяпин, асп.;  
рук. В.И.Пантелеев, д.т.н., проф.  
(СФУ, г. Красноярск)

## ДВУХФАЗНАЯ ЛИНЕЙНАЯ МАШИНА СИГВТ-ИНВЕРТОРОМ

Наряду с трехфазными линейными МГД-машинами, для перемешивания расплава алюминия в печах (2), применяют двухфазные индукционные машины (ИМ), когда есть массогабаритные ограничения или иные технико-экономические основания [1]. Изготовление ИМ (1) производится по результатам математического моделирования (рис. 1).

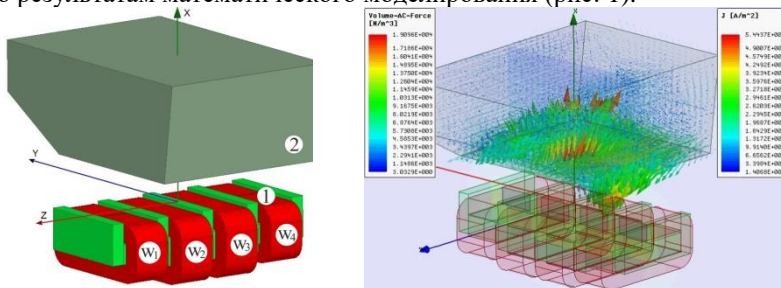


Рис. 1. Моделирование бегущего поля двухфазной МГД-машины в среде Maxwell

Для питания ИМ (1) применяют ШИМ-инверторы на частоте около 1 Гц. Однако традиционные трехфазные IGBT-преобразователи частоты непригодны по причинам несимметрии ИМ [2]. Для создания симметричного магнитного поля удобно применить двухфазный четырехзонный индуктор (1) в схеме АХВУ с фазной зоной  $\pi/4$  (рис. 2).

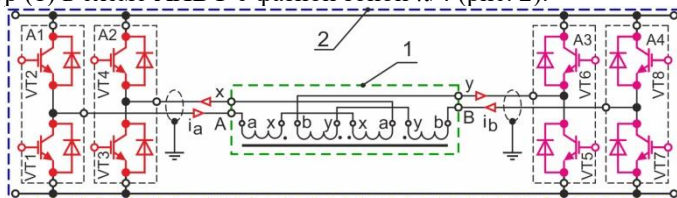


Рис. 2. Подключение сдвоенных полумостовых модулей к двухфазной ЛИМ

Инвертор (2) создают из полумостовых IGBT-модулей, обеспечивая гальваническую развязку. При этом упрощается построение алгоритмов работы системы управления и повышается надежность.

### Библиографический список

1. **Тяпин А.А.**, Kinev E.S. Flat two-phase linear induction MHD machine for metallurgical purposes. American Scientific Journal. New York, USA. 2019, No 27. Vol.1, pp. 61-67.
2. **Кинев Е. С.**, Тяпин А. А. Схемотехника подключения IGBT-инвертора к многофазной индукционной машине // САПР и моделирование в современной электронике: сб. науч. тр. II Международной научно-практической конференции. – Брянск: БГТУ, 2018. – Ч.1. – С. 208-215. DOI: 10.30987/conferencearticle\_5c19e61d557532.76134464.

*К. Фане, студ.;  
рук. А.В. Макаров, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНВЕРТОРА IGBT ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В СРЕДЕ МАТЛАВ

Одним из основных элементов устройства сопряжения солнечной электростанции с внешней электросетью является – тиристорный инвертор, который преобразует постоянный ток солнечных батарей в переменный.

Преобразователь выполняет следующие функции:

- преобразование постоянного тока в переменный ток, совместимый с сетевым напряжением;
- оптимизация напряжения постоянного тока, чтобы поле модулей работало в оптимальных условиях по мощности;

Трёхфазный инвертор не только стабилизирует напряжение тока, но и преобразует входное напряжение и входной ток.

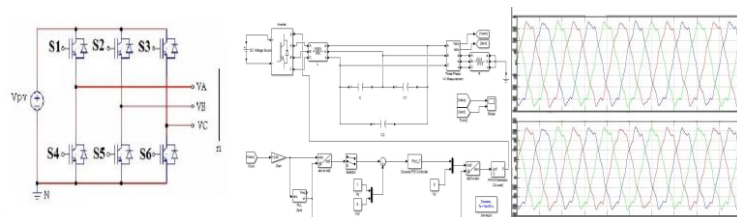


Рис.1. Моделирование трёхфазного инвертора IGBT

Для моделирования трёхфазного инвертора используется пакет программ MatLab и его стандартные библиотеки. Разработанная модель позволяет исследовать функционирование солнечной электростанции при параллельной работе с внешней сетью.

### Библиографический список

1. <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16696>
2. **ИБРАНИМ ТАХРАОУИ, АМИНЕ ХАЛИЛ.** Dimensionnement et Etude d'une installation photovoltaïque pour une habitation domestique.

*В.П. Федосеева, студ.;*  
*рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ДИАГНОСТИКИ ВИБРАЦИЙ**

Для диагностики вибросостояния технических объектов разработаны магнитожидкостные датчики [1, 2]. Конструкция датчиков включает в себя цилиндрический корпус, внутри которого расположен чувствительный элемент с возможностью осевого перемещения. В качестве чувствительного элемента используется кольцевой постоянный магнит. На внешней цилиндрической поверхности корпуса расположена измерительная обмотка. Отличие в конструкциях датчиков заключается в том, что чувствительный элемент в одном из них помещен в немагнитопроводный кожух. Кожух позволяет уменьшить действие градиента магнитной индукции на магнитную жидкость, которая расположена в зазоре между чувствительным элементом и внутренней поверхностью корпуса.

Задача исследований заключалась в расчете градиента магнитной индукции действующего на магнитную жидкость внутри корпуса. Магнитная система датчика состоит из чувствительного элемента и двух магнитов, расположенных в крышках корпуса и направленных одноименными полюсами друг к другу.

Расчеты проводились для магнитов:  $K32 \times 18 \times 5$ ,  $K17,1 \times 10 \times 11$ ,  $K11 \times 6 \times 2,5$  с остаточной магнитной индукцией  $B_r = 0,92$  Тл и коэрцитивной силой  $H_c = 617$  кА/м в среде FEMM. Толщина кожуха, в который был помещен чувствительный элемент, изменялась от 1 до 5 мм. Расчёты проводились для всех размеров магнитов при следующих соотношениях:  $\Delta = 0,1D$ ,  $\Delta = 0,3D$ ,  $\Delta = 0,5D$ ,  $\Delta = D$ , где  $D$  – наружный диаметр кольцевого магнита,  $\Delta$  – расстояние между магнитами.

Получены расчетные значения градиента магнитной индукции на различном расстоянии от поверхности чувствительного элемента. Его значения составили: 0,18-0,017 Тл/мм для наименьшего и 0,097-0,03 Тл/мм для наибольшего размеров магнитов.

### **Библиографический список**

- 1. Сайкин М. С., Федосеева В. П.** Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, RU 184838, 12.11.2018. Заявка № 2018125789 от 12.07.2018.
- 2. Сайкин М.С., Федосеева В.П.** Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, RU 189089, 13.05.2019. Заявка № 2019102636 от 30.01.2019.

*С. Шокри, студ.;*  
*рук. М.С. Сайкин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, Иваново)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МАГНИТОЖИДКОСТНОМ ГЕРМЕТИЗАТОРЕ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ АЭЛТК-114**

Работа направлена на исследование электромагнитных и тепловых полей торцевого магнитожидкостного герметизатора МЖГ [1] вращающегося вала установки электронно-лучевой сварки АЭЛТКА-114, для получения новой, модернизированной конструкции МЖГ.

Одним из главных этапов разработки является узел охлаждения установки. Изучение изменения температуры магнитной жидкости с ростом температуры в самой вакуумной камере. Цель работы заключается в разработке магнитожидкостного герметизатора с полыми полюсными приставками для охлаждения, а также исследовании этого МЖГ с водяным и азотным охлаждением. С этой целью рационально использование специализированных программных комплексов (например, COMSOL Multiphysics и ELCUT).

Исходные данные для расчета: объем камеры  $V=2,4 \text{ м}^3$ , диаметр вала  $d=15 \text{ мм}$ , толщина стенки камеры  $m=20 \text{ мм}$ , величина рабочего зазора  $\delta=0,1 \text{ мм}$ , величина площадки  $t=0,3 \text{ мм}$  шаг зубца  $b=3 \text{ мм}$  и угол при основании  $\alpha=45^\circ$ . Магнитопровод МЖГ сделан из стали 20, индукцией насыщения  $B_s=2,2 \text{ Тл}$  и напряженностью магнитного поля  $H_c=50 \text{ 0кА/м}$ . Постоянное магнитное поле образуется из наборных постоянных магнитов неодим-железо-бор (NdFeB) в форме платин П15х10х5 в количестве 5 штук.

Исследование проводилось на модели, разработанной в двухмерной осесимметричной постановке, на примере вакуумной камеры с источником тепла. Результатом стало то, что, при достижении высоких температур сварки без системы охлаждения  $t=1800 \text{ }^\circ\text{C}$  магнитная жидкость достигает критических температур  $t_{кр}=150 \text{ }^\circ\text{C}$  и выше начинает расслаиваться. Но с охлаждением она держится в пределах рабочей температуры  $t=20\div 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Полученные результаты показали на дальнейшее перспективное использование предложенной модели, обеспечивающую высокую энергетическую эффективность.

### **Библиографический список**

1. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб. Изд. «Лань», 2017. – 136 с.

**СЕКЦИЯ 17**

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА:  
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ**

Председатели – д.т.н., профессор **Савельев В.А.**,  
к.т.н., доцент **Макаров А.В.**

Секретарь – ст. преподаватель **Ушакова Н.В.**

**П.В. Агеев, студ.;**  
**рук. Н.Ф. Тимербаев, д.т.н., проф.**  
**(КГЭУ, г. Казань)**

## **ПРОМЫСЛОВОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ**

По своим энергетическим характеристикам водоросли значительно превосходят другие источники топлива. Однако, водоросли, содержащие большее количество масла, необходимого для производства биодизеля, растут медленнее. Например, водоросли, содержащие 80% нефти, вырастают раз в 10 дней, в то время как, водоросли, содержащие 30% - 3 раза в день. Стоит заметить, что основная технологическая трудность заключается в том, что водоросли чувствительны к изменению температуры, которая вследствие этого должна поддерживаться на определенном уровне. Значит для выращивания водорослей нужны строгие условия.

### **Библиографический список**

1. **Биотопливо** из водорослей [Электронный ресурс]: <http://www.cleandex.ru/articles/2016/01/19/aglae-biofuels> (дата обращения: 15.11.2019)
2. **В России** узнали состав биотоплива из водорослей [Электронный ресурс]: <https://www.popmech.ru/science/news-371342-v-rossii-uznali-sostav-biotopliva-iz-vodorosley/> (дата обращения: 15.11.2019)
3. **Биотопливо** из водорослей [Электронный ресурс]: <https://seanews.ru/2019/06/03/ru-biotoplivo-iz-vodoroslej/> (дата обращения: 15.11.2019)
4. **Подарки** от природы: биотопливо [Электронный ресурс]: <https://altenergiya.ru/bio/podarki-ot-prirody-biotoplivo.html> (дата обращения: 15.11.2019)
5. **Флора**-водоросли-выращивание водорослей [Электронный ресурс]: <https://zoo.rin.ru/cgi-bin/index.pl?idr=704&art=768> (дата обращения: 15.11.2019)

*Р.И. Гареев, ст. преп.;*  
*рук. М.Б. Гареева, к.т.н., доц.*  
*(УГАТУ, г. Уфа)*

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА БАЗЕ ВИЭ

В современном мире актуальным является вопрос энергетического перехода, характеризующегося тремя составляющими: снижение выбросов CO<sub>2</sub>, (например, за счет применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ)), децентрализация (развитие распределенной энергетики), цифровизация энергетической отрасли.

Эффективным решением снижения энергопотребления в зонах децентрализованного электроснабжения будут являться системы распределенной энергетики. Для рационального использования ВИЭ с нестабильной выработкой необходимо применение систем накопления энергии совместно с системами управления спросом, что позволит увеличить устойчивость и гибкость децентрализованной системы и снизить мощность резервных источников на традиционном топливе.

На кафедре электромеханики Уфимского государственного авиационного технического университета ведется активная работа по исследованию и проектированию элементов распределенной энергетики, таких как каскадные синхронно-асинхронные электромеханических системы (ЭМС), которые можно применять на микроГЭС [1], солнечные электростанции на базе фотоэлектрических модулей [2, 3], высокоскоростные ЭМС для механических накопителей электрической энергии (супермаховика) [4]. Так же проводятся исследования по выявлению наиболее эффективных и простых решений в области управления спросом.

### Библиографический список

1. Родыгин А.А., Мургазин Р.Р., Ильметов Д.Р., Гумерова М.Б., Гареев Р.И. Демонстрационный макет высокоэффективного каскадного генератора// Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI всерос. науч.-техн. конф. – Томск: Изд-во «Скан», 2015. – 1 Т. – С. 185–186.
2. Кислов В.Е., Семендяев Е.А., Гумерова М.Б., Гареев Р.И. Оценка перспектив использования «зеленой энергии» В Республике Башкортостан// Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвузов. сборник науч. трудов.– Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 123–125.
3. Исмагилов Ф.Р., Саттаров Р.Р., Гайсин Б.М., Гумерова М.Б., Андроников Д. А. Исследование характеристик автономных источников электроэнергии на основе фотоэлектрических модулей в условиях средних широт России// Электротехнические и информационные комплексы и системы. УГУЭС, №1, т.11, 2015. – С. 52–58.
4. Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е. Основы проектирования высокооборотных электромеханических преобразователей энергии с высококоэрцитивными постоянными магнитами: монография. – М.: Инновационное машиностроение, 2016. –223 с.



*В.В. Громов, маг;  
рук. Н.В. Денисова, к.ф.-м.н, доц.  
(КГЭУ, г.Казань)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ ДИНАМОМЕТРИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И БУДУЩЕЕ ЭНЕРГЕТИКИ**

Последние исследования запасов нефти в РФ показали, что её запасов рентабельной добычи осталось по разным данным от 10 до 15 лет. Сегодня доля затрат на электроэнергию в себестоимости добычи нефти составляет 30-35%. То есть, когда иссякнут источники легкодобываемой нефти, то доля затрат на электроэнергию только увеличится.

Поэтому в настоящее время продолжают активные поиски усовершенствования применения датчиков динамометрирования на станках-качалках глубинных штанговых насосов. Благодаря датчикам предотвращаются поломки оборудования, выход из строя электродвигателей и, следовательно, сокращается расход электроэнергии, уменьшается простой оборудования. Это позволяет снизить себестоимость нефти, и мы можем с уверенностью сказать, что применение датчиков обосновано и экономически выгодно.

При этом необходимо помнить, что запасы легкоизвлекаемой нефти ограничены, а при переходе на трудноизвлекаемые ресурсы, соответственно, возрастёт себестоимость нефти. Поэтому во многих странах мира уже сделана ставка на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). К сожалению, в России не спешат широкомасштабно внедрять ВИЭ. Когда во время Энергетической недели министру энергетики Новаку А.В. задали вопрос о перспективах развития ВИЭ, он ответил, что на сегодня они не являются приоритетными и разработкой в этой области будут заниматься в основном на исследовательском уровне. Основной упор будет и далее сделан на традиционных, невозобновляемых источниках энергии.

На завершившемся несколько дней назад Давосском форуме также была затронута тема будущего всемирной энергетики. Около ста пятидесяти банков, подписавшихся под принципами ООН ответственного ведения банковского бизнеса, готовы сформировать портфель инвестиций в размере 30 триллионов долларов на развитие электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников. К этому подводит не только исчерпаемость ресурсов, но и глобальные изменения в климате и экологии всей планеты.

*А.А. Завязкина, Е.М. Смирнова, маг.;*  
*рук. И.Н. Сулыненков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОБСЛУЖИВАНИЯ ОФФШОРНЫХ ВЭС В МИРОВЫХ ЭЭС**

В мировой практике имеет место тенденция к сокращению объемов добычи и использования невозобновляемых энергетических ресурсов и переход к альтернативным возобновляемым источникам энергии [1]. Одной из наиболее перспективных отраслей возобновляемой энергетики является ветроэнергетика. Особое место занимает оффшорная ветроэнергетика, являющаяся относительно новой технологией и на современном этапе своего развития недостаточно популярной и распространенной, однако активно развивающейся.

В ходе приведенной работы были рассмотрены основные типы ветропарков, выявлены их преимущества и недостатки.

Рассмотрен принцип работы оффшорных ВЭС и основные этапы их установки, монтажа и эксплуатации.

Представлены проекты строительства наиболее крупных оффшорных ВЭС в Японии, Китае и странах Евросоюза, а также проведен сравнительный анализ их технических характеристик. Данные об уже существующих и проектируемых оффшорных ВЭС были получены на основании мониторинга событий, оказывающих существенное влияние на функционирование и развитие мировых энергосистем, производимого СО ЭЭС России [2].

В результате анализа был показан существенный рост установленной мощности оффшорных ВЭС за последнее десятилетие, выявлена тенденция роста единичной мощности используемых ветрогенераторов и увеличения их количества на проектируемых в настоящий момент оффшорных ВЭС.

### **Библиографический список**

1. **Ермоленко Г.В. и др.** Справочник по возобновляемой энергетике Европейского Союза. Аналитические обзоры института энергетике НИУ ВШЭ / Ермоленко Г.В., Толмачева И.С., Ряпин И.Ю., Фетисова Ю.А., Мацура А.А., Реутова А.Б., 2016. – 94 с.
2. **Официальный сайт** «Системный оператор Единой энергетической системы» // Обзоры деятельности зарубежных системных (сетевых) операторов — URL: [https://so-ups.ru/index.php?id=foreign\\_tso\\_review](https://so-ups.ru/index.php?id=foreign_tso_review) (дата обращения 28.12.2019).

*Сене Сулей, маг.;*  
*рук. Ф.Р. Исмагилов, д.т.н.*  
*(УГАТУ, г. Уфа)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Более десяти лет мир развивает известные технологии превращения солнечного света в тепловую и электрическую энергию. Главное препятствие на пути к широкому распространению солнечной энергетики - зависимость от суточного ритма, сезонной изменчивости и погоды. Поэтому для усиления поток солнечной энергии, нужно собирать ее с больших площадей и запасать на будущее в аккумуляторах. Поскольку энергия солнечного излучения распределяется на большую площадь, любая установка для прямого использования солнечной энергии должна иметь устройство для ее сбора.

Чтобы хранить солнечную радиацию и использовать ее в электрических целях, существует два основных способа преобразования солнечной энергии: фотоэлектрический и термодинамический. Фотоэлектрические панели, как правило, устанавливаются на крышу, фасад или пол благодаря кремниевым элементам, которые поглощают лучи и производят ток. В этом случае свет захватывается непосредственно в виде фотонов. Второй способ работает в форме электростанций, оснащенных большими сферическими зеркалами, целью которых является преобразование тепла в электричество.

Фотоэлектрические солнечные панели производят полностью возобновляемую и устойчивую энергию, они не генерируют никаких выбросов парниковых газов или других вредных веществ и являются полностью бесшумными. Но производство электрической энергии нерегулярно, учитывая универсальность солнечного излучения. А общая доходность остается низкой (от 15% до 16% для высокопроизводительных устройств) и снижает рентабельность оборудования, учитывая высокие первоначальные инвестиции.

При термодинамическом способе электрическая энергия вырабатывается в тепловых электроустановках, в которых теплота от сгорания топлива заменяется потоком концентрированного солнечного излучения (солнечные теплоэлектростанции башенного типа, параболического (лоткового) типа, тарелочного типа).

На сегодняшний день экономика определяет будущее солнечной энергетики. Если удастся сократить затраты на производство электрической энергии, солнечная энергетика будет развиваться.

*В.В. Шестакова, асп.;*  
*рук. И.М. Кирпичникова, д.т.н., проф.*  
*(ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск)*

## **КОНСТРУКТИВНЫЕ И РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ ОТ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ**

Каким бы высоким ни был коэффициент преобразования солнечной энергии в электрическую, производство электроэнергии может уменьшиться из-за загрязнения поверхности солнечного модуля снижения поглощения ею солнечных лучей. [1]

Предлагаемое нами устройство предназначено не для очистки уже загрязненных поверхностей, а для защиты их от мелкодисперсной пыли с размерами частиц от 0,2 до 5 мкм. [2] Принцип действия устройства основан на теории электрогазочистки и электронно-ионной технологии. В качестве солнечной панели, на которой будет установлено устройство очистки, используем солнечный модуль PSM4-150. [3] Частицы пыли, имея биполярный положительный или отрицательный заряд, приближаясь к поверхности модуля, попадают в электрическое поле, создаваемое заряженной сеткой. Под действием электрических сил этого поля частицы оседают на проволоке противоположного ее заряду знака. При всех известных конструктивных показателях и скорости потока, скорость дрейфа частиц к осадительным проволокам определяется по формуле Дейча. Далее выведена формула расчёта степени очистки воздуха улавливающим устройством. В теории газоочистки такой метод расчета достаточно распространен, поэтому результаты будут иметь достоверное значение [4].

Очевидно, что чем больше размер частиц, тем больше влияние электрических сил при ее осаждении. С увеличением скорости воздушных масс эффективность осаждения снижается. Скорость ветра увеличивается с увеличением высоты и с уменьшением количества солнечной радиации.

### **Библиографический список**

1. Шестакова В.В., Кирпичникова И.М. Использование энергетического потенциала энергосберегающих технологий в социальной сфере Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сб. науч. тр. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2014. – 540 с.
2. Петренко Ю.Н., Новиков С.О., Гончаров А.А. Программное управление технологическими комплексами в энергетике: учебн. пос. – Минск: Выш.шк., 2013. – 407 с.
3. Солнечный модуль PSM4-150. – <http://www.akkumulyator.ru/item2508.html>
4. Бекиров Э.А., Каркач Д.В. Численная модель динамики потока солнечного излучения и ее сравнение с экспериментом. Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности: сб. науч.тр. – Крым: Ялта, 2015, – 28-34 с.

*К.С. Ерёмкина, студ.;  
рук. М.Л. Корякина,  
(ЧФ СВФУ, г.Анадырь)*

## **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ РОССИИ**

Как известно, технология цифровой подстанции (DSP) основана на стандарте МЭК 61850, который регулирует протоколы обмена информацией по «технологической шине» и «станционной шине». В настоящее время архитектура данных является предметом изучения, поскольку нет стандартных решений для их построения, есть только рекомендации в форме технического отчета МЭК. Любое внедрение - это технология DSP в существующей энергетической установке - шаг вперед в продвижении этой технологии для широкого использования.

Перспектива использования перехода на ЦПС в системах релейной защиты и автоматизации зданий в течение нескольких лет была одной из самых обсуждаемых проблем в электроэнергетическом сообществе[1]. Интенсивно обсуждается надежность использования этой технологии, преимущества и недостатки реализации оптических преобразователей, экономическая эффективность появления таких комплексов, конструктивные и эксплуатационные характеристики, а также необходимость разработки конкретной нормативной базы [2].

Компания «ЭнергопромАвтоматизация» первая в нашей стране внедрила в промышленном масштабе инновационный комплекс, основанный на технологии центрального обрабатывающего центра на объекте генерации. С 2013 года ООО «ЭнергопромАвтоматизация» создает программно-аппаратный комплекс на основе технологии DSP на заводе текущего поколения - Нижний Новгород, ГЭС ПАО «Гидроэлектростанция РусГидро». Одной из важных особенностей гидроэлектростанции является частое изменение режима работы устройств, что позволяет собрать достаточно информации для анализа работы инновационных устройств.

### **Библиографический список**

1. Данилин А., Горелик Т., Кириенко О., Дони Н. Цифровая подстанция. Подходы к реализации//Электроэнергия. Передача и распределение, 2012. №3. – 10 с.
2. Морозов А., Жуков Д. Цифровая станция РусГидро// Цифровая подстанция, 2015. – 20 с.

**СЕКЦИЯ 18**

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ  
И РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

Председатель – к.т.н., доцент **Сулыненков И.Н.**

Секретарь – ст. преподаватель **Ушакова Н.В.**

*Р.Т. Аблаев, Д.В. Селезнев, Е.А. Ематин, студ.;  
рук. Е.Ю. Шварцман  
(УГАТУ, г. Уфа)*

## **О ВНЕДРЕНИИ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ**

В соответствии с [1] величина генерируемой мощности солнечными электростанциями (СЭС) к 2024 году должна составить 1,958 ГВт. При этом СЭС будут сконцентрированы в отдельных регионах Российской Федерации. Для данных регионов будет актуальна проблема непредсказуемости выработки мощности СЭС. АО «СО ЕЭС» старается решить возникающие вопросы, связанные с интеграцией СЭС в единую энергетическую систему, заранее.

Один из перспективных способов решения проблемы нестабильности выработки солнечной генерации – повышение манёвренности и эффективности управления СЭС за счёт внедрения дистанционного управления активной и реактивной мощностью электростанции. В 2018 году состоялись испытания дистанционного управления режимами работы Бурибаевской СЭС из Башкирского РДУ. В процессе испытаний реализованы операции по изменению реактивной мощности, по полному отключению станции от энергосистемы. В декабре 2018 года система дистанционного управления Бурибаевской СЭС принята в опытную эксплуатацию.[2]

Проверенные на Бурибаевской СЭС технические и организационные решения используются в ходе реализации проекта дистанционного управления другими СЭС. Дистанционное управление СЭС позволит увеличить скорость изменения параметров электроэнергетического режима при ликвидации аварийных режимов в энергосистеме, осуществлять оперативное обслуживание СЭС без постоянного дежурства оперативного персонала.[2]

### **Библиографический список**

1. Об **основных** направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года; введ. Распоряжением Правительства РФ от 8 января 2009 г. N 1-р [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_83805/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83805/) (дата обращения 05.02.2020).
2. **50 Герц**. Корпоративный журнал АО «Системный оператор Единой энергетической системы»: электрон. журн. 2019. № 3. URL: [http://www.socdu.ru/fileadmin/files/company/newspaper/2019\\_03\\_50h\\_1\\_.pdf](http://www.socdu.ru/fileadmin/files/company/newspaper/2019_03_50h_1_.pdf) (дата обращения: 05.02.2020).

*М.Г. Абрамова, маг.;*  
*рук. И.Н. Сулыненков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **О ПОКАЗАТЕЛЯХ НАДЕЖНОСТИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СХЕМАХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СО СБОРНЫМИ ШИНАМИ**

Надежность высоковольтных выключателей зависит не только от параметров коммутируемых присоединений и условий эксплуатации, но в значительной степени от места аппарата в схеме распределительного устройства (РУ). В работе [1] показано, что наибольшее влияние схема РУ оказывает на выключатели в схемах со сборными шинами. При этом комплексная количественная оценка показателей надежности высоковольтных выключателей для различных схем РУ не производилась. В данной работе предпринята попытка оценить влияние схемы РУ на надежность высоковольтных выключателей.

В работе произведены многочисленные расчеты показателей надежности высоковольтных выключателей в различных схемах РУ со сборными шинами. Расчеты выполнялись по следующей методике. На первом этапе расчет производился без учета, а на втором этапе с учетом места расположения аппарата в схеме РУ. Далее осуществлялось сравнение частот отказов выключателей, рассчитанных двумя способами. Для сравнительной оценки влияния схемы РУ на надежность выключателя использовался одинаковый набор входных данных.

Анализ расчетов позволяет сделать следующие выводы:

- наибольшее влияние схема РУ со сборными шинами оказывает на выключатели, коммутирующие в РУ две системы или секции шин и на выключатели, коммутирующие систему или секцию шин и трансформатор;
- для выключателей, коммутирующих линии и сборные шины, учитывать схему РУ при расчетах частоты отказов следует в схемах с большим числом присоединений и при установке на РУ масляных или воздушных выключателей.

### **Библиографический список**

1. Сулыненков, И. Н. Исследование влияния топологии схемы распределительного устройства на надежность высоковольтных выключателей [Текст] / И. Н. Сулыненков, А. Н. Назарычев, А. И. Таджибаев // Надежность и безопасность энергетики. – Б.м. 2013. № 3 (22). – С. 14-19.



*М. А. Александров, маг.;*  
*рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ**

Согласно [1] выключатели класса напряжения 1 кВ и более относятся к электрооборудованию, подлежащему техническому освидетельствованию с выявлением его индекса технического состояния (ИТС), который представляет собой количественную оценку их физического износа. Применение средств мониторинга технического состояния позволяет оптимизировать данную задачу.

В работе рассматривается структура системы мониторинга оценки ИТС элегазовых выключателей напряжением 6-35 кВ. Определение ИТС позволяет: наиболее рационально планировать техническое обслуживание и ремонт электрооборудования, прогнозировать остаточный ресурс оборудования, оптимизировать затраты на техническое диагностирование и испытания, повысить надежность энергосистемы.

При мониторинге технического состояния элегазовых выключателей контролю подлежат следующие параметры: величина отключаемых токов короткого замыкания, время горения дуги, давление газа, влагосодержание газа характеристик ЧР, наработка, напряжение и ток каждой фазы, температура контактов и окружающей среды, и др. Параметром определяющим срабатываемый ресурс выключателя являются величина отключаемых токов КЗ и время горения дуги, так как именно при отключении ТКЗ происходит наибольший износ контактной системы. В работе приводится алгоритм оценки ИТС элегазового выключателя, задачи, цели и структура мониторинга. Полученные результаты могут быть использованы в системе управления производственными активами субъектов электроэнергетики.

### **Библиографический список**

1. **Постановление** Правительства РФ от 19.12.2016 N 1401 "О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и об осуществлении мониторинга таких показателей".

*М.С. Беликов, маг.;*  
*рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ: ВНЕДРЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ**

Повышение доли вырабатываемой на базе возобновляемых источников энергии являются сегодня актуальными задачами. Актуальность определяется:

- необходимостью снижение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу;
- достижение энергетической независимости Европы.

Целью данной работы является рассмотрение законодательных актов европейского союза направленных на внедрение возобновляемых источников энергии и их анализ.

Были проанализированы модели поддержки внедрения возобновляемых источников в электроэнергетическую систему.

Резюмируя, можно сделать вывод: европейский союз активно прорабатывает политику поддержки возобновляемых источников энергии, но сталкивается с проблемами исполнения программ отдельными странами, имеющими собственную политику в области возобновляемых источников энергии.

### **Библиографический список**

1. **Ермоленко Г. В.и др.** Справочник по возобновляемой энергетике Европейского Союза. / Ермоленко Г. В., Толмачева И. С., Ряпин И. Ю., Фетисова Ю.А., Мацура А. А., Реутова А. Б. Ермоленко Г. В., Толмачева И. С., Ряпин И. Ю., Фетисова Ю.А., Мацура А. А., Реутова А. Б. Аналитические обзоры ин-та энергетике НИУ ВШЭ, 2016. – 94 с.

2. **Кужелева К.С., Грачев Б.А.** Энергетическая политика ес в области виз, энергоэффективности и внедрения новых ресурсосберегающих технологий // энергетическая политика, 2018. Вып. 4. – с. 8-15.

3. **Шклярук М.С.** Разработка методики выбора экономических инструментов поддержки развития возобновляемых источников энергии: автореф. дис. / Шклярук М.С. – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2013. – URL: <http://elibr.spbstu.ru/dl/2893.pdf/info> (дата обращения 20.12.2019).

**С.А. Бобков, маг.;**  
**рук. Е.М. Новоселов, к.т.н.**  
**(ИГЭУ, г. Иваново)**

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЕРВОВ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ ПРИ НАЛИЧИИ В НИХ ВИЭ РАЗНОГО ТИПА**

Развитие систем распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на сегодняшний день является актуальной задачей. Актуальность определяется:

- увеличением надежности и устойчивости энергосистемы при использовании распределенной генерации с ВИЭ;
- увеличением доли ВИЭ в общей выработке электроэнергии;
- упрощением доставки электроэнергии до потребителя.

Целью данной работы является рассмотрение вопроса об использовании ВИЭ в сетях с распределенной генерацией и о формировании резерва мощности в подобных сетях.

Были рассмотрены известные виды резервирования мощности [3], возможные схемы подключения источников распределенной генерации к сети[2], проанализированы примеры использования ВИЭ в распределенных сетях разных стран, а также примеры организации резерва в таких сетях [1, 4].

На основе проведенного анализа был сделан вывод: на данный момент нет общего универсального метода интегрирования ВИЭ в распределенные сети. Это связано с особенностями эксплуатации ВИЭ, несвоевременной регламентацией технических требований и с особенностями внутреннего устройства сетей разных стран.

### **Библиографический список**

1. **Генерация** с непроводящим характером/ 50 герц, 2018. №2-3. – С. 3–11.
2. **Илюшин, П.В.** Возможность обеспечения надежного электроснабжения потребителей от объектов распределенной генерации [Электронный ресурс].– 2015– Режим доступа: <https://docplayer.ru/39222091-Vozmozhnost-obespecheniya-nadezhnogo-elektrosnabzheniya-potrebiteley-ot-objektov-raspredelennoy-generacii.html>.
3. **Ильина, Е.Т.** **Режимы работы и эксплуатация ТЭС и АЭС.** Лекции. [Электронный ресурс]. – НИУ **МЭИ.** – 2008. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/1122637>.
4. **Кучеров, Ю.Н.** Нормативно-техническое регулирование интеграции источников распределенной генерации, включая ВИЭ, в энергосистему[Электронный ресурс], 2015. Режим доступа: <https://docplayer.ru/65888697-Normativno-tehnicheskoe-regulirovanie-integracii-istochnikov-raspredelennoy-generacii-vklyuchaya-vie-v-energosisistemu.html>.

*Е.М. Букина, маг.;*  
*рук. Е.М. Новоселов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКТНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

Для повышения надежности электроснабжения при одновременном сокращении отчуждаемых земель требуется замена открытых распределительных подстанций на закрытые. Это привело к необходимости разработки нового электротехнического оборудования. Таким решением является комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией (КРУЭ).

Был проведен анализ экономической эффективности ОРУ и КРУЭ. Для сравнения использовалась методика [1], основа которой состоит в расчете дисконтированных затрат за срок службы подстанции двух Вариантов — ОРУ и КРУЭ. В качестве исходных данных использовался сборник с укрупненными стоимостными показателями линий электропередачи и подстанций напряжением 35—1150 кВ [2].

Для автоматизации расчетов автором разработано программное обеспечение, позволяющее производить технико-экономическое сравнение вариантов РУ. Были проанализированы факторы, влияющие на увеличение стоимости РУ. Выявлено, что основными притекущих стоимостных показателей ячеек выключателей ОРУ и КРУЭ и соотношения занимаемой ими площади является кадастровая стоимость земли или специфические технические условия, например жесткие нормы по площади, в которые не вписывается ОРУ.

В подавляющем большинстве случаев предпочтительнее установка ОРУ. Для получения равно экономичных вариантов требуется снизить стоимость КРУЭ не менее чем на 10 процентов. Результаты исследований нашли практическое применение при обосновании выбора соответствующего вида РУ (ОРУ или КРУЭ).

### **Библиографический список**

1. **СТО 56947007-29.240.35.146-2013.** Правила проведения расчетов затрат на строительство подстанций с применением КРУЭ.
2. **СТО 56947007-29.240.124-2012.** Укрупненные стоимостные показатели линий электропередачи и подстанций напряжением 35—1150 кВ.

*Н.В. Бычков, маг.;*  
*рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НАКОПЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В МИРОВЫХ ЭЭС**

На сегодняшний день 99% промышленного накопления и хранения электроэнергии (около 132,2 ГВт) обеспечивают гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).

Применение накопителей электрической энергии в электроэнергетических системах (ЭЭС) открывает новые возможности повышения качества управления режимами и улучшения экономических показателей функционирования ЭЭС. ГАЭС являются наиболее распространенным и используемым в течение продолжительного времени видом накопителей электроэнергии[1]. Емкостные накопители запасают электрическую энергию в виде электростатического заряда, они находятся в стадии исследования и разработки. В накопителях на сжатом воздухе воздух сжимается и удерживается под давлением в специальной емкости большого объема. Сверхпроводниковые магнитные накопители запасают энергию в магнитном поле, создаваемом постоянным током, протекающим по катушке из сверхпроводящего материала, помещенного в криогенную среду[2].

Эффект для генерации: использование накопителей позволит оптимизировать процесс производства электроэнергии за счет выравнивания графика нагрузки на наиболее дорогое генерирующее оборудование.

Технологии накопления энергии развиваются высокими темпами, накопители энергии находят все более широкое применение в практике регулирования и управления режимами электроэнергетических систем.

Широкое использование в электроэнергетических системах получили ГАЭС, непрерывно растет установленная мощность электрохимических аккумуляторов.

### **Библиографический список**

1. **Электронный** ресурс. The Strategic Energy Technology Plan. European Commission, 2017. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/technology-andinnovation/strategic-energy-technology-plan> **ION 8600** User Guide, Revision Date: June 01, 2005.
2. **Электронный** ресурс. <https://hornsdalepowerserve.com.au/>

*А.С. Высокогляд, Р.М. Хамдард, студ.;*  
*рук. Н.Н. Смотров, асс.*  
*(НИУ МЭИ, г. Москва)*

## **ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ КАБЕЛЕЙ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6-35 КВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ**

При выборе режима заземления нейтрали в проектируемых электрических сетях среднего напряжения возникает ряд проблем: определение схемы построения релейной защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), уровня изоляции электрооборудования, обеспечение термической стойкости и невозгораемости кабелей.

При возникновении однофазного замыкания на землю, ток протекает в экране или броне кабеля. Если не отключать замыкание длительное время (изолированная нейтраль), то температура экрана или брони кабеля может превысить допустимые значения.

Целью исследования являлось определение допустимого времени воздействия тока ОЗЗ на термическую стойкость кабелей. При расчетах варьировались: режим заземления нейтрали, уровень тока ОЗЗ и тип кабелей.

В результате выполненных расчетов по [1] было выявлено, что при изолированной нейтрали и времени существования замыкания на землю, равном 1 часу, кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) с медным экраном сечением  $16\text{мм}^2$  (соответствует сечению токопроводящей жилы  $95\text{мм}^2$ ), выдерживает по условиям термической стойкости ток 45А. При этом кабель с бумажно-масляной изоляцией, со свинцовой броней сечением  $33\text{мм}^2$  (соответствует сечению токопроводящей жилы  $95\text{мм}^2$ ), – ток 15А. В сети с резистивным заземлением нейтрали при времени существования замыкания на землю, равном 1 минуте, те же кабели, соответственно, выдерживают токи 345А и 120А. Исходя из полученных результатов, были сделаны выводы, что при резистивном режиме заземления нейтрали кабели выдерживают большие токи, чем при изолированном за счет меньшего времени воздействия, а также, что кабели с изоляцией из СПЭ более термически стойкие, чем кабели с бумажно-масляной изоляцией.

### **Библиографический список**

1. **ГОСТ 28895-91.** Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического нагрева.

*И.И. Емелин, студ.;  
рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Согласно постановлению Правительства РФ от 19 декабря 2016 г. № 1401 для оценки показателя технического состояния объектов электроэнергетики используется величина физического износа, для расчета которого применяется индекс технического состояния (ИТС). Рассматривается алгоритм определения ИТС кабелей номинальным напряжением 6-35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ).

Определение ИТС (рис. 1) кабелей с изоляцией из СПЭ позволит: повысить точность прогнозов отказов; сократить время простоя оборудования; оптимизировать затраты на техническое диагностирование и испытания кабелей; снизить риски.

ИТС кабеля определяется по следующим параметрам: тангенс угла диэлектрических потерь в изоляции; характеристики частичных разрядов; срок службы. Однако, если кабельная линия оснащена системой мониторинга температуры, то целесообразно использовать данные о наработке, которые будут рассчитаны по известным токовой нагрузке, условиям прокладки и эксплуатации кабелей.

В докладе приводится алгоритм определения ИТС кабелей с изоляцией из СПЭ, задачи, цели и структура системы мониторинга температуры. Полученные результаты могут быть использованы в системе управления производственными активами субъектов электроэнергетики.

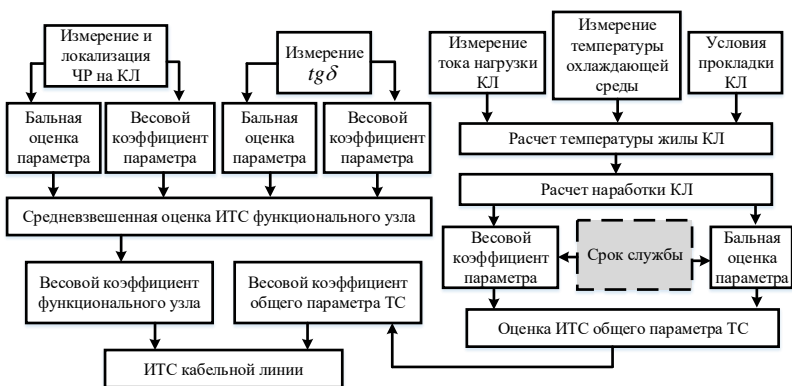


Рис. 1. Схема определения ИТС кабельной линии 6-35 кВ с изоляцией из СПЭ

*Л.В. Иванова, маг.;*  
*рук. В. А. Савельев, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КРУЭ**

Надежная работа КРУЭ оказывает существенное влияние на надежную работу всей энергосистемы. Значительно повысить технико-экономические показатели работы энергетической системы можно путем комплексной диагностики электрооборудования.

Традиционно система технического обслуживания и ремонта базируется на периодическом проведении плановых профилактических работ и является системой обслуживания по времени наработки. Применительно к устройствам высокого напряжения такая система не является оптимальной, ибо приводит к неоправданным отключениям работоспособного оборудования[1]. Более перспективным является переход к техническому обслуживанию по действительному состоянию оборудования. Это обусловлено тем, что отказы оборудования часто напрямую не связаны с их наработкой. Они являются следствием незначительной поломки, раннее обнаружение которой могло бы защитить аппаратуру и все электрооборудование от отказа.

В сформированную в данной работе базу данных входят методы контроля, сгруппированные по типам выполняемых задач: физические, химические, электрофизические, электротехнические, технические, оптические. К каждому типу задач соотнесены контролируемые параметры и методы контроля данных параметров. К группе физических и химических контролируемых параметров относятся параметры элегаза, такие как плотность, влажность элегаза, наличие примесей и продуктов разложения. К электрофизической группе относятся частичные разряды по поверхности, в элегазе и в твердой изоляции. К электротехнической группе относятся параметры тока и напряжения, а также сопротивление главных и вспомогательных цепей. В техническую группу задач отнесены параметры привода выключателя, двигателя привода, подвижных контактов выключателя. В оптической группе задач контролируемым параметром является температура корпусов.

Результат данной работы способствует созданию автоматизированных систем контроля и мониторинга состояния электрооборудования, включающих в себя все современные методы диагностики КРУЭ.

### **Библиографический список**

1. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. – М: Сви. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.



*С.А. Косарев, асп.;*  
*рук. Ю.П. Гусев, к.т.н., доц.*  
*(НИУ МЭИ, г. Москва)*

## **ВЫБОР ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ С УЧЁТОМ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6 – 20 КВ**

В распределительных сетях среднего напряжения 6 – 20 кВ широко применяются ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) для защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений. При этом перенапряжения, вызванные однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ) в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью, могут приводить к повреждению ОПН из-за возможности продолжительного существования ОЗЗ. Цель исследования состоит в разработке рекомендаций по выбору ОПН с учётом перенапряжений, обусловленных ОЗЗ. Была разработана расчётная модель распределительной сети с ОПН, проанализировано влияние на работу ОПН таких факторов, как отклонения напряжения на шинах питающей подстанции, полнота компенсации ёмкостных токов в сети, предварительный нагрев ОПН и тип ОЗЗ. Расчётная модель, реализованная с помощью программы EMTP-RV (Powersys, Франция), соответствовала распределительной кабельной сети 10 кВ с ёмкостным током 200 А и компенсированной нейтралью. Исследовано влияние ОЗЗ на ОПН, параметры которого выбирались по методическим указаниям [1]. Была произведена оценка влияния указанных факторов на токи, протекающие через ОПН, поглощаемую ОПН энергию и температуру нагрева. Показано, что методику выбора ОПН [1] необходимо изменить с учётом дополнительных факторов, определяющих параметры перенапряжений, возникающих при ОЗЗ, а также влияние данного вида перенапряжений на ОПН. Были предложены дополнения к существующей методике выбора ОПН, позволяющие выбирать ОПН с учётом максимальных кратностей перенапряжений, возникающих при ОЗЗ. Также было показано, что в тех случаях, когда выбор ОПН осуществляется, в том числе, с целью защиты электрооборудования от перенапряжений при ОЗЗ (например, в сетях генераторных распределительных устройств или в сетях собственных нужд электростанций), необходимо ограничивать максимальное время существования ОЗЗ. При этом уставки по времени защит от ОЗЗ должны выбираться с учётом нагрева ОПН.

### **Библиографический список**

1. **Методические указания** по применению ограничителей перенапряжений нелинейных в электрических сетях 6 - 35 кВ. – М.: ООО «Сопротек-11», 2001.

*М.П. Кукушкин, студ.:*  
*рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Эффективность работы электрических станций во многом определяется эффективностью работы системы собственных нужд.

Оценка технического состояния агрегатов собственных нужд является важной частью эксплуатации системы собственных нужд и всей электростанции в целом. В процессе эксплуатации тщательный анализ состояния затруднен сложными манипуляциями с агрегатом (его останов, измерения, испытания), в большинстве случаев он требует значительного времени.

Существует достаточно систем и методов оценки технического состояния, которые внедрены для электротехнического оборудования.

Одним из возможных методов проведения такой оценки является метод использования экспериментальных механических характеристик рабочей машины и асинхронного двигателя.

Механические характеристики, полученные экспериментальным путем, отличаются большей точностью. На действующих электростанциях весьма желательно иметь набор механических характеристик, полученных экспериментально, для дальнейшего использования их при анализе условий пуска и самозапуска агрегатов СН. Сравнение данных характеристик выявляет возможное ухудшение технического состояния и помогает своевременно принять решение о проведении внепланового обслуживания или замене оборудования.

### **Библиографический список**

1. **Методические** указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1983.

2. **Калачева О.Н., Лапшин В.М.** Проектирование системы собственных нужд с учетом требований эксплуатации. МУ к самостоятельной работе. – Иваново, 2010. – 64 с.

*А.Ю. Леднева, маг.;*  
*рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПРОИЗВОДСТВА, ПОТРЕБЛЕНИЯ И ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В ЕВРОСОЮЗЕ**

- Бурное развитие возобновляемой энергетики в ЕС, но главным источником энергии остаются углеводороды.
- Сокращение потребления электроэнергии в странах Евросоюза вызванное снижением потребления в электроэнергетике, более мягкой зимой и повышения энергоэффективности.
- Увеличение потребности стран ЕС в импорте энергоресурсов, т. к. многие нефтегазовые месторождения истощились, а некоторые шахты окончательно закрылись.
- Производство энергии в Европейском союзе продолжило снижаться из-за незначительного сокращения производства атомной электроэнергии, истощения нефтегазовых ресурсов и климатической политики.
- Существенное снижение цен на электроэнергию в 5 странах Евросоюза. В остальных увеличение цены, обусловленное уменьшением выработки ветровой генерации, увеличением на 4% стоимости квот на выбросы и увеличением выработки более дорогих электростанций, значительное увеличение расходов на производство, транспортировку и распределение электроэнергии, а также цены на энергоносители и источники как уголь, нефть и газ.

### **Библиографический список**

1. **Официальный** сайт REE [Электронный ресурс]: URL: <http://www.ree.es>
2. **Информационно-аналитический ресурс** Enerdata [Электронный ресурс]: URL: <http://www.enerdata.com>
3. **Официальный** сайт Elering [Электронный ресурс]: URL: <http://www.elering.ee>
4. **Официальный** сайт Litgrid [Электронный ресурс]: URL: <https://www.litgrid.eu>
5. **Договор** о Европейском Союзе (в редакции Лиссабонского договора)
6. **Морозова Т.Г.** Нарастание темпов электроэнергии. // Энергия. 2008. №3. — С.2-8.

*Д.В. Логинов, маг.;*  
*рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ СХЕМ ИСПОЛНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА**

Создание автономных гибридных электростанций на базе ВИЭ различного типа является актуальной задачей. Актуальность определяется:

- Необходимостью в гарантированном источнике питания потребителей электроэнергии децентрализованных зон;
- Дефицитом традиционного топлива в отдаленных районах;
- Увеличением надежности и устойчивости при использовании гибридной электростанции на базе ВИЭ;

Целью данной работы является сравнительный анализ схем исполнения автономных гибридных электростанций, на базе возобновляемых и традиционных источников электроэнергии различного типа.

Были проанализированы варианты схем исполнения гибридных электростанций на базе ВИЭ, а также особенности использования источников возобновляемой и традиционной энергетики.

Резюмируя можно сделать вывод: наиболее предпочтительно использовать модульную схему исполнения гибридной электростанции, так как она позволяет осуществить суммирование и распределение потоков электрической энергии от генерирующих установок и создать более эффективное управление процессами генерации.

### **Библиографический список**

1. **Григораш О.В. и др.** Возобновляемые источники электроэнергии / Григораш О.В., Степура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 272 с.
2. **Обухов С.Г., Плотников И.А.** Сравнительный анализ схем построения автономных электростанций использующих установки возобновляемой энергетики. Промышленная энергетика, 2012. – С. 46-51
3. **Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е.** Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. – Краснодар, 2011. – 188 с.

*А.Н. Морозов, асп.; А.С.Страхов, ст. препод., Н.С. Чумаков, маг.;  
рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ВСЛЕДСТВИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБМОТОК РОТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД**

На электростанциях применяется огромное число высоковольтных электродвигателей (ВЭД). Нарушение нормальной работы ВЭД ответственных механизмов собственных нужд (СН) приводит к снижению вырабатываемой генератором мощности, в связи, с чем необходимо обеспечивать высокую надежность их функционирования. Одной из причин повреждения ВЭД является обрыв стержней короткозамкнутой обмотки ротора (ОР). При этом станция может понести ущерб, который условно можно разделить на три составляющие: 1 – ущерб, вызванный снижением мощности или полным остановом блока вследствие отказа двигателя; 2 – ущерб, вызванный затратами на ремонт ВЭД; 3 – ущерб, вызванный увеличением потребления энергии и мощности ВЭД СН. В ходе исследования проанализированы первые две составляющие.

По статистическим данным за последние 20 лет о работе приводов механизмов СН одной из КЭС ОЭС Центра, было зафиксировано 12 случаев обрыва стержней ОР ВЭД, которые привели к повреждению изоляции обмотки статора. Минимальная оценка ущерба, вызванного затратами на ремонт ВЭД, составляет 600 тыс. руб/год. Кроме того, на этой же станции внезапный отказ ВЭД дутьевого вентилятора, вызванный повреждением ОР, привел к незапланированному снижению мощности блока длительностью примерно 3 суток. Ущерб при этом составил примерно 2 000 тыс. руб (расчет произведен согласно [1] и [2]).

Таким образом, повреждение ОР ВЭД может нести за собой большой экономический ущерб для электростанции.

### **Библиографический список**

1. **Порядок** установления соответствия генерирующего оборудования участников оптового рынка техническим требованиям [Электронный ресурс] // АО «СО ЕЭС». – Москва. 2018. – 153 с. – URL: [http://soups.ru/fileadmin/files/company/markets/2018/pg\\_010618\\_1.pdf](http://soups.ru/fileadmin/files/company/markets/2018/pg_010618_1.pdf).
2. **Регламент** определения объемов фактически поставленной на оптовый рынок мощности [Электронный ресурс] // Приложение 13 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка. – с изменениями от 24 января 2020 г. – 72 с. – URL: [https://www.np-sr.ru/sites/default/files/sr\\_regulation/reglaments/r13\\_24012020\\_24012020.pdf](https://www.np-sr.ru/sites/default/files/sr_regulation/reglaments/r13_24012020_24012020.pdf).

*М.А. Резенькова студ.;*  
*рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, ПОДСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ**

В настоящее время при проектировании тепловых электростанций, районных сетей, и систем электроснабжения промпредприятий и городов применяются ручные и частично автоматизированные методы расчета рабочих установившихся и переходных электромагнитных и электромеханических процессов. Недостатками этих методов являются: 1) сложность и трудоемкость расчетов, 2) отсутствие наглядности и гибкости моделей при структурной и параметрической оптимизации и виртуальных тестировании, экспериментировании и настройке систем и регуляторов объектов проектирования и управления. Целью работы является разработка и оптимизация моделей элементов тепловых электростанций и сетей и системы в целом в схемном и/или структурном выражении.

Существует ряд пакетов программ, моделирующих электротехнические и электронные объекты не в виде математических уравнений и символов, а в виде схем и структур, например, SPICE [1]. Причем, структура может быть как классической, так и операционной (через преобразование Лапласа). При таком выражении конфигурация схемы, структуры и параметры могут оперативно и свободно варьироваться, что позволяет использовать эти модели не только для расчета режимов, но и как виртуальный стенд для испытаний и настройки машин переменного тока, трансформаторов, регуляторов и другого оборудования и в целом электростанций и сетевых районов.

В ходе научной работы было показано, что для моделирования вращающихся обмоток синхронной машины наиболее удачным является метод замены однофазных вращающихся обмоток на трехфазные неподвижные, подключенные к трехфазной ЭДС вращения. Доказано, что для регулирования активной мощности в энергосистеме более эффективным является метод частотного управления.

### **Библиографический список**

1. **Разевиг В.Д.** Система проектирования OrCad 9.2 – М.: Солон-Р, 2001. – 519 с.

*Р.С. Рослов, маг.;*  
*рук. В.А. Савельев, д.т.н., проф.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ УСЛОВИЙ СОЗДАНИЯ САМОДОСТАТОЧНЫХ ЭНЕРГОРАЙОНОВ «МИКРОСИСТЕМ, МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ» В МИРОВЫХ ЭЭС**

Актуальность задачи создания самодостаточных энергорайонов в мировых ЭЭС определяется[1]:

- высокими тарифами на передачу электроэнергии;
- сложностью или экономической нецелесообразностью технологического присоединения к электрическим сетям;
- использованием местных энергоресурсов, в том числе и ВИЭ;
- резервированием электроснабжения местных потребителей;
- снижением потерь электроэнергии и затрат на ее передачу.

В ходе приведенной работы были рассмотрены основные структуры микросистем, мультиагентных систем и распределенной генерации, проанализированы условия их содания.

Резюмируя, можно сделать вывод: следующим шагом в направлении искусственного интеллекта могут стать мультиагентные (или многоагентные) системы (МАС). От перехода к интеллектуальным сетям (SmartGrid) ожидают потока информации, следующего за потоком энергии. Этот поток необходимо обработать, интерпретировать и выполнить адекватные действия (по мере необходимости). Решить эти задачи при помощи программного обеспечения, действующего сегодня, можно. Однако исследования в области искусственных нейронных сетей доказали эффективность и целесообразность обучения программам (причем без участия человека) [2].

### **Библиографический список**

1. **Системы** распределения электроэнергии и распределенная генерация.[Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.myshared.ru/slide/726022/>.
2. **Применение** мультиагентных систем в электроэнергетике. [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-multiagentnyh-sistem-v-energetike/viewer>.

*А.Ю. Рубцова, студ.;*  
*рук. Н.В. Ушакова, ст. препод.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА К СТРАТЕГИИ РЕМОНТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ**

В настоящее время большинство силового оборудования эксплуатируется за пределами нормативного срока службы. Вместе с тем в условиях рыночных отношений в энергетике к работе электрооборудования предъявляются повышенные требования надежности и безаварийности [1]. В современных условиях проблема надежности электрооборудования является одной из основных, так как надежное состояние оборудования позволяет добиться наилучших экономических показателей и создает предпосылки к сокращению затрат на производство.

На электроэнергетических предприятиях наивысший приоритет имеет основное оборудование, относящееся к активной части основных производственных фондов. Нарушения в работе оборудования и последующее развитие системных аварий может привести к критическим последствиям. В работе рассмотрена методика оптимизации управления физическими износами, которая измеряется в численном и денежном выражении, сама методика основывается на конкретных количественных показателях. В качестве таких показателей рассматривается вероятность физического износа и ущерб, который произойдет в результате серьезной аварии.

При использовании стратегии ремонта оборудования по текущему состоянию, позволит при активном внедрении средств технической диагностики и оценки текущего состояния трансформаторов сохранить величину физического риска на приемлемом состоянии, экономить финансовые ресурсы, которые в дальнейшем будут использоваться при управлении процессами технического обслуживания и ремонта в зависимости от текущего состояния трансформаторов.

### **Библиографический список**

1. PAS 55, 2008



*С.В. Смирнова, маг.;*  
*рук. И.Н. Сульменков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Согласно правилам оптового рынка электроэнергии и мощности потребители электроэнергии обязаны корректно планировать свое электропотребление. Не исключением являются электростанции, в задачи персонала которых входит прогнозирование электропотребления на собственные нужды. Следует отметить, что отклонение в потреблении от заявки приводит к дополнительным расходам. Поэтому прогнозирование величины электропотребления собственных нужд электрических станций является важной задачей.

Расчет прогнозных значений величины потребления электроэнергии осуществляется посредством различных методов и программных средств, которые подробно рассмотрены и проанализированы в данной работе. Показано, что наиболее точные и достоверные результаты можно получить при применении методов, основанных на использовании искусственных нейронных сетей [1], и методов прогнозирования, которые опираются на нормативную документацию по топливо использованию [2]. Первый метод позволяет получить довольно точные результаты с небольшими погрешностями и минимальными временными затратами. Однако, ввиду сложности математических моделей и отсутствия квалифицированных специалистов в данной области, метод не используется на энергетических объектах. Второй метод является более точным, опирается на нормативную базу, имеет относительно простой математический аппарат, который учитывает все факторы, влияющие на величину электропотребления. Однако, метод требует больших трудозатрат для выполнения соответствующих расчетов.

В докладе представлены результаты сравнения двух методов по трудозатратам и точности получаемых результатов. Показана потребность в автоматизации расчетов. Приведены рекомендации по использованию обоих методов на практике.

### **Библиографический список**

1. **Ведерников А.С., Балукова Е.А.** Определение корреляционных зависимостей между факторами, влияющими на электропотребление собственных нужд ТЭЦ / Известия высших учебных заведений. Электромеханика, 2016. - 110-113 с.
2. **Методические** указания по прогнозированию удельных расходов топлива РД 153-34.0-09.115-98.

*И.М. Сорокин, А.С. Поправко, маг.;*  
*рук. В.М. Лапшин, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ТЕНДЕНЦИИ К ОБНОВЛЕНИЮ, РОССИЙСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ**

С выходом в свет Постановления Правительства РФ от 13 августа 2018 г. №937 «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» научно-техническая документация в сфере электроэнергетики приобретает вид более строгих общеобязательных требований, которые призваны обеспечить скоординированное выполнение требований, технических и организационных мероприятий в отношении всех и каждого элементов энергосистемы.

Задания Правительства, заключенные в этом Постановлении для Минэнерго, на данный момент уже частично выполнены и подписаны, либо находятся в состоянии обсуждения и корректировки.

Приказом № 123 от 19.02.2019 г. утверждены методические указания по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа. Так же 22.11.2018 г. зарегистрирован приказ № 757, в котором утверждены Правила переключений в электроустановках, внесены изменения, по сравнению с этим же документом 2003г. издания.

Пересмотрены Нормы Технологического проектирования: развития энергосистем, тепловых электростанций, ГЭС и ГАЭС, подстанций 35-750 кВ, разработки и согласования схем выдачи мощности объектов по производству электроэнергии.

Тем самым, новые единые общеобязательные нормы регулирования технологической деятельности приведут к нормальному функционированию электроэнергетики в стране, а также ускорят процессы согласования документов внутри отрасли, что поспособствует более эффективной работе структурных подразделений энергосистемы России.

### **Библиографический список**

1. **Лахно П.Г.** Энергетическое право в Российской Федерации: становление и развитие. М.: Изд-во Московского университета, 2014.
2. **Павлушко С.А.** Становление новой системы нормативного регулирования в российской электроэнергетике. Энергия единой сети, №4(27), 2016

*А.С. Страхов, асп.; Д.А. Полкошников, ст. препод.,  
Чумаченко А.А., студ.;  
рук. А.А. Скоробогатов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПОСТРОЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТА**

Под агрегатом понимается совокупность рабочей машины (РМ) собственных нужд электрических станций и высоковольтного двигателя, который чаще всего является асинхронным (АД).

Построение механических характеристик (МХ) необходимо для выявления источника неисправностей агрегата, которые могут возникать в РМ или АД. Построить их можно согласно методике, изложенной в [1]. Для построения указанных выше МХ требуется знать частоту вращения вала ротора агрегата  $n$  при его пуске и выбеге. Данный параметр можно определить по гармоникам внешнего магнитного поля.

Для построения МХ в программном комплексе Ansys Maxwell разработана модель высоковольтного асинхронного двигателя типа ДАЗО2-17-44-8/10У1, являющегося приводом механизма тягодутьевого тракта в системе собственных нужд электростанции. Для данного двигателя в режиме пуска по току статора получена зависимость зубцовых гармонических обмотки ротора первого порядка от времени, а в режиме выбега зависимость основной частоты сети от времени по внешнему магнитному полю. На основании полученных результатов рассчитана частота вращения ротора агрегата в режимах пуска и выбега. По частоте вращения вала ротора согласно [1] построены расчетные механические характеристики РМ и АД.

Для верификации полученных МХ в программном комплексе Ansys Maxwell смоделирован пуск АД на холостом ходу и построена эталонная рабочая характеристика АД. Сравнение эталонной и расчетной характеристик АД показало, что точность предлагаемого метода определения МХ узлов агрегата достаточно высока. Разрабатываемый метод может найти применение в качестве функционального метода контроля состояния узлов агрегата собственных нужд электрических станций

### **Библиографический список**

1. **Методические** указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. Ч.1. – М.: Союзтехэнерго, 1982. – 84 с.

*А.Н. Стрюков, студ.; С.А. Косарев, асп.;  
рук. Н.Н. Смотров, асс.  
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

## **ВЛИЯНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА АВАРИЙНОСТЬ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ В СЕТЯХ 6 - 10 (20) КВ**

По данным генерирующих компаний, одной из актуальных проблем является выход из строя выключателей в сетях среднего напряжения. В некоторых случаях выход из строя выключателей в сетях генераторных распределительных устройств (ГРУ) теплоэлектроцентралей сопровождается взрывом и пожаром, что также приводило к значительному материальному ущербу. Одной из вероятных причин этих взрывов является переходное восстанавливающееся напряжение (ПВН). ПВН называется напряжение, появляющееся на выводах выключателя после погасания в нём дуги [1]. На величину и характер изменения ПВН оказывают существенное влияние две группы факторов. Первая группа включает факторы, связанные с особенностями энергосистемы, в которой установлен рассматриваемый выключатель, и характером аварии. Вторая группа включает факторы, определяемые процессами, происходящими при отключении выключателя.

Целью исследования является оценка влияния ПВН на аварийность выключателей в сетях среднего напряжения и подготовка рекомендаций по её снижению, а также уточнение требований к коммутационным аппаратам свыше 1000 В [2]. В ходе исследования в качестве варьируемого фактора была выбрана величина ёмкостного тока, создаваемого присоединениями ГРУ. В результате выполненных расчётов было показано, что для сети ГРУ 10 кВ в случае величины ёмкостного тока в 65 А максимальное значение ПВН составило 12,2 кВ. При ёмкостном токе в 370 А максимальное значение ПВН составило 0,8 кВ. Исходя из полученных результатов был сделан вывод, что с увеличением эквивалентной ёмкости оборудования величина ПВН уменьшается.

### **Библиографический список**

1. **Рахимов Д.Б.** Оценка соответствия отключающей способности выключателей токам коротких замыканий и переходным восстанавливающимся напряжениям в энергосистеме Республики Таджикистан: дис. канд. техн. наук: 05.14.02: защищена 08.06.2018: утв. 15.06.2018 / Рахимов Джамшед Бобомуродович – М., 2018.

2. **ГОСТ 687-78.** Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия.

*А.Р. Тычкин, студ.;*  
*рук. А.А. Яблоков, к.т.н.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ БИФУРКАЦИОННЫХ ДИАГРАММ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

Феррорезонансные явления приводят к повреждению оборудования и развитию аварийных ситуаций в электроэнергетических системах. В нормативных документах (СТО 56947007-29.240.10.191-2014, РД 34.20.517-87) в качестве основного метода предотвращения феррорезонансных явлений предлагается использование антирезонансных трансформаторов напряжения, которые не должны вызывать устойчивого феррорезонанса. Однако, зафиксированы случаи возникновения феррорезонансных явлений при эксплуатации некоторых типов антирезонансных трансформаторов [1]. Следует также отметить, что стоимость антирезонансных трансформаторов несколько выше по сравнению со стоимостью традиционных трансформаторов напряжения.

Исследование возможности возникновения феррорезонансных явлений на конкретном энергообъекте целесообразно выполнять на имитационных моделях. Экспериментальные исследования феррорезонансных явлений не возможны в виду значительного количества влияющих факторов, наличия риска повреждения оборудования в ходе экспериментов, экономической нецелесообразности в целом и ограничений нормативной документации по эксплуатации энергообъектов.

Изменение параметров электрооборудования в процессе эксплуатации, а также отсутствие достоверных данных о точных значениях его некоторых параметров приводит к необходимости проведения серии исследований на имитационных моделях с построением бифуркационных диаграмм.

В докладе будет рассмотрены методы и алгоритмы автоматизированного построения бифуркационных диаграмм, а также основные факторы, влияющие на возможность возникновения в сетях классов напряжения 220-750 кВ.

### **Библиографический список**

1. **Макаров, А.В.** Об эффективности функционирования антирезонансных трансформаторов напряжения // Энергоэксперт, 2013. № 6.

*Д.А. Шарнова, студ.;*  
*рук. Е.М. Новосёлов, к.т.н.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ НА ТЕРРИТОРИИ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

В современном мире существует несколько глобальных проблем, одной из которых является истощение природных ресурсов, прежде всего, нефти и газа, которые используются для выработки энергии и ухудшение экологической обстановки. Основным путем, призванным сократить потребление углеводородов и улучшить экологическую обстановку на сегодняшний день считается замещение традиционной энергетики возобновляемой.

В последние годы в России интенсифицировался процесс строительства и подключения к общей сети электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Основными преимуществами ВИЭ по сравнению с традиционными источниками энергии являются: неисчерпаемость, повышение надежности электроснабжения, нет потребности в транспортировке, минимизация вреда окружающей среде[1].

В России имеется значительное количество населенных пунктов, которые не подключены к электросети или имеют проблемы с поставками по причине труднодоступности, что делает генерацию на ВИЭ перспективным направлением развития энергетики[2].

В данной работе рассматривается целесообразность использования генерации на основе ВИЭ на территории Ивановской области.

В работе были выявлены места в Ивановской области с наибольшей солнечной и ветровой активностью. Была определена выработка электрической энергии в сутки произвольно взятых электростанций на основе ВИЭ и проведено сравнение себестоимости электрической энергии, полученной от дизель-генератора и электроэнергии, выработанной на основе возобновляемых источников энергии.

### **Библиографический список**

1. **Ратнер П.Д.** Моделирование интеграции ВИЭ в энергосистему: обзор программных комплексов // Управление инновациями – 2016, 2016. - С. 198–203.
2. **Меладзе В.Р., Стрикалова Е.В., Меладзе Д.Р.** Альтернативная энергетика. Развитие ветряной и солнечной энергетики в России // Аллея науки, 2018. Т. 1. № 11 (27). -С. 96-102.

**СЕКЦИЯ 19**

**ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА  
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Председатель – к.т.н., доцент **Словесный С.А.**

Секретарь – к.т.н., доцент **Шадриков Т.Е.**

*Д.А. Боровков, маг.;*  
*рук. Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

В настоящее время электротепловая обработка (ЭТО) бетонных и железобетонных изделий токами повышенной частоты является наиболее энергоэффективным способом термического нагрева изделий [1]. Для реализации ЭТО необходима разработка опытного образца устройства. Простейшая принципиальная схема установки на мощность до 5 кВт приведена на рис. 1.

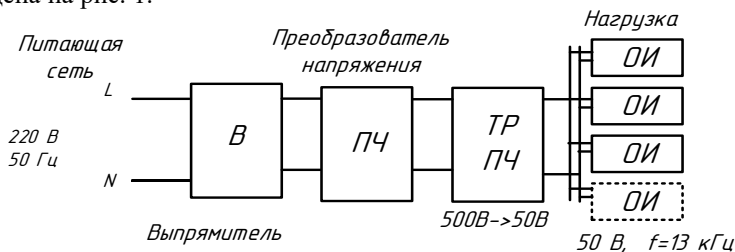


Рис.1. Принципиальная схема установки электротепловой обработки бетонных и железобетонных изделий

Устройство конструктивно будет состоять из следующих частей: блок подключения к питающей сети до 5 кВт в однофазном исполнении; выпрямитель для сглаживания пульсаций входного напряжения и преобразования питающего напряжения с частотой 50 Гц в звено постоянного тока для последующего преобразования; преобразователь частоты для получения напряжения с частотой 13 кГц; трансформатор повышенной частоты для понижения напряжения согласно требованиям ПУЭ и обеспечения гальванической развязки между обрабатываемым изделием и силовой частью.

На выходе устройства подключаются изделия для обработки в опалубке. Суммарная необходимая мощность устройства определяется типом обрабатываемых изделий (блоки ФБС, перемычки и т.п.) и их количеством.

### Библиографический список

1. Танкой А., Гусенков А.В., Лебедев В.Д., Соколов А.М., Шадриков Т.Е.// Показатели энергетической эффективности высоковольтного электротехнического комплекса повышенной частоты / Энергетик. № 7, 2017 г. – С. 6-12.



*А.С. Воробьев, Д.А. Сухоруков, маг.;*  
*рук. А.В. Вихарев, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ, ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ НА ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ) на кафедре «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика» (ВЭТФ) ведутся работы по созданию научно-исследовательской электротехнической лаборатории «Полигон для диагностики изоляции высоковольтных силовых кабелей», где на образцах высоковольтных кабелей и на моделях поврежденных участков кабелей изучаются существующие методы диагностики кабелей, а также разрабатываются новые подходы к оценке состояния кабельной изоляции. Одним из методов диагностики изоляции кабелей является измерение восстанавливающегося напряжения. Этот метод основан на абсорбционных процессах в многослойных диэлектриках, которые, в свою очередь, зависят от степени деструкции изоляции. Для реализации метода на кафедре ВЭТФ собран лабораторный стенд. При этом регистрация напряжения на изоляции кабеля осуществляется электростатическим киловольтметром С-96. Для автоматизации процесса измерения предложено модернизировать стенд включением в схему измерения электронного осциллографа Hantek DSO 1202B и высоковольтного делителя напряжения ДНВ-100.

Следует отметить, что особенностью учебных высоковольтных лабораторий является использование в качестве объекта испытаний образцов изоляции, а не полномасштабных электроэнергетических устройств. В лаборатории кафедры ВЭТФ испытания проводятся на коротких образцах кабелей (до 15 м). Они обладают сопротивлением изоляции на 2-3 порядка выше, чем у кабелей в эксплуатации. Таким образом, сопротивление образцов кабелей соизмеримо с сопротивлением делителя ДНВ-100, т.е. делитель шунтирует изоляцию, что влияет на результат измерения. В настоящее время на кафедре ВЭТФ проводятся исследования по оценке погрешности измерения, вносимой использованием ДНВ-100. Это позволит разработать рекомендации по использованию рассматриваемого метода диагностики для коротких участков высоковольтных кабелей и для электроэнергетического оборудования с большим сопротивлением изоляции. Также подобные исследования позволят оценить эффективность портативных приборов для диагностики изоляции на основе абсорбционных процессов в ней применительно к объектам с большим внутренним сопротивлением.

*Т.Г. Галиева, студ.;  
рук. Д.А. Иванов, к.т.н.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ**

В большинстве случаев срок эксплуатации высоковольтного оборудования определяется ресурсом изоляции. Одной из главных причин старения изоляции является воздействие частичных разрядов (ЧР). Регистрация ЧР оборудования энергосистем при эксплуатации широко используется для диагностики. Известны следующие методы регистрации ЧР: электрический метод (измерение сигналов в электрических цепях, контролируемого объекта); электромагнитный метод (регистрация электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне); акустический метод (измерение акустических колебаний); оптический метод (регистрация оптического излучения ЧР), термический метод.

Сегодня все чаще при диагностике высоковольтной изоляции одновременно используются несколько методов для получения более точного результата, например, совмещают акустический и электромагнитный метод [1,2].

Данные методы измерения позволяют обнаруживать дефекты в изоляции на ранней стадии их возникновения, оценивая текущее состояние изоляционных элементов, что отражено в отечественных и международных документах и стандартах.

Так, ГОСТ Р55191-2012 распространяется на измерение характеристик частичных разрядов при испытании изоляции электрооборудования напряжением переменного тока промышленной частоты до 400 Гц действующим значением свыше 1000 В и напряжением постоянного тока свыше 1000 В [3]. Основным недостатком данного стандарта является то, что он не устанавливает методы измерения характеристик частичных разрядов в изоляции электрооборудования, находящегося в эксплуатации.

Мы разработали метод и экспериментальный комплекс измерения импульсов ЧР акустическим, электромагнитным, тепловизионным датчиками. Данные с датчиков поступают на программно-аппаратный комплекс, где проходит цифровое преобразование и обработку. На основе полученных результатов определяется состояние изоляторов.

Бесконтактная диагностика изоляторов позволяет своевременно обнаруживать дефекты и увеличивать точность оценки степени их опасности, что в целом увеличивает их надежность и снижает количество аварий.

### **Библиографический список**

1. **Голенищев-Кутузов А.В., Голенищев-Кутузов В.А., Марданов Г.Д., Синюгин И.Е.** Комплексная дистанционная диагностика состояния высоковольтных изоляторов. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2013. № 9-10. – С. 69-72.
2. **Хуснутдинов Р.А.** Аппаратно-программный комплекс и методика дистанционного контроля состояния высоковольтных изоляторов: дис-я ... к.т.н.: 05.11.13 / - Казань, 2017. – 123 с.
3. **ГОСТ Р191-2012.** Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов.

*Д.А. Зыкова, студ.;  
рук. А.А. Мюльбаер  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

## РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ

Генератор импульсных токов (ГИТ) используется в высоковольтной импульсной технике для получения большой импульсной энергии.

Была разработана принципиально новая установка ГИТ с учетом развития силовой электроники (рис. 1). Применение такой установки дает ряд преимуществ перед установками ГИТ, которые были разработаны в конце прошлого века [1]: компактность и мобильность ГИТ; управление длительностью импульса тока; независимость формы импульса тока от объекта испытаний; простая настройка параметров схемы; низкая стоимость. Разработанная, в соответствии с требованиями [2], установка ГИТ выдает импульсы тока прямоугольной формы длительностью 2 мс с амплитудой от 5 до 250 А и позволяет проводить испытания низковольтных варисторов на энергоемкость.

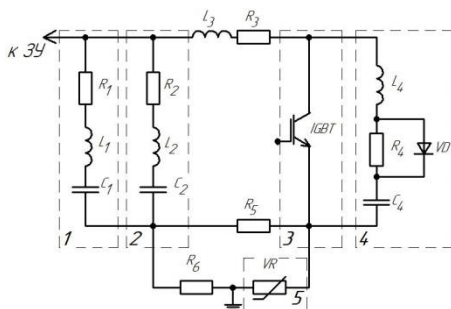


Рис. 1. Схема ГИТ (1,2 – разрядные контуры, 3 – IGBT-модуль, 4 – защитная RCD-цепь, 5 – объект испытаний)

### Библиографический список

1. Дашук, П. И. и др. Техника больших импульсных токов и магнитных полей/ П. И. Дашук, С. Л. Зайнец, В. С. Комельков, Г. С. Кучинский, И. Н. Николаевская, П. И. Шкурпат, Г. А. Шнейерсон // Под ред. В. С. Комелькова. - М., Атомиздат, 1970.
2. ГОСТ 30265-95. Варисторы. Метод испытания импульсной электрической нагрузкой. – Введ. 1996–07–01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 6 с.

*Б.О. Ковалев, маг.;*  
*рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СПОСОБЫ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ**

Сегодня в российской энергетике подавляющая часть силового оборудования работает дольше своего срока службы. В связи с этим резко увеличивается актуальность разработки и внедрения средств для оценки состояния изоляции этого оборудования. Особое внимание стоит уделять уже стареющему оборудованию, так как его перегрузки вызывают необратимые изменения изоляции.

Методы регистрации частичных разрядов можно разделить на две группы: неэлектрические и электрические. Для более четкого обнаружения можно использовать их совместно. Но наиболее распространенным и информативным все-таки является электрический метод, базирующийся на регистрации высокочастотных колебаний.

Своевременное выявление частичных разрядов, оценка их мощности и повторяемости, определение места их возникновения позволяет оценивать состояние изоляции и своевременно проводить профилактические мероприятия, существенно увеличивающие срок службы изоляции, а значит и срок службы дорогостоящего оборудования в целом.

Принципиально возможны три метода определения места возникновения частичных разрядов в обмотке силовых трансформаторов: осциллографирование емкостной составляющей, волновой составляющей и колебательной составляющей. Второй метод наиболее целесообразно применять к дисковым обмоткам. Определение места возникновения частичного разряда третьим методом возможно при помощи мостовой схемы. Определение места возникновения также может быть определено при помощи совместного использования электрических и акустических измерительных устройств.

Выбор метода и схемы регистрации определяется конкретной задачей обнаружения дефекта, и условиями, в которых применяется эта схема, а также видом измерительного элемента. Абсолютно универсальный метод и схема регистрации вряд ли возможна.

Правильный подбор схемы и выбор ее параметров позволит выявлять частичные разряды и определять места их возникновения с большей точностью.

*Е.А. Кондрюкова, маг.;*  
*рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS MAXWELL**

Электрические поля линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжений могут оказывать неблагоприятное воздействие на окружающую среду и человека. Исследование и ограничение негативного влияния является актуальной проблемой в настоящее время. Одним из параметров оценки экологического воздействия является уровень напряженности электрического поля, создаваемого в пространстве, окружающем линию. За прошедшее время для решения полевых задач было разработано большое количество программных продуктов. Наиболее универсальной в настоящий момент является программа ANSYS MAXWELL, математической основой которой является метод конечных элементов.

Для расчета электрического поля была выбрана высоковольтная ЛЭП номинальным напряжением 330 кВ. Линия представлена опорами ПБ, высота траверс которых составляет 19,5 м. Расстояние между проводами – 8,4 м. На линии применяются провода марки 2×АС–300/39, их диаметр – 24 мм. Гирлянда изоляторов состоит из 16 изоляторов типа ПС 300-А, строительная высота которых 190 мм.

В программном комплексе ANSYS MAXWELL были смоделированы провода ЛЭП. На их поверхности задан потенциал, учитывая фазный сдвиг, а также частота изменения переменного напряжения 50 Гц. Расчет производился для двух вариантов моделирования «земли». В первом варианте «земля» задана в виде проводящей пластины с нулевым потенциалом, во втором – земля представлялась в виде проводящего полукольца и полусферы, которая имитировала грунт – супесь, с удельным объемным сопротивлением 0,03 См/м и относительной диэлектрической проницаемостью – 5. Для задания граничных условий задан регион, также задана среда, в которой находятся провода.

Величину напряженности электрического поля определялась на высоте 1,8 м, которая была задана полилинией. В первом варианте расчета максимальное значение напряженности составляет  $6,03 \cdot 10^5$  В/м, а на высоте роста человека – 750 В/м. Во втором случае  $5,85 \cdot 10^5$  В/м и 740 В/м соответственно. Таким образом, вид моделирования «земли» оказывает незначительное влияние на величину напряженности электрического поля.

*В.С. Кузнецов, маг.;*  
*рук. О.С. Мельникова, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛЯ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Расчет электрических полей является важным этапом проектирования и разработки устройств высокого и сверхвысокого напряжения. В связи с этим при проектировании высоковольтной линии электропередачи обязательна комплексная оценка фактора электрического воздействия. Известные аналитические методы расчета электрического поля пригодны лишь для весьма ограниченного круга задач. При выполнении требуемых расчетов в больших масштабах и с необходимой точностью наибольшее распространение получили численные методы, применяемые на ЭВМ. Они нацелены на решение фундаментальных уравнений поля с граничными условиями.

При выполнении анализа электрического воздействия была разработана методика расчета электрического поля трехфазной трехпроводной высоковольтной воздушной линии. В соответствии с методикой на первом этапе составляется расчётная модель, которая полностью описывает основные технические и физические параметры ВЛЭП и осуществляется выбор расчётного метода электрического воздействия поля. На этом этапе принимаются некоторые допущения, и определяется их приемлемость. На втором этапе непосредственно производится расчет электрического поля ЛЭП при помощи программного комплекса ELCUT на ЭВМ. При этом строятся распределения параметров поля в расчётной области, силовые линии и эквипотенциали, распределения электрического поля вдоль них. На третьем этапе выполняется обработка и анализ полученных результатов, предусматривающий сопоставление полученных значений параметров электрического воздействия поля с нормативными допустимыми значениями. По результатам сравнения оценивается опасность электрического воздействия ЛЭП на окружающую среду.

Разработанная методика расчета электрического поля высоковольтной воздушной линии может быть использована для определения основных электрических характеристик и оценки экологического влияния поля на человека и его деятельности вблизи ЛЭП. На основе методики составлено учебно-методическое пособие по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

*А.А. Мельников, студ.;*  
*рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Под влиянием внешних воздействующих факторов, происходит старение изоляции, в процессе которого изменяются её характеристики: уменьшается степень полимеризации бумажной изоляции, происходит расслоение и растрескивание. Расслоения и растрескивания характерны тем, что электрическая прочность газов, заполняющих образовавшиеся полости намного меньше электрической прочности твердой или масляной изоляции, поэтому, на этих участках появляются частичные разряды.

Образование частичных разрядов в твердой изоляции является недопустимым, так как это приводит к интенсивному разложению диэлектрика, которое в последствии может привести к выходу оборудования из строя.

Наиболее перспективным вариантом регистрации частичных разрядов, является электрический метод, однако такой метод имеет низкую помехозащищенность. Применение мостовой схемы, позволяет повысить помехозащищенность. Преимущества данной схемы: перед измерением мост уравнивает, т.е. отстраивается от высокочастотных помех, а затем регистрирует ЧР, схема имеет высокую помехоустойчивость, а правильная настройка позволяет отфильтровать помехи сети и анализировать только сигналы частичных разрядов. К недостаткам этого метода можно отнести неспособность зарегистрировать сосредоточенные дефекты и место их нахождения.

Использование данной схемы позволит с максимально возможной точностью измерить возникающие частичные разряды, так как настройка выделит частичный разряд на фоне других сигналов.

*А.С. Папина, маг.;*  
*рук. Т.Е. Шадриков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ДАТЧИКИ ХОЛЛА: ПРИНЦИП РАБОТЫ, ТИПЫ, ПРИМЕНЕНИЕ**

Датчиком Холла это устройство для измерения магнитного поля. В основу принципа датчика положен эффект Холла, получивший свое название в честь американского физика, открывшего это явление в 1879 году. Датчик Холла состоит из полупроводниковой прямоугольной пластинки, к которой присоединены четыре электрических вывода.

Датчики Холла используются в составе многих приборов и устройств: для измерения напряженности магнитного поля, бесконтактных выключателей, герконах, при измерении силы тока, уровня жидкости и других местах. Главное их преимущество – это воздействие без физического контакта и малые габариты (на основе кремния, сверхчистого германия) [1].

Датчики подразделяются на цифровые и аналоговые. Цифровые датчики работают на определение магнитного поля до определенного предела (с фиксацией поля и сигналом). Цифровые датчики Холла делятся на униполярные и биполярные. Аналоговый вид датчиков Холла использует принцип преобразования магнитной индукции в напряжение [2].

Работа датчика Холла устроена на принципах формирования разности потенциалов на разных концах пластины [1,2] при прохождении электрического тока через датчик. Полученное напряжение прямо пропорционально электрическому току и напряженности магнитного поля.

Актуальным вопросом является применение датчиков Холла для измерения токов, напряжений и вычисления мощности в составе несинусоидальных систем переменного тока повышенной частоты и электротехнических комплексов повышенной частоты (ЭТКПЧ).

### **Библиографический список**

1. **Абрикосов А. А.** Основы теории металлов. — Москва: «Наука», главная редакция физико-математической литературы, 1987. — 520 с. — ISBN нет, ББК 22.37, УДК 539.21 (075.8).
2. **Ашкрофт Н., Мермин Н.** Физика твердого тела. - Мир, 1979.



*С.В. Разумов, студ.;*  
*рук. С.А. Словесный, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ НА ХАРАКТЕР ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЕЁ ДИАГНОСТИРОВАНИИ**

Техническое состояние изоляции кабельных линий в процессе эксплуатации определяется испытанием повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативными документами [1]. Воздействие на пластмассовую изоляцию кабелей повышенных испытательных напряжений сопровождается возникновением в толще изоляции объемных зарядов, вызывающих её повреждение при введении линии в эксплуатацию.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности исследований по совершенствованию существующих неразрушающих способов диагностирования кабельных линий. Наиболее перспективными являются способы, базирующиеся на измерении характеристик частичных разрядов (ЧР) в изоляции электрооборудования. ЧР в изоляции сопровождается импульсным уменьшением напряжения на поврежденном участке КЛ, пропорциональным размеру дефекта, и формированием электромагнитных волн токов и напряжений, распространяющихся от места дефекта к концам линии. Измерения импульсных токов, сопровождающих ЧР, затрудняют электромагнитные помехи, обусловленные отражениями от кабельных муфт. В местах соединения участков КЛ из-за изменения геометрических размеров изоляции и её материала, изменяется волновое сопротивление КЛ, вызывающее возникновение преломленных и отраженных волн.

Для оценки влияния этих волн на измерение токов ЧР при помощи программного обеспечения «ANSYS ELECTROMAGNETICS» моделируется участок кабельной линии и подключенная к нему муфта [2].

В результате моделирования установлено, что волновые сопротивления кабеля и муфты различаются существенно. Разница волновых сопротивлений кабеля и муфты, может оказать влияние на регистрацию ЧР и на определение места дефекта способом рефлектометрии.

### **Библиографический список**

1. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ) // ПУЭ. Гл. 1.8. 7-ое изд. // 1.8.40. Силовые кабельные линии.
2. **Карпова И. М.** Компьютерные технологии в науке и производстве. Расчет физических полей в электроэнергетике: учеб. пособ. / И. М. Карпова, В. В. Титков. – СПб: Изд-во политех. ун-та, 2010. – 212 с.

*А. Д. Рудаков, маг.;*  
*рук. Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РЕЗОНАНСНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Резонансный трансформатор, или катушка Теслы — устройство производящее высокое напряжение высокой частоты. Принцип действия устройства основан на использовании резонансных стоячих электромагнитных волн в катушках и используется для создания высокочастотного электрического тока при сравнительно высоком напряжении.

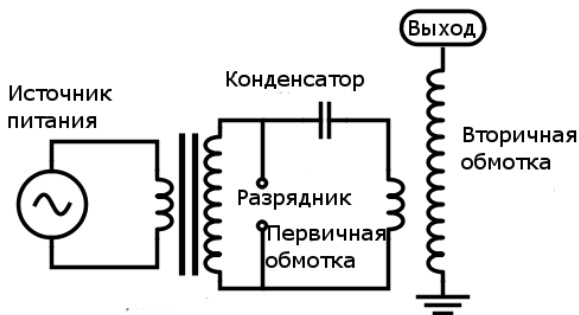


Рис.1. Простейшая схема резонансного трансформатора

В настоящее время существуют следующие модификации резонансных трансформаторов [1]: **SGTC** (Spark Gap Tesla Coil) — классическая катушка Теслы; **RSG** или статический искровой промежуток с дополнительными дугогасительными устройствами; **VTTC** (Vacuum Tube Tesla Coil) — ламповая катушка Теслы; **SSTC** (Solid State Tesla Coil) — генератор на полупроводниках; **DRSSTC** (Dual Resonant Solid State Tesla Coil) — за счёт двойного резонанса; **QCW DRSSTC** (Quasi Continuous Wave) — особый тип транзисторных катушек Теслы, характеризующийся плавной накачкой с постепенным и плавным нарастанием параметров.

Для практической реализации резонансного трансформатора следует принять классическую схему (SGTC), т.к. она обладает:

- простотой исполнения;
- низкой стоимостью;
- наглядностью.

### Библиографический список

1. **Катушка** Тесла своими руками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elektro.guru/osnovy-elektrotehniki/katushka-tesla-svoimi-rukami.html>

*Д.В. Селезнёв, Р.Т. Аблаев, Е.А. Ематин, студ.;  
рук. Е.Ю. Шварцман  
(УГАТУ, г. Уфа)*

## ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Создание мощных электрических сетей является стратегическим приоритетом освоения новых источников энергии. На рассматриваемую перспективу наиболее высоким классом напряжения в ЕЭС России остается 1000 кВ для сетей переменного тока, а также освоенные и сооружаемые в настоящее время за рубежом ВЛ постоянного тока классов напряжения  $\pm 500$ ,  $\pm 600$  и  $\pm 800$  и  $\pm 1000$  кВ. Основная роль этих электропередач будет заключаться в создании электрических мостов по нескольким направлениям.

Электроэнергия может передаваться с помощью системы переменного или постоянного тока. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Для сравнения методов передачи электроэнергии на переменном и постоянном токе желательно обсудить технические преимущества и недостатки двух методов.

Актуальность развития технологий постоянного тока высокого напряжения для отечественной электроэнергетики обусловлена как внутренними объективными условиями ее функционирования, особенностями ЕЭС России как крупнейшей электроэнергетической системы, а также особенностями работы технологически изолированных электроэнергетических систем России, так и внешними условиями, связанными с условиями функционирования сопредельных с Россией энергосистем зарубежных стран и государственных объединений [1].

В качестве одной из отраслевых задач в Энергетической стратегии России на период до 2035 года предусмотрена модернизация и развитие ЕЭС с последовательным присоединением к ней объединенной энергосистемы Востока и ряда изолированных энергосистем [2]. При реализации этих проектов необходимо использовать все преимущества технологий постоянного тока.

### Библиографический список

1. **Концепция** электропередач и вставок постоянного тока в ЕЭС России. [Электронный ресурс] URL: [Электронный ресурс] URL: [http://nipt.ru/news/conception\\_ppt.pdf](http://nipt.ru/news/conception_ppt.pdf) (дата обращения 15.11.2019).
2. **Проект** энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года (редакция от 21.10.2019). [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения 11.11.2019).

*А.И. Соколов, Д.А. Королев, студ.;*  
*рук. С.В. Воробьев*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОЦЕНКА НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА УГЛЕРОДНЫХ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСАХ**

Подвеска грозозащитных тросов (ГТ) на опорах воздушных линий электропередачи (ВЛ) осуществляется различными способами [1]. Уровень наведенного напряжения ГТ зависит от многих факторов: геометрии опор, нагрузки, расположения влияющих проводников, рельефа местности, а также от способа подвески самих тросов.

От действия электромагнитного поля фазных проводов линии электропередачи на тросе наводятся напряжения, имеющие две составляющие: электростатическую и электромагнитную. При изолированной подвеске или одностороннем заземлении троса преобладает электростатическая составляющая, возникающая за счет емкостной связи проводников, а двухстороннем - электромагнитная.

В работе исследуются наведенные напряжения на ГТ из углеродного волокна, при различных способах их подвески с помощью компьютерного моделирования. Объектом исследования является компьютерная модель одноцепной ВЛ 220кВ. Основная задача исследования – выбор оптимального способа подвески ГТ на опоре с целью минимизации уровня наведенного напряжения на них в различных режимах работы ВЛ.

При возникновении КЗ на фазах ВЛ, может происходить перекрытие искровых промежутков. С целью недопущения подобных случаев в эксплуатации, рассмотрены случаи возникновения КЗ на разных фазах, при этом производился контроль наведенного напряжения на ГТ. По результатам проведенных исследований сделан вывод о том, что наиболее оптимальный способ заземления грозозащитного троса по исходным условиям является его заземление с двух сторон в анкерном пролете. Полученные значения наведенного напряжения не приведут к перекрытию изолированной подвески, сокращению длины заземленного участка и появлению больших токов КЗ в тросе, которые способны привести к нарушению его термической стойкости [2].

### **Библиографический список**

1. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002. № 204.
2. **Дмитриев М.В., Родчихин С.В.** Расчет термической стойкости грозозащитных тросов ВЛ 110–750 кВ // Электроэнергия: передача и распределение, 2017. № 3(42). - С. 32–35.

*С.В. Степанычев, студ.;  
рук. Ю.М. Смирнова  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ С RTV ПОКРЫТИЕМ**

В настоящее время наиболее распространены линейные изоляторы из закаленного стекла. Они обладают высокой механической и электрической прочностью и позволяют визуально определить дефект изолятора. Но на линиях, подверженных сильным загрязнениям, стеклянные изоляторы не могут обеспечить надежную работу.

Наиболее эффективным решением повышения надежности является применение полимерных изоляторов, обладающих свойством гидрофобности. Но отсутствие способа обнаружения дефектов ограничило их широкое применение.

Применение стеклянных изоляторов с покрытием на основе силиконовых компаундов холодного отверждения (RTV) является альтернативным техническим решением. Нанесение на линейную изоляцию гидрофобных покрытий является одним из профилактических мероприятий, направленных на восстановление и повышение ее разрядных характеристик. Частичные повреждения силиконового слоя не представляют опасности для гирлянды.

В Китае накоплен большой положительный опыт применения на ответственных линиях электропередачи стеклянных изоляторов с RTV покрытием.

Изоляторы с RTV покрытием имеют относительно высокую стоимость, но их применение позволит увеличить надежность линий электропередачи в районах с интенсивным загрязнением и сложными климатическими условиями.

### **Библиографический список**

1. **Ким Ен Дар, Пономарев П.Е.** Опыт эксплуатации кремнийорганического покрытия холодного отверждения на подстанциях энергосистем Украины //Электрические сети и системы – К., 2006. № 3. – С. 32–35.
2. [www.inmr.com/coating-line-insulator-with-rtv-silicone/](http://www.inmr.com/coating-line-insulator-with-rtv-silicone/)
3. [www.sediver.com/...glass/Sediver\\_coated\\_insulators.html](http://www.sediver.com/...glass/Sediver_coated_insulators.html)

*Ю.И. Сысоева, студ.;  
рук. А.И. Вальцева, ст. препод.  
(УрФУ, г. Екатеринбург)*

## **СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ОТ ОБЛЕДЕНЕНИЯ**

В России общая протяжённость эксплуатируемых ЛЭП напряжением 35–1150 кВ составляет около 3 млн. км [1]. Для климата на всей территории России характерно отчётливое разделение года на холодный и тёплый сезоны и большие перепады температур. Из-за чего на воздушных линиях электропередач возникают повреждения.

Повреждения возникают из-за перенапряжения, изменения температуры окружающей среды, действия ветра, гололедных образований на проводах, загрязнения воздуха. Происходит перекрытие изоляции, и возникает электрическая дуга, поддерживаемая и после перенапряжения (при рабочем напряжении). Возникновение дуги обуславливается коротким замыканием, поэтому место повреждения требуется отключать автоматически. Место перекрытия тоже надо отключать автоматически.

Из-за высокой влажности, ветра и перепадов температур образовывается наледь на проводах воздушных линий электропередач. И она, достигая 60–70 мм, утяжеляет провода. Из-за наледи возникают дополнительные механические нагрузки на все элементы линии электропередач. Вследствие увеличения массы и динамических нагрузок происходят опасные явления, особенно при сильном ветре. Эти происшествия несут экономический ущерб, на предотвращение последствий которого требуется время и огромные средства.

Сейчас все большую популярность приобретают электротермические способы удаления льда [1]. Этот способ заключается в профилактическом нагреве, который осуществляется путём нагрева проводов электрическим током. Данный способ реализуется до образования гололеда на проводах при климатических условиях, когда его образование становится возможным. Ледяную корку же на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры 100–130 °С.

### **Библиографический список**

1. **Короткевич М.А.** Эксплуатация электрических сетей. - Минск: Высш.шк., 2014. - 352 с.

*О.Д. Чернова, студ.;  
рук. Т. Е. Шадриков, к.т.н., доц., А.М. Соколов, д.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## О ПРИМЕНЕНИИ IGBT-МОДУЛЕЙ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Для реализации электротепловой обработки (ЭТО) бетонных и железобетонных изделий токами повышенной частоты необходим источник переменного тока повышенной частоты большой мощности. Одна из возможных принципиальных схем (однофазного подключения) такого источника показана на рис. 1.

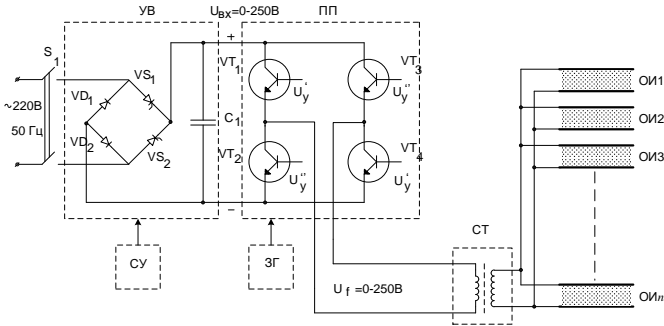


Рис.1. Схема установки электротепловой обработки бетонных и железобетонных изделий. УВ – управляемый выпрямитель, ПП – полупроводниковый преобразователь, СУ – система управления, ЗГ – задающий генератор, СТ – согласующий трансформатор, ОИ – обрабатываемое изделие.

В качестве силовых транзисторов при росте номинальной мощности в составе устройства могут быть применены IGBT модули (например, Mitsubishi CM100DU-24NFH) (рис. 2) совместно с драйвером управления VLA513:



Рис.2. Внешний вид (а) и электрическая схема соединений (б) IGBT модуля Mitsubishi

К отличительным характеристикам можно отнести максимальное напряжение коллектор-эмиттер в 1,2 кВ, максимальный ток эмиттера в 200 А, пробивное напряжение изоляции в 2,5 кВ.

*А.М. Чикалева, К.М. Баринаова, студ.;*  
*рук Г.А. Филиппов, к.т.н., доц.*  
*(ИГЭУ г. Иваново)*

## **ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ С ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ**

Важнейшей частью любого высоковольтного ввода является внутренняя изоляция. Ранее самым распространенным ее видом являлась бумажно-маслянная изоляция. Несмотря на высокие электроизоляционные свойства бумажно-масляной изоляции в процессе эксплуатации происходили пробой в ряде случаев приводящих к возникновению пожаров трансформаторов. Поэтому в настоящее время предпочтительными являются вводы с твердой RIP-изоляцией. Изоляционный остов изготавливается на основе пропитанной эпоксидной смолой [крепированной бумаги](#).

Электротехническая крепированная бумага имеет толщину 0,07 – 0,14 мм, плотность 0,7- 0,8 г/см<sup>3</sup>, массу 45 -100 г/м<sup>2</sup>,  $tg\delta = 0,03 \div 0,004$  и  $\varepsilon \approx 3$ . Основу электроизоляционного материала составляет волокно чистой 100% небеленой сульфатцеллюлозы.

Главным недостатком крепированной бумаги является высокая гигроскопичность, что приводит к обязательному наличию технологической операции сушки в процессе производства. С целью увеличения стойкости твердой изоляции к действию влаги, имеется тенденция к замене гигроскопичной крепированной бумаги. Для изготовления вводов с RIN-изоляцией используется полимерный нетканый материал, который обладает хорошими гидрофобными свойствами и имеет остаточное влагосодержание менее 0,1%.

Целью данной работы является сравнение характеристик высоковольтных вводов с RIP и RIN изоляцией.

Согласно[1], технология изготовления вводов с RIN-изоляцией не требует сушки, а сама изоляция имеет интенсивность ЧР не более 5 пКл, в то время как вводы с RIP-изоляцией имеют интенсивность ЧР не более 10 пКл. Интенсивность ЧР влияет на динамику старения изоляции и следовательно вводы с RIN-изоляцией будут иметь более стабильные характеристики в процессе эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. Славинский А.З. Высоковольтные вводы для масляных выключателей с RIN-изоляцией-ООО “МАССА”, Россия, 2010.



*А.М. Чикалева, К.А. Сумина, студ.;*  
*рук. С.В. Воробьев*  
*(ИГЭУ г. Иваново)*

## **СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ CPW И ТК-70**

Современной тенденцией во многих отраслях науки и техники является замена металлических конструкционных элементов на композитные. В настоящее время проводится работа в области исследования грозозащитных тросов (ГТ) на основе углеродного волокна. Повышение надежности работы воздушной линии электропередачи (ВЛ) на сегодняшний день является актуальной задачей.

Согласно [1], основными наиболее повреждаемыми элементами на ВЛ являются провода, ГТ. Обрывы проводов и тросов происходят в основном из-за превышения допустимых механических нагрузок.

В работе расчет грозозащитных тросов ВЛ на механическую прочность выполнен с помощью метода допустимых напряжений [2], позволяющего оценить возникающие нагрузки в материале троса. С помощью методик механического расчета получены допустимые механические напряжения в грозозащитных тросах с учетом влияния климатических условий.

Проведенный сравнительный механический расчет тросов ТК – 70 и тросов CPW, изготовленных из углеродного волокна показал, что возникающие напряжения в тросах CPW меньше, чем в ТК – 70. Это позволяет не только облегчить условия работы самих тросов, но и снизить механические нагрузки на опоры ВЛ. Кроме того, в режиме максимальных температур стрела провиса грозозащитного троса типа CPW не превышает 7 м, в то время как у ТК этот показатель может достигать 11 м. Отсутствие стрелы провиса в грозовом режиме в случае применения CPW позволяет уменьшить угол защиты ГТ, что повышает грозоупорность ВЛ. Таким образом, грозозащитный трос из углеволокна способен обеспечить наиболее эффективную бесперебойную работу ВЛ.

### **Библиографический список**

1. **Ефимов Е.Н.** Оценка повреждаемости компонентов воздушных линий электропередачи напряжением 110-750 кВ/ Тимашова Л.В., Ясинская Н.В., Батяев С.Ю. 1997-2007 гг.
2. **Вихарев А.П.** Методические указания по проектированию механической части воздушных ЛЭП./ Вычегжанин А.В., Репкина Н.Г. – Киров, 2009.

*И.В. Шмаков, студ.;  
рук. А.А. Мюльбаер, ст. препод.  
(НГТУ, г. Новосибирск)*

## **СОЗДАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ВАРИСТОРОВ КЛАССИФИКАЦИОННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1200 В**

Данный генератор импульсных токов предназначен для испытания на энергоемкость варисторов классификационным напряжением 1200 В. Согласно техническому заданию данная установка должна производить испытания варисторов импульсными токами амплитудой от 150 А и до 10000 А. Длительность фронта составляет 8 мкс, а длительность импульса 20 мкс согласно ГОСТ [1]. Частота испытаний при максимальной амплитуде должна быть не меньше одного раза в минуту. Также по заданию требуется сделать установку компактной, пригодной к транспортировке и должно осуществляться управление с компьютера.

Основные параметры генератора были рассчитаны аналитически [2] и проверены с помощью компьютерной модели в среде PSpice.

**Таблица 1. Основные параметры контура**

Наименование	R, Ом	C, мкФ	L, мкГн	U <sub>0 МАХ</sub> , кВ
Значение	0,4	12	5,1	12

В качестве коммутатора в установке используется тиристорная сборка. Это позволяет реализовать цифровое управление установкой. Для измерения тока и напряжения на варисторе были изготовлены коаксиальный шунт и емкостной делитель напряжения, а для контроля заряда конденсатора был сделан резистивный делитель. Измерения с датчиков поступают через блок защиты измерений на плату сбора данных, там преобразуются из аналоговых в цифровые и поступают на компьютер.

Автор принимал участие: в расчете параметров и моделировании схемы, сборке шунта и делителей, сборке установки и ее наладке.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 30265-95. Варисторы. Метод испытания импульсной электрической нагрузкой. – Введ. 1996–07–01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. - М.: Изд-во стандартов, 1996. – 6 с
2. Щеглов Н.В. Испытательные и электрофизические установки высокого напряжения: учеб. пособ. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. - 244 с.

*К.О. Шушкин, студ.;  
рук. О.А. Баженов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ВЫРАВНИВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ВДОЛЬ КОЛОНКИ ОПН

В настоящее время в электроэнергетическом комплексе Российской Федерации для защиты изоляции электрооборудования от перенапряжений всеобщее распространение получили ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН). Построение схем защиты изоляции оборудования как новых, так и модернизируемых подстанций, от грозовых и коммутационных перенапряжений теперь оказывается возможным только с использованием ОПН.

Одной из важных задач, требующих решения при создании и эксплуатации ОПН, является обеспечение равномерного распределения напряжения вдоль колонки варисторов. Причиной такого распределения напряжения является резкая неравномерность электрического поля, в которое помещается ОПН.

Выравнивания распределения напряжения вдоль колонки варисторов достигается путем установки тороидальных экранов соосных с колонкой варисторов, рис. 1.

Следовательно, задача заключалась в том, чтобы подобрать такую систему тороидальных экранов, которая обеспечивает равномерное распределение потенциала вдоль оси симметрии тороидов.

В работе были найдены оптимальные геометрические соотношения расположения экранирующих колец и представлены графически на рис. 2.

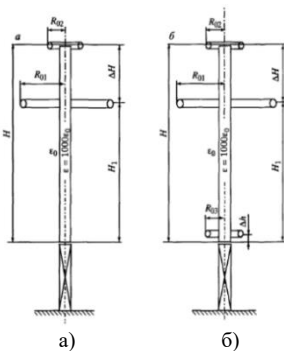


Рис. 1. Расчетная схема расположения экранов ОПН: а) при двух тороидах; б) при трех тороидах

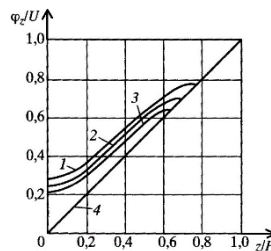


Рис. 2. Распределение потенциала внешнего поля вдоль оси ОПН при использовании одного тороида: 1 – отношение  $R_0/r_0=10$ , 2 –  $R_0/r_0=15$ , 3 –  $R_0/r_0=30$ , 4 – равномерное распределение потенциалов, без экранов

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 13. Электрические системы

<i>Белобородова Ю.А., рук. Братолобов А.А.</i> Применение отечественных программно-вычислительных комплексов для исследования неполнофазных режимов ЭЭС на примере однофазного АПВ	4
<i>Вуколов В.Ю., Петров А.А., Шарыгин М.В. рук. Куликов А.Л.</i> Разработка алгоритмов управления режимами распределительных электрических сетей	5
<i>Гарин И.Е., рук. Бушуева О.А.</i> Информационная модель компактной линии электропередачи для расчетов установившихся режимов электроэнергетических систем	6
<i>Гусельщикова А.В., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Модернизация комплекса лабораторных работ для исследования статических характеристик нагрузки	7
<i>Егоров В.А., рук. Кулешов А.И.</i> Особенности применения композитных опор для ВЛ 110 - 750 кВ	8
<i>Железнов А.Н., рук. Братолобов А.А.</i> Сравнительный анализ критериев статической устойчивости двухмашинной ЭЭС	9
<i>Калуцков А.В., рук. Кормилицын Д.Н.</i> Повышение пропускной способности линий электропередачи высокого напряжения с использованием управляемой продольной компенсации	10
<i>Корчагина А.А., Рубцова А.А., рук. Мартиросян А.А.</i> Исследование устойчивости электроэнергетической системы с УУПК в программном комплексе MATLAB GUI	11
<i>Кривова Е.О., рук. Ившин И.В.</i> Применение ветро-дизельных электрических станций в качестве автономного источника питания для удалённого потребителя электроснабжения	12
<i>Куликов Ф.А., Кормилицына А.М., Иванов И.Е., рук. Мурзин А.Ю.</i> Анализ влияния вариаций параметров воздушных линий электропередачи на точность двустороннего определения места повреждения	13
<i>Куликов Ф.А., Кормилицына А.М., Иванов И.Е., рук. Мурзин А.Ю.</i> Разработка алгоритма определения места повреждения с уточнением параметров линии электропередачи	14
<i>Мокроусова Ю.В., рук. Фишов А.Г.</i> Исследование режимов Mini-Grid с двумя точками подключения к внешней электрической сети	15
<i>Отузбаев М.Р., рук. Русина А.Г.</i> Прогнозирование мощности нагрузки электроэнергетической системы с помощью искусственной нейронной сети с учетом метеорологических факторов	16
<i>Рафиков В.Р., Иванов И.Е., рук. Братолобов А.А.</i> Идентификация параметров синхронного генератора с помощью синхронизированных векторных измерений в установившихся режимах	17
<i>Смирнов А.С., рук. Братолобов А.А.</i> Сравнительный анализ математических моделей синхронной машины на примере исследования самовозбуждения	18
<i>Сысоева Ю.И., Сибирякова А.И. рук. Егоров А.О.</i> Малая гидроэнергетика на Урале	19

<i>Хамдард Р.М., Высокогляд А.С., рук. Смотров Н.Н.</i> Оценка электробезопасности в сетях 6(10) кВ с учётом режима заземления нейтрали	20
<i>Шибачев Ю.С., рук. Мартиросян А.А.</i> Повышение пропускной способности транзита Кола-Карелия-Ленинград	21
<i>Марченко А.И., Мурашкина И.С., рук. Фишов А.Г.</i> Технические решения для интеграции локальных систем электроснабжения на базе малой распределённой генерации в электроэнергетическую систему	22

#### Секция 14. Электроснабжение

<i>Абсатаров Д.А., рук. Денисова Н.В.</i> Использование элементов системы «Умный дом» в структуре промышленных предприятий	24
<i>Артемов Д.Е., рук. Денисова Н.В.</i> Разработка современной системы освещения	25
<i>Басенко В.Р., Низамиев М.Ф., рук. Ившин И.В.</i> Анализ вибрационных сигналов силового трансформатора с применением лазерного измерительно-диагностического комплекса	26
<i>Беляева В.А., Белов А.Н., рук. Аржанникова А.Е.</i> Реализация технического критерия в задаче оптимизации режима системы электроснабжения	27
<i>Еременко В.В., Бедретдинов Р.Ш. рук. Соснина Е.Н.</i> Собственные нужды атомных электростанций	28
<i>Искаков Р.А., рук. Гапоненко С.О.</i> О проблемах электроснабжения городов	29
<i>Кочегарова А.А., Пучкова Д.С., рук. Сорокин А.Ф.</i> Анализ способов снижения несинусоидальности напряжения в системах электроснабжения	30
<i>Кравченко О.И., рук. Савенко А.Е.</i> Автоматическая система коммерческого учета электроэнергии как решение повышения энергоэффективности	31
<i>Малова М.Н., рук. Сорокин А.Ф.</i> Анализ вариантов применения накопителей электрической энергии в электрических сетях	32
<i>Манько Д.О., рук. Бушуева О.А.</i> Прогнозирование электропотребления промышленного предприятия на основе искусственных нейронных сетей	33
<i>Муратова Э.Д., рук. Бабикова Н.Л.</i> К вопросу энергоэффективности и энергосбережения сетевой компании	34
<i>Пустохин П.Ю., рук. Юнусов Р.М.</i> Анализ способов уменьшения колебаний потребления электроэнергии	35
<i>Пучкова Д.С., Кочегарова А.А., рук. Сорокин А.Ф.</i> Оценка колебаний напряжения в системе электроснабжения дуговых электрических печей	36
<i>Седов С.А., Коробкова А.И., рук. Шульпин А.А.</i> Повышение энергоэффективности с помощью интеллектуальных систем учета электроэнергии	37
<i>Солдаткина Е.С., рук. Бушуева О.А.</i> Проблемы применения источников малой генерации в системах электроснабжения городов	38
<i>Соловьев Е.Р., рук. Аржанникова А.Е.</i> Экономические токовые интервалы для кабелей марки ААШВ на основе современных стоимостных показателей	39
<i>Сухойкина И.А., рук. Сорокин А.Ф.</i> Автоматизированная система анализа и управления качеством электроэнергии на промышленных предприятиях	40
<i>Уткина Е.А., рук. Балдов С.В.</i> Определение показателей качества электрической энергии на стадии проектирования системы электроснабжения	41

<i>Фетисов А.А., рук. Шульпин А.А.</i> Использование энергосберегающих силовых трансформаторов в электрических сетях	42
<i>Фролов А.В., Чудинов Ю.А., рук. Бушуева О.А.</i> Режимы работы потребителей энергообъекта Ивановской энергосистемы	43
<i>Шувалова Ю.Н., Ворошилов А.А., рук. Бедретдинов Р.Ш.</i> Повышение эффективности применения фотовольтаических панелей	44
<i>Шумский Н.В., Шрамко П.А., Шулин Р.А., рук. Соснина Е.Н.</i> Распределенная система управления энергоузелом на базе нейронной сети	45
<i>Юренков Ю.П., рук. Кузнецов А.В.</i> Завышении инвестиционной составляющей в системы электроснабжения	46
<i>Ярошовец А.С., рук. Бабикова Н.Л.</i> К повышению энергоэффективности системы электроснабжения в общественных зданиях	47
 Секция 15. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем	
<i>Алексеев Л.Л., рук. Вуколов В.Ю.</i> Особенности выполнения микропроцессорной релейной защиты от дуговых замыканий	49
<i>Батманов М.Р., Евдаков А.Е., рук. Яблоков А.А., Филатова Г.А.</i> Экспериментальные исследования измерительных преобразователей тока и алгоритмов их диагностики с использованием современного моделирующего и испытательного оборудования на базе RTDS	50
<i>Грызунов К.А., Алексинский А.С., рук. Алексинский С.О.</i> Мультиагентный модуль микропроцессорной релейной защиты	51
<i>Евдаков А.Е., рук. Шуин В.А.</i> Эквивалентирование переходных токов при исследованиях токовых защит от замыканий на землю	52
<i>Ематин Е.А., Селзнёв Д.В., Аблаев Р.Т., рук. Шварцман Е.Ю.</i> О преимуществах внедрения цифровых распределительных электрических сетей	53
<i>Кузьмина Н.В., рук. Шуин В.А., Лебедев В.Д.</i> Релейная защита и автоматика точки коммерческого учета для ВЛ 6-10 кВ	54
<i>Кутумов Ю.Д., рук. Шуин В.А.</i> Обзор существующих методов компенсации высших гармонических составляющих токов замыкания на землю	55
<i>Лейман Е.И., рук. Савенко А.Е.</i> Релейная защита и ее назначение	56
<i>Максимов Д., Соловьева А., рук. Шуин В.А.</i> Исследование способов проверки трансформаторов тока для релейной защиты по допустимой погрешности	57
<i>Мишулин Р.Г., Касимов В.А., Кононцев П.В.</i> Аппаратура локационного зондирования для обнаружения гололеда и повреждений на линиях электропередачи	58
<i>Осокин В.Ю., рук. Куликов А.Л.</i> Реализация алгоритма определения места повреждения ЛЭП 6-35 кВ при однофазных замыканиях на землю с использованием балластного сопротивления	59
<i>Пелевин П.С., Лоскутов А.А., рук. Куликов А.Л.</i> Упрощенные методы определения поврежденного участка смешанных ЛЭП для блокирования АПВ	60
<i>Петров А.Е., рук. Лебедев В.Д., Филатова Г.А.</i> Исследование функций и устройств релейной защиты и автоматики с помощью комплекса RTDS	61
<i>Родин Н.А., рук. Колесов Л.М.</i> Анализ алгоритмов реализации автоматического повторного включения с улавливанием синхронизма	62

<i>Сиротина А.С., Алёшин К.С., рук. Шуин В.А.</i> Модель для исследования токов в ЛЭП 110-220 кВ с односторонним питанием при самозапуске электродвигателей	63
<i>Сонин В.Р., Ильичёв Е.В., рук. Шагурина Е.С., Добрягина О.А.</i> Разработка лабораторной установки на базе микропроцессорного терминала	64
Секция 16. Электротехника и электротехнологии	
<i>Агаев М.Е., рук. Куликов К.В.</i> Подходы к построению универсального инверторного источника питания с переменной структурой	66
<i>Вихарев Д.Ю., рук. Сайкин М.С.</i> Применение метода вероятных путей магнитного потока для расчёта электротехнических устройств	67
<i>Готовкина Е.Е. рук. Лебедев В.Д., Яблоков А.А., рук. Лебедев В.Д., Яблоков А.А.</i> Применение стандарта IEC 61850 для систем автоматизации электротехнологических установок	68
<i>Десятков Е.В. рук. Дыдыкина Н.Н., Марков М.Г.</i> Исследование и модернизация электротехнического устройства «ВИБРОНИК SL-C17»	69
<i>Кабаков П.А., Готовкина Е.Е., рук. Яблоков А.А.</i> Исследование методов уменьшения влияния положения первичного проводника на погрешность измерения тока разъемной катушкой Роговского	70
<i>Корытченкова Е.Е., рук. Ткаченко С.Н.</i> Водородные топливные элементы как накопители энергии в составе интеллектуальных энергосистем	71
<i>Лунёв Л.А., рук. Чекан Г.В.</i> О проблеме оценки надёжности систем электроснабжения транспорта путём модернизации компонентов мониторинга параметров электротехнических установок	72
<i>Малушенко В.А., рук. Сайкин М.С.</i> О магнитожидкостных герметизаторах при герметизации электротехнического оборудования на атомных электрических станциях	73
<i>Невольников И.Ю., рук. Зайцев Е.С.</i> О разработке электромагнитного стола для крепежа заготовок на фрезерном станке ЧПУ	74
<i>Никитенко Я.А., рук. Савенко А.Е.</i> Система управления тяговым электроприводом безрельсового транспорта в условиях г. Керчь	75
<i>Норин В.А., рук. Снитко И.С.</i> Решение полевой задачи для определения характеристик сварочного трансформатора с увеличенным рассеянием	76
<i>Орлов А.О., рук. Баженов В.С., Марков М.Г.</i> Разработка датчика измерения температуры магнитной жидкости в магнитожидкостном герметизаторе установки для выращивания монокристаллов кремния	77
<i>Порохин В.А., рук. Савенко А.Е.</i> Технология 3D печати светочувствительной смолой, основывающаяся на базе стереолитографии	78
<i>Семин А.Д., рук. Долгих И.Ю., Коряжкин В.М.</i> Расчёт параметров тепловой модели индукционной печи при разработке системы мониторинга футеровки тигля	79
<i>Туренкова Е.Н., рук. Долгих И.Ю., Корюкин Л.Б.</i> Разработка и исследование математической модели индукционной установки для точечной сварки	80
<i>Тяпин А.А., рук. Пантелеев В.И.</i> К задаче синтеза схемы замещения несимметричной линейной МГД-машины	81

<i>Тяпин А.А., рук. Пантелеев В.И.</i> Двухфазная линейная машина с IGBT-инвертором	82
<i>Фане К. О., рук. Макаров А.В.</i> Моделирование инвертора IGBT для солнечных батарей в среде MATLAB	83
<i>Федосеева В.П., рук. Сайкин М.С.</i> Разработка и исследование магнито-жидкостных датчиков диагностики вибраций	84
<i>Шокри С., рук. Сайкин М.С.</i> Моделирование температурных и электромагнитных полей в магнитожидкостном герметизаторе для оборудования электронно-лучевой сварки АЭЛТК-114	85

#### Секция 17. Электроэнергетика: прошлое, настоящее, будущее

<i>Агеев П.В., рук. Тимрбаев Н.Ф.</i> Промышленное выращивание водорослей	87
<i>Гареев Р.И., рук. Гареева М.Б.</i> Распределенная электроэнергетика на базе ВИЭ	88
<i>Громов В.В., рук. Денисова Н.В.</i> Применение датчиков динамометрирования для энергосбережения и будущее энергетики	89
<i>Завязкина А.А., Смирнова Е.М., рук. Сулыненков И.Н.</i> Анализ проектов строительства и обслуживания оффшорных ВЭС в мировых ЭЭС	90
<i>Сене Сулей, рук. Исмагилов Ф.Р.</i> Перспективы развития солнечной энергетики	91
<i>Шестакова В.В., рук. Кирпичникова И.М.</i> Конструктивные и режимные параметры устройства для защиты солнечных модулей от полевых частиц	92
<i>Ерёмина К.С., рук. Корякина М.Л.</i> История развития цифровых подстанций России	93

#### Секция 18. Электрооборудование и режимы электрических станций и подстанций

<i>Аблаев Р.Т., Селезнев Д.В., Емелин Е.А., рук. Шварцман Е.Ю.</i> О внедрении дистанционного управления солнечными электростанциями	95
<i>Абрамова М.Г., рук. Сулыненков И.Н.</i> О показателях надежности выключателей в схемах распределительных устройств со сборными шинами	96
<i>Александров М.А., рук. Савельев В.А.</i> Мониторинг технического состояния элегазовых выключателей	97
<i>Беликов М.С., рук. Савельев В.А.</i> Возобновляемые источники энергии в Европейском Союзе: внедрение в электроэнергетическую систему	98
<i>Бобков С.А., рук. Новоселов Е.М.</i> Анализ условий формирования резервов мощности в энергосистемах при наличии в них ВИЭ разного типа	99
<i>Букина Е.М., рук. Новоселов Е.М.</i> Исследование целесообразности использования комплектных элегазовых распределительных устройств	100
<i>Бычков Н.В., рук. Савельев В.А.</i> Накопление электроэнергии в мировых ЭЭС	101
<i>Высокогляд А.С., Хамдард Р.М., рук. Смотров Н.Н.</i> Термическая стойкость кабелей при однофазных замыканиях на землю в сетях 6-35 кВ при различных режимах заземления нейтрали	102
<i>Емелин И.И., рук. Савельев В.А.</i> Оценка технического состояния кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена	103



<i>Иванова Л.В., рук. Савельев В.А.</i> Формирование базы данных для диагностирования КРУЭ	104
<i>Косарев С.А., рук. Гусев Ю.П.</i> Выбор ограничителей перенапряжений нелинейных с учетом однофазных замыканий на землю в сетях 6-20 кВ	105
<i>Кукушкин М.П., рук. Лапшин В.М.</i> Использование экспериментальных механических характеристик для определения технического состояния агрегатов собственных нужд электростанций	106
<i>Леднева А.Ю., рук. Лапшин В.М.</i> Анализ динамики производства, потребления и цен на электроэнергию в Евросоюзе	107
<i>Логинов Д.В., рук. Лапшин В.М.</i> Анализ схем исполнения автономных гибридных электростанций на базе возобновляемых и традиционных источников электроэнергии различного типа	108
<i>Морозов А.Н., Страхов А.С., Чумаков Н.С., рук. Скоробогатов А.А.</i> Анализ экономического ущерба электростанции вследствие повреждений обмоток ротора высоковольтных электродвигателей собственных нужд	109
<i>Резенкова М.А., рук. Скоробогатов А.А.</i> Элементы автоматизированного проектирования электрической части тепловых электростанций, подстанций и сетей	110
<i>Рослов Р.С., рук. Савельев В.А.</i> Анализ условий создания самодостаточных энерго-районов "Микросистем, мультиагентных систем" в мировых ЭЭС	111
<i>Рубцова А.Ю., рук. Ушакова Н.В.</i> Оценка экономической эффективности перехода к стратегии ремонта силовых трансформаторов по техническому состоянию	112
<i>Смирнова С.В., рук. Сульиных И.Н.</i> Анализ методов прогнозирования электропотребления на собственные нужды электростанции	113
<i>Сорокин И.М., Поправко А.С., рук. Лапшин В.М.</i> Нормативно-техническое регулирование в электроэнергетике тенденции к обновлению, Российские перспективы	114
<i>Страхов А.С., Полкошиников Д.А., Чумаченко А.А., рук. Скоробогатов А.А.</i> Построение механических характеристик агрегата	115
<i>Стрюков А.Н., Косарев С.А., рук. Смотров Н.Н.</i> Влияние переходного восстанавливающего напряжения на аварийность выключателей в сетях 6-10(20) кВ	116
<i>Тычкин А.Р., рук. Яблоков А.А.</i> Автоматизированное построение бифуркационных диаграмм феррорезонансных явлений	117
<i>Шарнова Д.А., рук. Новоселов Е.М.</i> Использование целесообразности использования ВИЭ на территории Ивановской области	118
<b>Секция 19. Высоковольтная электроэнергетика и электротехника</b>	
<i>Боровков Д.А., рук. Шадриков Т.Е.</i> Разработка принципиальной схемы устройства электротепловой обработки	120
<i>Воробьев А.С., Сухоруков Д.А., рук. Вихарев А.В.</i> Проблемы при измерении напряжения, восстанавливающегося на изоляции высоковольтного оборудования	121

<i>Галиева Т.Г., рук. Иванов Д.А.</i> Бесконтактная диагностика высоковольтных изоляторов	122
<i>Зыкова Д.А., рук. Мюльбаер А.А.</i> Разработка генератора импульсных токов	123
<i>Ковалев Б.О., рук. Словесный С.А.</i> Способы регистрации частичных разрядов в силовых трансформаторах	124
<i>Кондрукова Е.А., рук. Мельникова О.С.</i> Расчет электрического поля высоковольтной линии в программном комплексе ANSYS MAXWELL	125
<i>Кузнецов В.С., рук. Мельникова О.С.</i> Оценка влияния электрического воздействия поля воздушной линии электропередачи на окружающую среду	126
<i>Мельников А.А., рук. Словесный С.А.</i> Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного электрооборудования	127
<i>Папина А.С., рук. Шадриков Т.Е.</i> Датчики Холла: принцип работы, типы, применение	128
<i>Разумов С.В., рук. Словесный С.А.</i> Влияние характеристик изоляции кабельной линии на характер волновых процессов, возникающих при её диагностировании	129
<i>Рудаков А.Д., рук. Шадриков Т.Е.</i> Резонансные трансформаторы	130
<i>Селезнев Д.В., Аблаев Р.Т., Ематин Е.А., рук. Шварцман Е.Ю.</i> Преимущества передачи электроэнергии на постоянном токе	131
<i>Соколов А.И., Королев Д.А., рук. Воробьев С.В.</i> Оценка наведенных напряжений на углеродных грозозащитных тросах	132
<i>Степанычев С.В., рук. Смирнова Ю.М.</i> Перспективы применения стеклянных изоляторов с RTV покрытием	133
<i>Сысоева Ю.И., рук. Вальцева А.И.</i> Способы защиты воздушных линий электропередач от обледенения	134
<i>Чернова О.Д., рук. Шадриков Т.Е., Соколов А.М.</i> Применение IGBT-модулей в высоковольтных устройствах переменного тока повышенной частоты	135
<i>Чикалева А.М., Барина К.М., рук. Филиппов Г.А.</i> Проблемы создания и эксплуатации высоковольтных вводов с твердой изоляцией	136
<i>Чикалева А.М., Сумина К.А., рук. Воробьев С.В.</i> Сравнение механических характеристик грозозащитных тросов CPW и ТК-70	137
<i>Шмаков И.В., рук. Мюльбаер А.А.</i> Создание генератора импульсных токов для испытания варисторов классификационным напряжением до 1200 В	138
<i>Шушкин К.О., рук. Баженков О.А.</i> Выравнивание распределения напряжения вдоль колонки ОПН	139
<i>Содержание</i>	140

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ПЯТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙКАЯ  
(СЕДЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2020»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 3

*Составители: Макаров А.В., Шадриков Т.Е.  
Компьютерная верстка Дыдыкиной Н.Н.  
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.  
Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,48.  
Тираж 100 экз. Заказ № .  
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический  
университет им. В.И. Ленина»  
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.