



**МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

**28–29 апреля 2020 г.**

**Материалы конференции**

**В трех томах**

**Том 1**

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Казань**



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Министерство образования и науки Республики Татарстан  
Благотворительный фонд «Надежная смена»  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский государственный энергетический университет»

**МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ «ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

28–29 апреля 2020 г.

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

**ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

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

Казань  
2020

УДК 620.9  
ББК 31.3  
М43

Рецензенты:

канд. техн. наук, зав. кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВО «СамГТУ»  
доц. А.С. Ведерников;

д-р техн. наук, проректор по НР ФГБОУ ВО «КГЭУ» И.Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

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

**М43**      **Международная молодежная научная конференция  
«Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая  
трансформация».** В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника:  
матер. конф. (Казань, 28–29 апреля 2020 г.) / под общ. ред. ректора  
КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020.  
– 636 с.

ISBN 978-5-89873-567-8 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-566-1

Опубликованы материалы Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области теплоэнергетики по следующим научным направлениям: электроэнергетические системы и сети, надежность, диагностика; электроснабжение; промышленная электроника и светотехника, электрические и электронные аппараты; перспективные материалы и направления развития физики, химии, математики и материаловедения; электротехнические комплексы и системы; энергоэффективность и энергобезопасность производства; системная автоматика, релейная защита и противоаварийное управление в электроэнергетических системах; инженерная защита окружающей среды и безопасность труда на производстве; возобновляемые источники энергии и безопасность; контроль, автоматизация и диагностика электроустановок электрических станций и подстанций.

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

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

УДК 620.9  
ББК 31.3

ISBN 978-5-89873-567-8 (т. 1)  
ISBN 978-5-89873-566-1

© Казанский государственный энергетический университет, 2020

## Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

УДК 621.311.1

### НАРУШЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Айсина Т.Х.<sup>1</sup>, Сошинов А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>КТИ (филиал) ФГБОУ ВО «ВолГТУ», г. Камышин

<sup>1</sup>t\_aysina@mail.ru, <sup>2</sup>epp@kti.ru

Науч. рук. Сошинов А.Г.

Работы по обеспечению качества электрической энергии в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013 на сегодняшний день являются актуальными и требуют незамедлительного решения. В статье приведены результаты измерений показателей качества электрической энергии и наиболее часто встречающиеся нарушения нормативных показателей качества электрической энергии в электрических сетях.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности, коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения.

Качество электрической энергии зависит не только от производителя, но и от параметров потребителей электрической энергии (ЭЭ). Использование ЭЭ, не отвечающей нормативным значениям показателей качества электроэнергии (ПКЭ), может привести к уменьшению срока службы, к поломке электрооборудования, к браку производственной продукции и другим последствиям, в результате чего потребитель может понести значительные экономические потери и материальный ущерб [1].

Негативное влияние на качество ЭЭ оказывают потребители с нелинейным характером нагрузки [2]. В последнее время нелинейные электроприёмники все большее место занимают в составе нагрузки на промышленных предприятиях и в распределительных сетях.

В жилых и общественных зданиях также увеличивается доля приёмников с нелинейными вольт-амперными характеристиками (ВАХ), таких как: персональные компьютеры, серверное оборудование, системы кондиционирования, другое оборудование, использующее для питания своей

системы управления выпрямительные устройства [1]. Несимметричные режимы напряжений в электрических сетях имеют место также в аварийных ситуациях при обрыве фазы или несимметричных коротких замыканиях.

Из всех приведённых примеров можно сделать вывод, что работы по обеспечению качества электрической энергии в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013 [3] на сегодняшний день являются актуальными и требуют быстрого и правильного решения.

Как показывают результаты последних измерений, проведённых с помощью приборов контроля качества электроэнергии и приведённых в [1], сейчас наиболее часто встречаются нарушения нормативных требований по коэффициентам  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  и несимметрии напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$  (рис. 1 и 2).

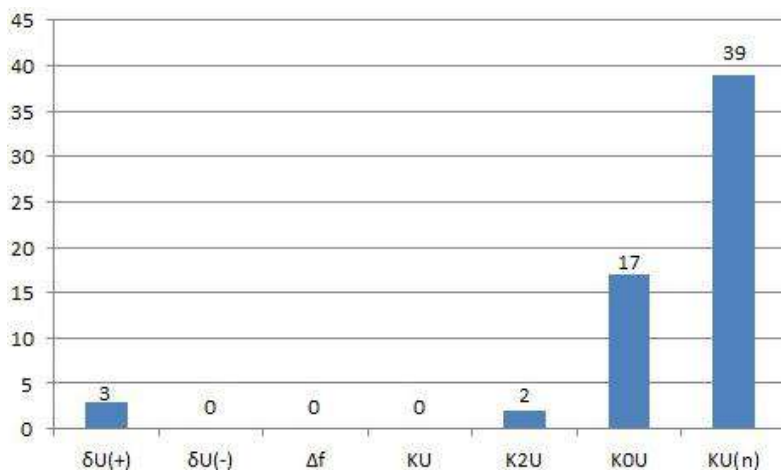


Рис. 1. Результаты измерений ПКЭ (количество случаев превышения требований ГОСТ 32144-2013, %)

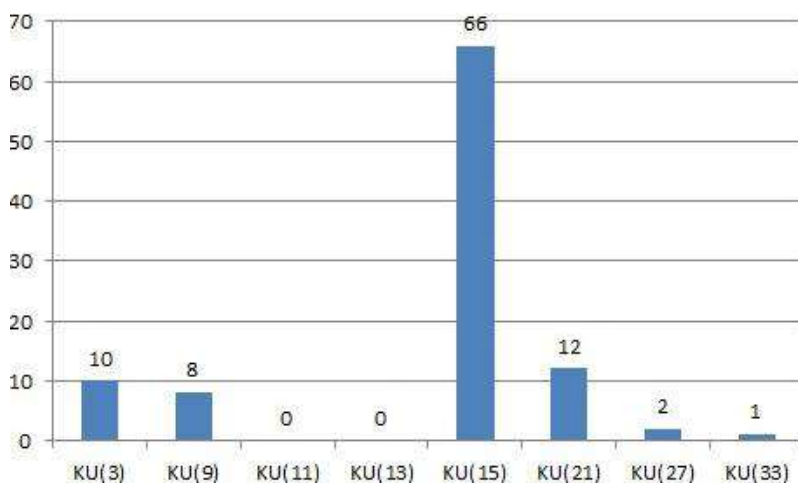


Рис. 2. Диаграмма превышений требований ГОСТ 32144-2013 по коэффициенту  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  для различных значений  $n$

Коэффициент  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  характеризует каждую из учитываемых гармоник в процентах по отношению к основной гармонике.

Коэффициенты несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2U}$  и нулевой последовательности  $K_{0U}$  характеризуют трёхфазную систему напряжения основной частоты по отклонению фазных (межфазных) напряжений от симметричного напряжения.

Согласно [3] значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной  $K_{2U}$  и по нулевой  $K_{0U}$  последовательности в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать:

- 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю [3].

Таким образом, в результате перехода на новый ГОСТ [3] (вместо [4]) время усреднения коэффициентов  $K_{2U}$  и  $K_{0U}$  было увеличено с 3 с до 10 мин (см. таблицу). Это существенным образом повлияло на уменьшение случаев превышения нормативных значений, указанных в ГОСТ [3], по такому показателю, как коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .

Таблица сравнения нормативных значений ПКЭ, установленных в ГОСТ 32144-2013 и ГОСТ 132109-97 для  $K_{0U}$

Параметры	ГОСТ 132109-97	ГОСТ 32144-2013
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U}$	2 % – нормально допустимое; 4 % – предельно допустимое	
Интервал усреднения результатов измерений показателей качества электроэнергии	3 с	10 мин

Целью данной работы являлся анализ измерений показателей качества электрической энергии в электрических сетях и определение наиболее часто встречающихся нарушений нормативных требований ГОСТ 32144-2013 для дальнейших расчётов коэффициентов несимметрии и выработки оптимальных способов снижения несимметрии напряжения.

В результате проведённого авторами анализа можно сделать выводы:

1. На практике в сетях в настоящее время наиболее часто встречаются нарушения нормативных требований по коэффициентам  $n$ -й гармонической составляющей напряжения  $K_{U(n)}$  и несимметрии напряжения по нулевой последовательности  $K_{0U}$  [1].

2. Несимметрия напряжений, особенно по нулевой последовательности, происходит, в основном, из-за неравномерного распределения нагрузки по фазам в сетях 380 В.

Направление дальнейших исследований автор видит в изучении и улучшении нормативных ПКЭ.

### Литература

1. Оценка качества электроэнергии в распределительных сетях / В.Н. Тульский [и др.] // Энергоэнергетика. Передача и распределение. 2019. № 6 (57). С.118–123.

2. Наумкин И.Б., Паскарь И.Н., Завьялов В.Н. Влияние нелинейных нагрузок на качество электроэнергии // Вестник Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачёва. 2015. № 4 (110). С. 75–83.

3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2013. 16 с.

4. ГОСТ 132109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006034> (дата обращения: 28.02.2020).

УДК 621.314

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОЛА НА ПРОЦЕСС ОКИСЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Бикзинуров А.Р.<sup>1</sup>, Слободина Ю.Н.<sup>2</sup>, Гарифуллин М.Ш.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>mr.azat780@mail.ru, <sup>2</sup>yulya\_slobodina@mail.ru, <sup>3</sup>g\_marsels@mail.ru

Методом инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии исследована зависимость степени термоокислительной деструкции минеральных трансформаторных масел от исходной концентрации ингибитора окисления – присадки ионол.

**Ключевые слова:** ионол, УФ-спектроскопия, ближняя ИК-спектроскопия, проокислительный эффект, оптическая плотность.

В настоящее время основным используемым видом жидкого диэлектрика является минеральное масло. В процессе работы масло в трансформаторе подвергается различным эксплуатационным факторам, что приводит к его ускоренному старению, понижая срок службы маслонаполненного оборудования.

Для замедления процесса деградации трансформаторного масла применяются ингибиторы окисления. Наиболее распространенным антиокислителем в России является ионол, относящийся к типу фенольных антиокислителей. Принято считать, что при снижении концентрации ионола менее 0,1 %, скорость окисления масла повышается по сравнению с маслом без ионола. Такое явление получило название проокислительный эффект [1]. Суть рассматриваемого эффекта демонстрируют графики на рис. 1.

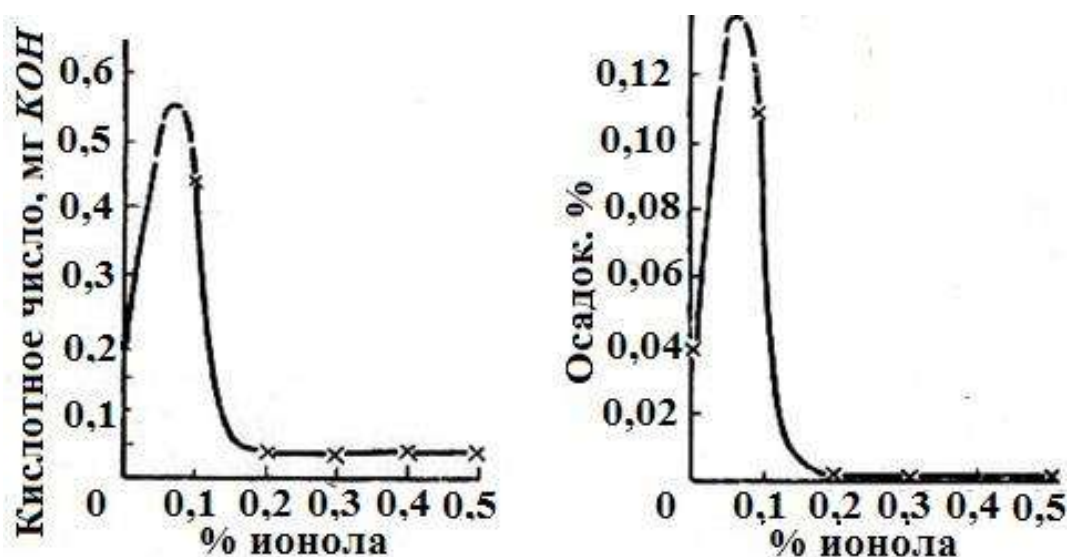


Рис. 1. Зависимость цвета трансформаторного масла от концентрации ионола [1]

В данной работе проведено исследование по проверке наличия проокислительного эффекта к минеральным изоляционным маслам с помощью ИК- и УФ-спектроскопии.

### Экспериментальная часть

Для исследования влияния концентрации ионола на процесс деградации были подготовлены образцы масел марки ВГ с различной концентрацией ионола: 0, 0,05, 0,1 и 0,2 %. Согласно [2] образцы были окислены в масляной бане при температуре 150 °С. Анализ степени деградации осуществлялся с помощью ИК- и УФ-спектроскопии.



Для анализа в ближней ИК-области был использован ИК-Фурье спектрометр TENSOR-27 с разрешением  $1 \text{ см}^{-1}$ . Для масла была подготовлена кювета из фторида кальция  $\text{CaF}_2$  толщиной 2 мм.

Для анализа в УФ-области был использован спектрометр «Cary-100» с кюветой из кварца толщиной 10 мм.

## Результаты и обсуждение

В качестве основного исследуемого диапазона в ИК-области была выбрана область  $6000\text{--}5500 \text{ см}^{-1}$ , поглощение в которой обусловлено первыми обертонами валентных колебаний метильных  $\text{CH}_3$ -групп и метиленовых  $\text{CH}_2$ -групп [3]. Спектры образцов масел представлены на рис. 2.

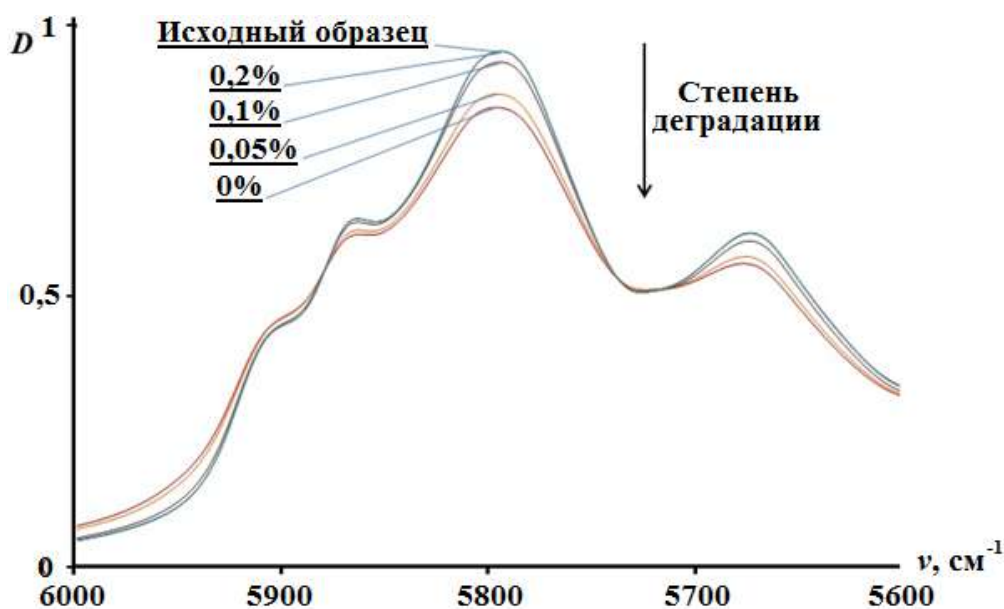


Рис. 2. ИК-спектры окисленных образцов масел (цифрами указана исходная концентрация ионола)

Пик в районе  $5800 \text{ см}^{-1}$  относится к полосе поглощения метиленовых  $\text{CH}_2$ -групп. Снижение количества таких групп в молекулах масла характеризует деградацию его углеводородной основы. По представленным спектрам видно, что по мере снижения концентрации ионола, снижается значение оптической плотности данной полосы, что говорит об уменьшении количества  $\text{CH}_2$ -групп. При этом, при понижении концентрации ионола менее 0,1 %, проокислительный эффект не наблюдается, так как образец масла с концентрацией 0,05 % имеет более интенсивную полосу поглощения по сравнению с образцом, не содержащим ионол.

Для исследования УФ-спектров поглощения был использован диапазон 300–600 нм. Данная область спектра используется в ASTM D6802-02 [4] для определения количества продуктов деградации, образующихся в масле. Увеличение поглощения в данной области обусловлено как рассеиванием излучения коллоидными соединениями, так и увеличением содержания в масле полиароматических углеводородов [5] (рис. 3).

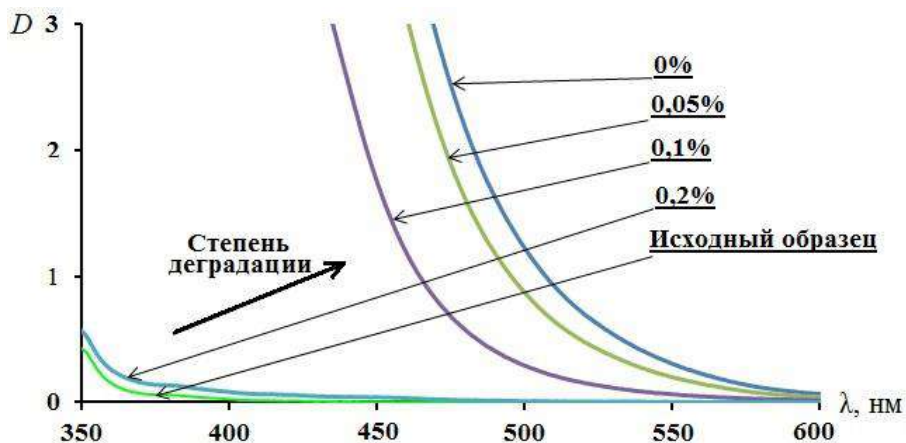


Рис. 3. УФ-спектры окисленных образцов масел (цифрами указана исходная концентрация ионола)

Представленные спектры иллюстрируют, что при понижении исходной концентрации ионола интенсивность поглощения в рассматриваемой области спектра увеличивается, что характеризует увеличение степени деградации образцов масел. Анализ УФ-спектров поглощения также позволяет сделать вывод, что явление проокислительного эффекта не наблюдается, так как показатели, характеризующие степень деградации у образца с исходной концентрацией ионола 0,05 %, ниже, чем у образца, не имевшего в составе антиокислительной присадки.

Проведенное исследование иллюстрирует, что степень термоокислительной деструкции минерального масла увеличивается по мере снижения исходной концентрации ионола в маслах. Таким образом, было показано, что проокислительное действие присадки ионол при концентрации менее 0,1 % отсутствует.

## Литература

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. ГОСТ 981-75. Масла нефтяные. Метод определения стабильности против окисления. М.: Стандартинформ, 2016. 7 с.

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

4. ASTM D6802-02. Test Method for Determination of the Relative Content of Dissolved Decay Products in Mineral Insulating Oils by spectrophotometry. 2010. 6 p.

5. Ageing Behaviour of Mineral Oil and Ester Liquids: a Comparative Study / I. Fofana [et al.] // IEEE Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena. 2008. Pp. 87–90.

УДК 621.311

## УМНЫЕ СЕТИ

Валеев А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

89534960746@mail.ru

Науч. рук. Мухаметжанов Р.Н.

Рассмотрен пилотный проект «Умные сети», который в ближайшие годы позволит передавать электрическую энергию с минимальными техническими потерями, и в случае аварии в энергетической системе «умные сети» оперативно и в короткий срок устранят аварийную ситуацию.

**Ключевые слова:** Smart grid, умные сети, умный счетчик, пилотный проект, сверхпроводящие кабельные линии.

В 2015 г. в Татарстане был начат проект по внедрению «Умных сетей». Английское название данного проекта – Smart grid. В ближайшие годы данная система позволит передавать электрическую энергию с минимальными техническими потерями. В случае аварии в энергетической системе «умные сети» оперативно и в короткий срок устранят аварийную ситуацию.

Данный проект позволяет улучшить качество электроснабжения жителей республики, а также минимизирует необходимость выезда сотрудников для поиска и устранения повреждений. Данная система способна гибко действовать по отношению к меняющимся системным условиям. Она станет отслеживать надвигающиеся проблемы еще до того, как они повлияют на надежность и качество электроснабжения. Для этого предполагается применять автоматические переключатели, «интеллектуальные» системы контроля, оборудование для альтернативного электроснабжения [1].

Контроль за параметрами и управление сетями будут производиться в диспетчерских пунктах, куда стекаются данные в реальном времени. Эту информацию можно будет передавать по сети, аккумулировать в базах данных, использовать для выполнения необходимых расчетов. Появится возможность автоматического вывода в ремонт поврежденного участка. Удаленный мониторинг и контролирующие устройства системы могут создать самовосстанавливающуюся сеть, которая способна сокращать и предотвращать отключения участков сети электроснабжения, а также продлевать срок службы подстанционного и распределительного оборудования. Развитая система информации и баз данных резко увеличит возможности по оптимизации режимов работы и совершенствованию процессов эксплуатации оборудования, даст возможность проектировщикам и инженерам принимать оптимальные решения, уменьшая затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования [2].

Широкие перспективы при реализации концепции Smart Grid связывают со сверхпроводящими кабельными линиями для систем передачи электроэнергии, которые превосходят по мощности передаваемой энергии в 3–5 раз традиционные кабельные линии. Применение сверхпроводящих кабельных линий позволит существенно сократить потери электроэнергии, передавать большие потоки мощности при обычных габаритах кабеля, продлить срок эксплуатации кабельных линий, уменьшить площадь отчуждаемых под строительство кабельных линий земель в городах [3].

Одной из составляющей Smart grid является «умный счетчик». К его функциям относят дистанционное управление профилем нагрузки измеряемой линии, измерительных преобразователей. Он дистанционно передает информацию для мониторинга и осуществления расчетов за коммунальные услуги. На уровне потребителя умные счетчики сообщают данные по потреблению, как самому потребителю, так и поставщику электроэнергии. В 2019 г. произведена замена учета электроэнергии на «умные счетчики» у 80 % абонентов Казани, как частных, так и юридических лиц. Данная работа проводится по всей Республике Татарстан и уже в 2020 г. охватит всю электрическую систему региона [4].

На сегодняшний день проект «умные сети» уже реализуется в Татарстане и является пилотным по России. Его внедрение облегчит работу энергосетевых компаний, повысит эффективность работы сети электроснабжения, приведет к снижению себестоимости электроэнергии, уменьшит возникновение аварийных ситуаций при участии «человеческого фактора». Реализация данного проекта означает, что в ближайшее время в энергетике будет происходить более глубокая автоматизация процессов контроля, управления и диагностики систем.

## Литература

1. «Казанские электрические сети приступили ко второму этапу внедрения элементов “Умных сетей”» [Электронный ресурс]. URL: [https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/umnye-seti-v-filiale-oao-setevaya-kompaniya-kazanskie-elektricheskie-seti-pristupili-k-realizatsii-p/?sphrase\\_id=24703](https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/umnye-seti-v-filiale-oao-setevaya-kompaniya-kazanskie-elektricheskie-seti-pristupili-k-realizatsii-p/?sphrase_id=24703) (дата обращения: 20.02.2020).

2. Smart Grid в России: практика и перспективы [Электронный ресурс]. URL: [https://borlas.ru/press/533\\_document.pdf](https://borlas.ru/press/533_document.pdf) (дата обращения: 20.02.2020).

3. Сытников В.Е., Дементьев Ю.А. Сверхпроводящие кабели постоянного тока и перспективы создания на их основе протяженных линий электропередачи [Электронный ресурс] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 1 (46). С. 92–100. URL: [www.cigre.ru/research\\_commitets/ik\\_rus/b4\\_rus/library/2\\_ЭлЭнергияПиР\\_1-2018%20с.92.pdf](http://www.cigre.ru/research_commitets/ik_rus/b4_rus/library/2_ЭлЭнергияПиР_1-2018%20с.92.pdf) (дата обращения: 28.02.2020).

4. «Внедрение «умных» счетчиков направлено на эффективную реконструкцию электросетевого комплекса» [Электронный ресурс]. URL: [https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/vnedrenie-umnykh-schetchikov-napravleno-na-effektivnuyu-rekonstruktsiyu-elektrosetevogo-kompleksa/?sphrase\\_id=24705](https://gridcom-rt.ru/press-tsentr/novosti/vnedrenie-umnykh-schetchikov-napravleno-na-effektivnuyu-rekonstruktsiyu-elektrosetevogo-kompleksa/?sphrase_id=24705) (дата обращения: 25.02.2020).

УДК 543

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

Гиззатуллина Г.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[gulya918273645@yandex.ru](mailto:gulya918273645@yandex.ru)

Науч. рук. Гайнутдинова Д.Ф.

Рассмотрены возможности и проблемы диагностики качества трансформаторных масел.

**Ключевые слова:** показатели качества трансформаторных масел, полный анализ, химически сокращенный, хроматографический анализ.

От уровня качества масла, определяемого его электрофизическими и физико-химическими свойствами, зависит надежность эксплуатации маслonaполненных аппаратов.

В процессе эксплуатации трансформаторного масла выполняется химически сокращенный анализ масла. При сокращенном методе анализируются следующие показатели: пробивное напряжение; наличие воды и шлаков; кислотное число; температура вспышки; реакция водной вытяжки.

Среди показателей трансформаторного масла много внимания уделяется главной электроизоляционной характеристике – уровню пробивного напряжения. На данный показатель влияет наличие в трансформаторном масле вредных механических примесей – веществ, попадающих в изоляционную среду извне или в результате распада и разрушения элементов и материалов конструкции внутренних деталей трансформаторов.

Появляющиеся вредные вещества увеличивают потенциальную возможность электрических пробоев из-за снижения эксплуатационных характеристик трансформаторного масла и увеличивают значения тангенса угла диэлектрических потерь. Практически любое повреждение в трансформаторе со временем приводит к снижению пробивного напряжения масла. Пробивное напряжение и тангенс угла диэлектрических потерь определяют в электротехнической лаборатории, для этого используются приборы, имеющие измерительную ячейку со сферическими электродами (АИМ-90, БА-75) [1].

При количественной оценке содержания механических примесей в масле оно сначала пропускается через сухой чистый, предварительно взвешенный бумажный фильтр. Затем фильтр высушивается и взвешивается, а разница в весе дает массу механических примесей. Качественное определение влагосодержания в масле производят путем нагрева масла до 130 °С. Наличие воды подтверждается, если при вспенивании трансформаторного масла не менее двух раз слышен треск.

Наличие в масле водорастворимых кислот, которые являются достаточно агрессивными соединениями, вызывает коррозию металлов и ускоряет старение твердой изоляции. Определение содержания водорастворимых кислот и щелочей основывается на их извлечении из масла с помощью воды или водного раствора спирта. Для обнаружения щелочи и мыл используют 1%-й спиртовой раствор фенолфталеина, который меняет свой цвет при наличии вредных компонентов. При выявлении водорастворимых кислот и щелочей производится регенерация масла.

Для выявления дефекта силового оборудования проводят анализ температуры вспышки трансформаторного масла. Если температура, при которой пары масла, нагреваемого в закрытом сосуде, образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени, снижается более чем на 5 °С, требуется комплексное обследование трансформатора для выявления причины этого снижения.

В случае необходимости получения максимально точных сведений о текущем состоянии нефтепродукта в современных лабораториях используются методики полного анализа. Данные методы направлены на выявление основных причин износа жидкости и позволяют определить срок дальнейшей возможной её эксплуатации. При этом типе испытаний проводятся следующие работы: замеряется количество механических примесей; устанавливается уровень диэлектрических потерь; определяется текущий коэффициент влажности; выявляется состав растворенных газов. При отклонении хотя бы одного показателя от нормы необходима регенерация масла или его замена.

Масло в трансформаторе используется в качестве теплоносителя и жидкого диэлектрика. Минимальное допустимое значение для диэлектрической среды – 30 кВ, для свежего масла оно выше (60 кВ). Если число изоляционной прочности падает, нефтепродукт необходимо заменить – появляется риск короткого замыкания, дуговых разрядов [2].

Хроматографический анализ растворенных в масле газов входит в объем полного анализа эксплуатационного масла. Хроматографические методики позволяют выявить дефекты в конструкционных узлах маслонеполненного оборудования, но практически не дают информации о свойствах и составе самой масляной среды. Регулярный хроматографический анализ позволяет отслеживать динамику процессов износа в агрегатах; прогнозировать появление дефектов, выявляя проблему на начальном этапе; оценивать степень повреждения; определять место повреждения для выполнения ремонтных работ. Для оценки используется семь основных газов: водород, метан, этан, этилен, ацетилен, угарный газ, углекислый газ. Трансформаторное масло содержит в растворенном виде и другие газы – кислород, пропан, бутан, бутен, но их исследование не получило широкого распространения.

Трансформаторное масло в процессе эксплуатации теряет свои электроизоляционные свойства, поэтому необходим постоянный контроль его качества. Своевременное выявление нарушений способствует эффективной эксплуатации масляных ресурсов. Существующие методы диагностики качества масла позволяют в полном объеме определить надежность масла в эксплуатации. Несмотря на то, что диагностика масла позволяет выявить до 80 % возникающих в трансформаторах проблем,

практически эту работу способно выполнить небольшое количество специалистов. Обилие методик, способов оценки технического состояния масла подчеркивают нерешенность проблемы. Проблемы диагностики масла можно рассматривать по трем направлениям: подготовка специалистов-экспертов высокой квалификации; составление алгоритмов и программ для автоматизации процесса диагностики трансформаторного масла; эксплуатация трансформатора, в основном без нарушения допустимых режимов его работы. Наиболее оптимальным и перспективным является совместное развитие второго и третьего подходов в эксплуатации и диагностике трансформаторного масла.

## Литература

1. Техническая диагностика и мониторинг технического состояния трансформаторного оборудования: монография / Г.А. Кириллов [и др.]; под. общ. ред. Г.А. Кириллова. Краснодар: Изд-во КУБГТУ, 2019. 378 с.
2. Анализ трансформаторного масла: основные методы испытаний [Электронный ресурс]. URL: <https://oils.globecore.ru/analiz-transformatornogo-masla.html> (дата обращения: 27.02.2020).

УДК 621-315.2

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 110 КВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОДНОФАЗНЫХ КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Гималетдинов А.Ф.<sup>1</sup>, Воркунов О.В.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>[gimaletdinov2010@yandex.ru](mailto:gimaletdinov2010@yandex.ru), <sup>2</sup>[vorcunov\\_oleg@mail.ru](mailto:vorcunov_oleg@mail.ru)

Создан алгоритм для расчета параметров кабеля с изоляцией из СПЭ, предназначенного для передачи электроэнергии в трехфазных системах при номинальном напряжении переменного тока 64/110 кВ частотой 50–60 Гц, сечением медных жил и алюминиевых жил 185–2500 мм<sup>2</sup>. Реализован механизм выбора условий прокладки кабельной линии и исходных параметров кабельных линий (КЛ) в LabVIEW. Применение универсальных программных средств, таких как LabVIEW, позволяет создать программу для расчета сечения токопроводящей жилы и сечения экрана силового кабеля.

**Ключевые слова:** кабельная линия, проектирование, LabVIEW, сечение, экран, токовая нагрузка, коэффициент.



Задача расчета сечения токопроводящей жилы и сечения экрана кабеля в проектируемой кабельной линии является актуальной в области проектирования высоковольтных линий электропередач. Высоковольтный кабель является самым дорогим компонентом в протяженных кабельных линиях, и выбор его оптимального сечения – это одна из важнейших задач проектирования линий электропередачи (ЛЭП) [1]. Проектирование КЛ должно осуществляться с учетом наименьшего расхода кабеля, его сохранности при механических воздействиях, обеспечения защиты кабеля от химического воздействия, перегрева и от повреждений соседних фаз при возникновении короткого замыкания на одном из кабелей. Поэтому точный расчет сечения токопроводящей жилы и сечения экрана кабеля необходим для решения как экономических вопросов при закладке кабеля в проект, так и для надежности и эффективности электропередачи будущей ЛЭП. Сегодня расчеты по выбору сечения кабеля производятся на специализированных программных комплексах (например, канадская программа «СУМСАР»). К сожалению, подобные программы носят коммерциализированный характер, что осложняет их использование в учебном процессе.

Для проектирования кабельных ЛЭП и расчета сечения кабеля основными параметрами являются условия прокладки кабелей, ток короткого замыкания, параметры передаваемой электроэнергии, материал токопроводящей жилы и др. [2]. Исходя из данных показателей рассчитываются характеристики силового кабеля.

Авторами разрабатывается программное обеспечение в среде графического программирования LabVIEW, в основе которой лежит язык графического программирования G. Исходный код представляет собой блок-диаграмму, которая впоследствии компилируется в машинный код, что существенно облегчает разработку приложений [3].

Разработанная в программной среде LabVIEW программа позволяет производить расчеты сечений токопроводящей жилы и экрана согласно исходным данным. Исходными данными для выбора кабеля являются расчетный ток, номинальное напряжение, поправочные коэффициенты для расчета длительно допустимого тока от условий прокладки кабеля как на всем протяжении ЛЭП, так и на конкретном участке [4]. Использование поправочных коэффициентов в расчете номинального сечения токопроводящей жилы кабеля рассматривается как первый шаг выбора конструкции кабеля [5]. После ориентировочного выбора конструкции кабеля проводится уточняющий тепловой расчет эксплуатации КЛ с учетом всех параметров, определяющих температурный режим кабеля [6]. В общем случае длительно допустимый ток (А) кабеля рассчитывается по формуле:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta\Theta - W_d(0,5T_1 + T_2 + T_3 + T_4)}{RT_1 + R(1 + \lambda_1)T_2 + R(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4)}}, \quad (1)$$

где  $\Delta\Theta$  – разница температур между жилой и окружающей средой, °С;  $W_d$  – диэлектрические потери, Вт/м;  $T_1$  – тепловое сопротивление между жилой и экраном, °С·м/Вт;  $T_2$  – тепловое сопротивление между металлическим экраном (оболочкой) и броней, °С·м/Вт;  $T_3$  – тепловое сопротивление наружного покрова, °С·м/Вт;  $T_4$  – тепловое сопротивление окружающей кабель среды, °С·м/Вт;  $R$  – электрическое сопротивление токопроводящей жилы переменному току при максимально допустимой температуре жилы, Ом/м;  $\lambda_1, \lambda_2$  – отношение общих потерь в металлических экранах и броне к сумме потерь в токопроводящих жилах [5].

Данная программа позволяет времени осуществлять расчет оптимального сечения жилы и экрана для участков одной ЛЭП с разными условиями прокладки, выводить графически характеристику (диаграмму) проектируемой ЛЭП в виде проблемных участков на трассе с ухудшающими условиями прокладки кабеля, а также выводить данные в цифровом представлении с возможностью сохранения в файл [3].

Данный программный комплекс включает в себя выбор схемы соединения экранов, количество циклов возможной транспозиции экранов кабелей, от которых зависят электрические потери и наводимое напряжение на экране при коротких замыканиях [7].

Использование универсальных программных комплексов позволяет сформировать новый подход к разработке проектных документаций, оптимизировать временные затраты, производить прогнозирование при проектировании линий электропередач. Вычислительный комплекс на базе LabVIEW позволяет не только получать численные результаты расчетов, но и визуализировать выходные данные в удобной форме.

## Литература

1. LabVIEW. Вводный курс [Электронный ресурс]. URL: [https://download.ni.com/pub/branches/russia/software/labview\\_8.5.pdf](https://download.ni.com/pub/branches/russia/software/labview_8.5.pdf) (дата обращения: 05.10.2019).
2. Инструкция по выбору, эксплуатации и техническому обслуживанию кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110–500 кВ.
3. Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6–500 кВ. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. 154 с.

4. Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во Сизова М.П., 2004. 304 с.

5. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения. М.: Стандартиформ, 2009. 28 с.

6. Тодирка С.Н., Попов Л.В., Пельтцер В.Б. Расчет термической стойкости экранов одножильных кабелей 10 кВ с полиэтиленовой изоляцией // Энергетик. 2002. № 4. С. 30–31.

7. СТО 56947007-29.060.20.071-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Условия создания. Нормы и требования. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. 127 с.

УДК 621-313.3

## **РОБОТ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОДСТАНЦИЙ НА БЕЗЛЮДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ**

Губарев Н.А.<sup>1</sup>, Сабитов А.Х.<sup>2</sup>, Максимов В.В.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Nikita20143@mail.ru, <sup>2</sup>sabitov\_ah@mail.ru, <sup>3</sup>viktor.maksimov.1968@mail.ru

Предложен новый роботизированный комплекс, предназначенный для проведения контроля и диагностики состояния оборудования на безлюдных электрических станциях. Рассмотрена возможность использования различных средств диагностики, таких как фото- и видеосъемка, тепловизионное сканирование, ультрафиолетовый и рентгеновский анализаторы.

**Ключевые слова:** диагностика и обследование оборудования, безлюдная подстанция, роботизированный комплекс, робот, фото- и видеоосмотр, методы диагностики электрооборудования, система автоматики, автоматизированное шасси.

Основным требованием для предотвращения аварий на электрических станциях является регулярный осмотр и диагностика оборудования. Осмотр оборудования и сооружений на подстанциях должен проводиться не реже одного раза в день на объектах с постоянным дежурным персоналом, и не реже одного раза в месяц – на объектах без постоянного дежурного персонала. Общее количество обходов в год на подстанциях с постоянным

дежурным персоналом – 360, а без дежурного персонала – 12 [1]. Примерами объектов без постоянного дежурного персонала являются безлюдные электрические подстанции, отдалённые подстанции, на территории которых невозможно организовать постоянное пребывание рабочего персонала.

Для улучшения качества обслуживания электрических установок предлагается внедрение на такие объекты роботизированного комплекса, способного в автономном режиме вести диагностику и обследование оборудования.

Разработан прототип роботизированного комплекса, который включает автономного робота, способного вести диагностику оборудования без участия человека. Конструктивно робот состоит из следующих узлов: шасси; манипулятор; система автоматики, контроля и передачи данных; приборы обследования и диагностики оборудования; блок питания.

Автоматизированный манипулятор делает работа компактным и позволяет обеспечить точный осмотр оборудования различных размеров и конфигурации. С целью проведения диагностики (контроля состояния) оборудования на манипулятор возможна установка устройств различного вида. Ниже приведены примеры таких устройств.

Фото- и видеокамеры используют для визуального осмотра оборудования на предмет видимых загрязнений и дефектов, а также возможности дистанционного управления роботом на станции.

Тепловизоры. Применение тепловизоров в электроэнергетике это один из эффективных компонентов системы технической диагностики. В процессе тепловизионной диагностики можно выявить различные дефекты в контактных соединениях, контактах, соединительных шинах, сборных шинах, генераторах, измерительных и силовых трансформаторах, выключателях, конденсаторных батареях, маслонаполненном оборудовании, воздушных линиях электропередач [2].

Стоит отметить, что к тепловизорам предъявляются следующие требования: помимо высокого качества измерений, возможность дистанционного управления и передачи данных с устройства на ПК, малые габариты и вес. Примерами таких приборов являются тепловизоры FLIR A655sc [3] и FLIR Duo Pro R 336 [4].

Ультрафиолетовые камеры. Посредством ультрафиолетовой дефектоскопии в электросетях и на подстанциях осуществляется контроль состояния гибкой ошиновки ОРУ и ЛЭП. Применение ультрафиолетовой

дефектоскопии позволяет обнаружить: повреждения и разрывы жил многожильных токопроводов, контроль образования коронных разрядов на новых распределительных подстанциях, первые признаки пробоя изоляции при различных уровнях рабочей нагрузки [5, 6].

К ультрафиолетовым камерам предъявляются те же требования по габаритам и передаче данных, что и к тепловизионным. Примером ультрафиолетовой камеры является УФ камера DayCOR micROM HD [7].

Рентгеновские аппараты. Благодаря хорошей проникающей способности рентгеновских лучей, возможно обнаружение скрытых дефектов конструкции оборудования, трещины и сколы изоляции маслонаполненных или элегазовых устройств [8].

Шасси робота, оснащённое системой автоматизированного управления, позволяет роботу перемещаться на территории подстанции, осуществляя обход подстанции. Маршрут может быть проделан как в ручном режиме, с пульта управления комплексом, так и в автономном. В автономном режиме робот проезжает по заранее запрограммированному оператором маршруту, проводя обследование оборудования. Для упрощения построения маршрута на комплектных блочных трансформаторных подстанциях (КТПБ) различного напряжения по габаритным размерам подстанций будут созданы шаблоны маршрута [9].

Автоматизированное шасси должно удовлетворять следующим требованиям: хорошая проходимость, скорость, манёвренность, способность нести вес оборудования, надёжность, экономичность.

Робот будет оборудован аккумулятором, способным выдавать достаточную мощность в течение продолжительного времени. Для подзарядки аккумуляторов на объекте устанавливается станция зарядки аккумуляторов.

Для обеспечения автоматизированного обследования оборудования робот снабжается системой автоматики и передачи данных. Полученные с устройств данные будут отправляться на пульт управления оператора, где и будет производиться обработка данных.

Использование разработанного комплекса позволит сократить время персонала на обслуживание и диагностику подстанционного оборудования согласно нормативным требованиям [1] и осуществлять передачу данных о выявленных дефектных участках в диспетчерское управление, что приведёт к ускорению корректировки графика ремонтных работ и переходу к ремонтам по состоянию.

## Литература

1. СТО 70238424.29.240.01.008-2009. Электрические сети. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093603> (дата обращения: 21.02.2020).
2. РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.thermoview.ru/pdf/rd.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).
3. Стационарный тепловизор FLIR A655sc [Электронный ресурс]. URL: [https://www.pergam.ru/files/topdf/FLIR-A655sc\\_21851\\_0.pdf](https://www.pergam.ru/files/topdf/FLIR-A655sc_21851_0.pdf) (дата обращения: 15.02.2020).
4. Тепловизионная камера для дронов FLIR Duo Pro R 360 [Электронный ресурс]. URL: <https://spectraltechnology.ru/upload/iblock/499/499d2218445d4b4ac7d69ed48ca6f800.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).
5. Опыт диагностики электрооборудования методом ультрафиолетового контроля [Электронный ресурс]. URL: <http://www.russianengineer.ru/2015-47-n1.php> (дата обращения: 17.02.2020).
6. СТО 70238424.17.220.20.007-2009. Системы и устройства диагностики состояния оборудования подстанций и ЛЭП. Условия создания. Нормы и требования [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093698> (дата обращения: 17.02.2020).
7. УФ камера DayCOR micROM HD [Электронный ресурс]. URL: [https://www.pergam.ru/files/topdf/daycor-microm-hd\\_22856\\_0.pdf](https://www.pergam.ru/files/topdf/daycor-microm-hd_22856_0.pdf) (дата обращения: 17.02.2020).
8. Дарьян Л.А. Опыт применения Бетатрона для рентгенографии специального дефектного образца высоковольтного маломасляного выключателя [Электронный ресурс]. URL: <http://eepir.ru/images/viinpk-2019/8.pdf> (дата обращения: 19.02.2020).
9. КТПБР-М-35/10(6) [Электронный ресурс]. URL: <https://forca.ru/spravka/kru-i-ktp/ktpbr-m-35/106-rovenskiy-z-d.html> (дата обращения: 21.02.2020).

## УСТРОЙСТВА ДИАГНОСТИКИ И ОБСМОТРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПОДСТАНЦИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ

Губарев Н.А.<sup>1</sup>, Сабитов А.Х.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Nikita20143@mail.ru, <sup>2</sup>sabitov\_ah@mail.ru

Рассмотрены варианты устройств диагностики оборудования электрических подстанций, пригодных для установки на роботизированные комплексы.

**Ключевые слова:** диагностика и обследование оборудования, автоматизация, роботизированный комплекс, фото- и видеоосмотр, тепловизионный метод контроля, ультрафиолетовая диагностика, рентгеноскопическая инспекция.

Мировая практика показала, что автоматизация осмотра и диагностики электрооборудования, ВЛ и КЛ позволяет упростить эти процессы, избежав потери как качества исследований, так и возникновения несчастных случаев при их проведении. Так, на базе дронов и БПЛА были собраны комплексы осмотров ВЛ высокого напряжения [1, 2]. Однако данные системы предъявляют к приборам и методам диагностики следующие требования: возможность проведения инспекции без снятия с объекта напряжения, высокое качество и точность измерений, малые габариты и вес устройств диагностики, высокая энергоэффективность и малое энергопотребление. Ниже приведены примеры таких методов и устройств.

Наиболее простым примером устройств дистанционного обследования являются портативные фото- и видеокамеры. Их можно использовать как для автоматизированного осмотра оборудования на наличие видимых дефектов и загрязнений, так и для дистанционного управления роботом, находясь при этом на значительном расстоянии от объекта.

В последнее время набирает популярность тепловизионный метод контроля состояния электроустановок. Принцип работы тепловизора основан на регистрации и анализе температур поверхности объектов [3]. В процессе тепловизионной диагностики можно выявить различные дефекты в контактных соединениях, соединительных, сборных шинах, генераторах, трансформаторах, выключателях, конденсаторных батареях, маслонеполненном оборудовании, воздушных линиях электропередач. Это делает такой метод диагностики универсальным ко всем типам электроустановок [3].

Тепловизионная камера FLIR Duo Pro R 360 (см. таблицу) оборудована двумя объективами, позволяющими вести одновременную видео- и фотосъёмку в видимом и инфракрасном диапазонах. Это позволяет в реальном времени накладывать теплограммы на цифровое изображение. Оператор может в ручном режиме переключаться между режимами записи. Помимо этого, малые габариты и вес, а также высокая энергоэффективность при малом потреблении позволяет устанавливать такое устройство на беспилотных летающих аппаратах, дронах и наземных роботах [4].

Помимо тепловизионной диагностики, в электроэнергетике также популярен метод ультрафиолетовой дефектоскопии. Дефекты изоляции электрооборудования напрямую связаны с явлением короны, излучение которой зачастую видно только в УФ-спектре. Применение ультрафиолетовой дефектоскопии позволяет обнаружить повреждения и разрывы жил многожильных токопроводов, контролировать образование коронных разрядов на новых распределительных подстанциях, а также первые признаки пробоя изоляции при различных уровнях рабочей нагрузки [5].

УФ-камера Ofil DayCor Ranger (см. таблицу) – это мобильная система детектирования коронных разрядов, установленная на опорно-поворотном устройстве. Система Ranger позволяет встраивать дополнительные камеры. Комплексное обследование при сочетании УФ, ИК, видео и др. оптимизирует работу и обеспечивает получение полного представления об обследуемом объекте. Питание 9–14 В постоянным током или 110/220 В переменным током. Потребляемая мощность <15 Вт (номинальная) [6].

Помимо тепловизионной и УФ-диагностики в энергетике также применяется рентгенографическая инспекция. Принцип рентгенографии основан на электромагнитном излучении волн  $10\text{--}10^{-3}$  нм. Рентгенографическая инспекция экономит как средства, так и время. Кроме того, снижается и время срывов поставок и простоев оборудования у клиента [7].

Примером мобильного рентгенографического комплекса является рентгеновский аппарат Бетатрон, разработанный АО «Техническая инспекция ЕЭС», ФГУП «ВНИИТФ». Данный комплекс позволяет в краткие сроки проводить диагностику элегазовых и колонковых выключателей и маслонаполненного оборудования без вывода его из технологического процесса. Роботизация данного процесса позволит избежать вредного воздействия рентгеновского излучения на персонал и ускорить процедуру обследования оборудования [8].



## Технические характеристики тепловизионной и УФ камер

Тепловизор Duo Pro R 360	
Спектральный диапазон (ИК спектр), нм	7500–13500
Разрешение	ИК 336×256 / Видео 4000×3000
Вес, кг	0,325
Размер, м	0,085×0,081×0,069
Подключение	HDMI, MAVLink, Mini-USB, WiFi
Питание, В	5÷26
Условия эксплуатации, °С	от –20 до + 50
УФ камера Ofil DayCor Ranger	
Биспектральная камера (УФ – видимый свет)	
Поле зрения, °	5×3,75
Фокус, м	от 3
Размеры $l \times w \times h$ , см	25×18×14,5
ИК камера (адаптируется к требованиям заказчиков)	
Поле зрения, °	12×9
ИК-разрешение, пикс.	640×480
Спектральный диапазон, мкм	7,5–14 мкм
Температурный диапазон, °С	от –40 до 1200

Таким образом, современные технологии в сфере ИК-, УФ- и рентгеновской диагностики электрооборудования позволяют создавать на их базе роботизированные системы контроля состояния оборудования. Применение роботизированной системы в электроэнергетике позволит автоматизировать процессы диагностики и оценки состояния оборудования и линий электропередач, что в свою очередь ускорит процесс корректировки графиков ремонтных работ и даст возможность перехода к ремонтам по состоянию.

### Литература

1. СТО 70238424.29.240.01.008-2009 Электрические сети. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093603> (дата обращения: 21.02.2020).

2. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летального аппарата / В.П. Дикой [и др.] // Энергия единой сети. 2014. № 2 (13). С. 16–25.

3. РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.thermoview.ru/pdf/rd.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).

4. Тепловизионная камера для дронов FLIR Duo Pro R 360 [Электронный ресурс]. URL: <https://spectraltechnology.ru/upload/iblock/499/499d2218445d4b4ac7d69ed48ca6f800.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).

5. СТО 70238424.17.220.20.007-2009. Системы и устройства диагностики состояния оборудования подстанций и ЛЭП. Условия создания. Нормы и требования [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093698> (дата обращения: 17.02.2020).

6. УФ-камера Ofil DayCor Ranger [Электронный ресурс]. URL: [https://www.pergam.ru/files/topdf/DayCor\\_RANGER\\_21538\\_0.pdf](https://www.pergam.ru/files/topdf/DayCor_RANGER_21538_0.pdf) (дата обращения: 17.02.2020).

7. Взгляд сквозь коммутационное оборудование [Электронный ресурс]. URL: <https://forca.ru/stati/podstancii/vzglyad-skvoz-kommutacionnoe-oborudovanie.html> (дата обращения: 19.02.2020).

8. Опыт применения Бетатрона для рентгенографии специального дефектного образца высоковольтного маломасляного выключателя [Электронный ресурс]. URL: <http://eepir.ru/images/viinpk-2019/8.pdf> (дата обращения: 19.02.2020).

УДК 621.311

## **МОНИТОРИНГ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ 110 кВ**

Егорова Н.Г.<sup>1</sup>, Хузяшев Р.Г.<sup>2</sup>, Кузьмин И.Л.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Nadyaegorova1997@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru, <sup>3</sup>to\_kigor@list.ru

Анализируются примеры регистрации частичных разрядов в кабельной линии 110кВ. Рассматривается зависимость от времени их энергии.

**Ключевые слова:** частичный разряд, кабельная линия, энергия, АЦП, осциллограммы.

Частичный разряд (ЧР) – это искровой разряд очень маленькой мощности, который образуется внутри изоляции или на ее поверхности в оборудовании среднего и высокого классов напряжения. С течением времени периодически повторяющиеся частичные разряды разрушают

изоляция, приводя в конечном итоге к ее пробое. Регистрация частичных разрядов, оценка их мощности и повторяемости, а также локализация места их возникновения позволяют своевременно выявить развивающиеся повреждения изоляции и принять необходимые меры для их устранения [1].

Виды частичных разрядов по длительности:

- 1) одиночные – частичные разряды, которые датчиком зарегистрированы один раз;
- 2) последовательные – частичные разряды, когда датчиком фиксируется несколько идущих последовательно.

В апреле 2019 г. были введены в эксплуатацию двухканальные датчики 23 и 29, установленные на КЛ 110 кВ «Центральная – Восточная 2». Датчики регистрировали сигналы переходного процесса по двум каналам – нулевому, подключенному к фазе *A* высоковольтного кабеля, и первому, подключенному к фазе *C*.

Данным программно-аппаратным комплексом двумя датчиками 23 и 29 зафиксировано шесть синхронных событий. Для всех событий была вычислена энергия как сумма квадратов мгновенных амплитуд с учетом вычета постоянного слагаемого. Эту составляющую определили как полусумму максимального и минимального значений на временном интервале от точки отсчета 0 до точки отсчета с № 1500, которая расположена ранее начала сигнала переходного процесса.

Синхронное событие 27 июля 2019 г. в 23:29:34 произошло в результате частичного разряда, вызванного грозovým перенапряжением. А событие 4 октября 2019 г. в 19:34:48 спровоцировано частичным разрядом внутри КЛ. Отмечено, что в обоих этих событиях минимальная энергия СПП зафиксирована датчиком 29 (рис. 1).

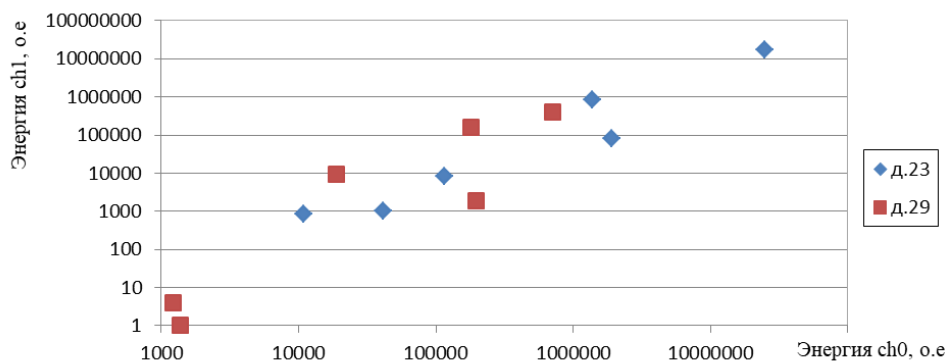


Рис. 1. График энергии первого канала относительно второго в период синхронных событий для датчиков 23 и 29

За это время датчиком 23 зафиксировано 498 одиночных событий и 6 синхронных событий (рис. 2). Среднесуточное значение одиночных срабатываний за этот период равно 1,49, т. е. один-два срабатывания в день. Примечательно, что в период с 12 по 24 апреля 2019 г. среднесуточное значение варьируется от 0 до 23, поэтому он исследовался более тщательно. А датчиком 29 зарегистрировано 509 одиночных событий.

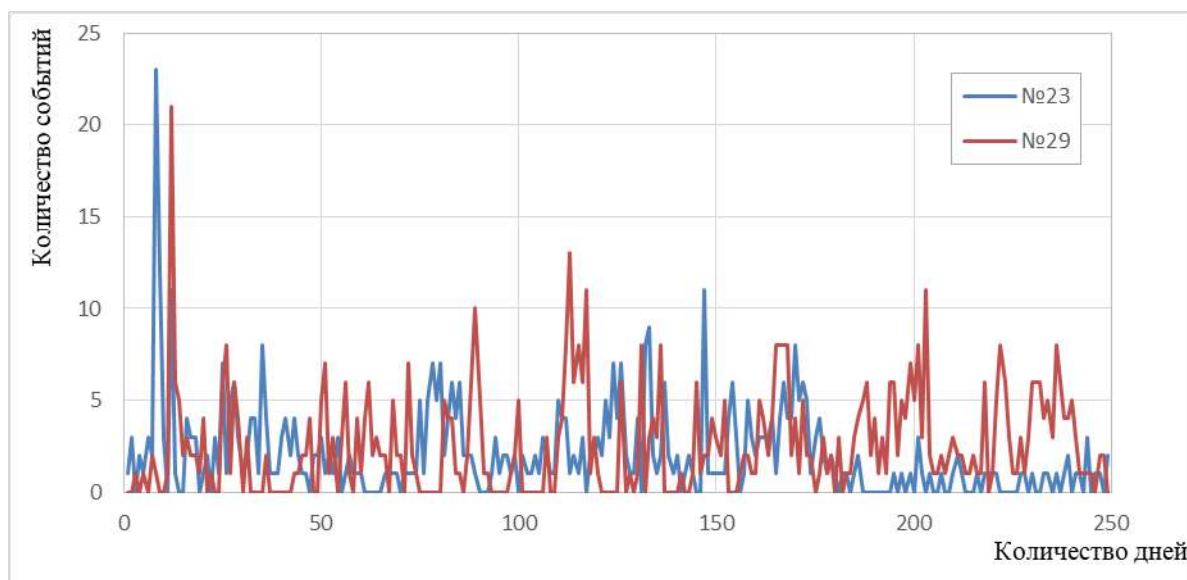


Рис. 2. График количества одиночных событий за время работы датчиков 23 и 29

Для всех одиночных событий в период с 12 по 24 апреля 2019 г. была вычислена энергия (рис. 3).



Рис. 3. Графики зависимости энергии от даты и времени

Полученные данные мы мысленно поделили на три временных этапа: 1-й – за неделю до частого срабатывания; 2-й – частое срабатывание; 3-й – неделя после. В каждом из этих периодов отыскивали максимальное и минимальное значение энергии и представили их исходные осциллограммы для визуального восприятия (рис. 4 и 5).

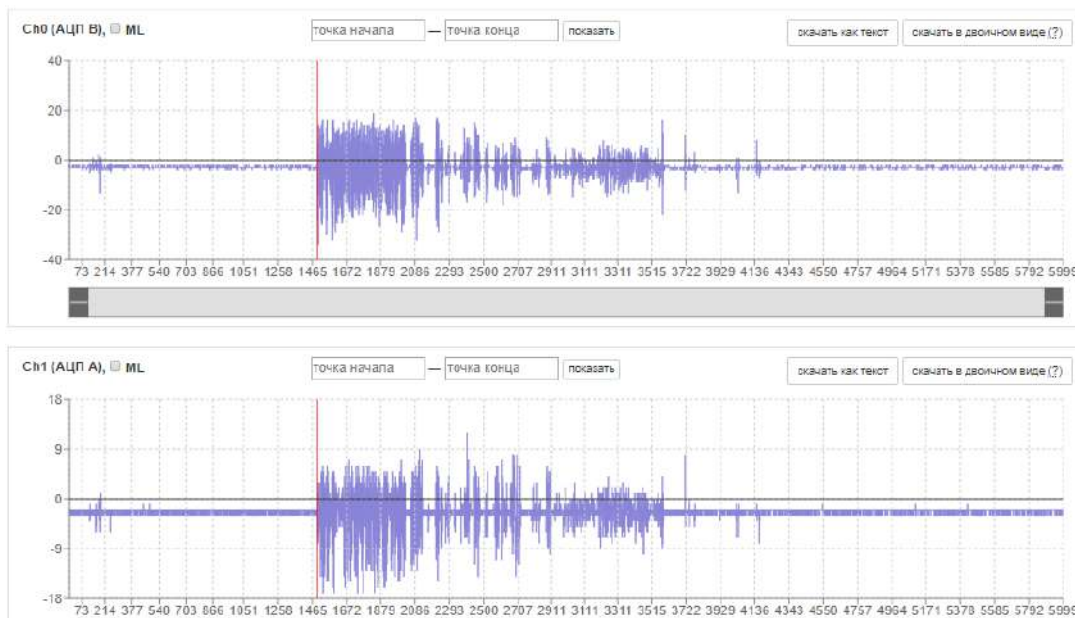


Рис. 4. График исходной осциллограммы: максимальное значение энергии для второго периода (19 апреля 2019 г., 09:29:40)

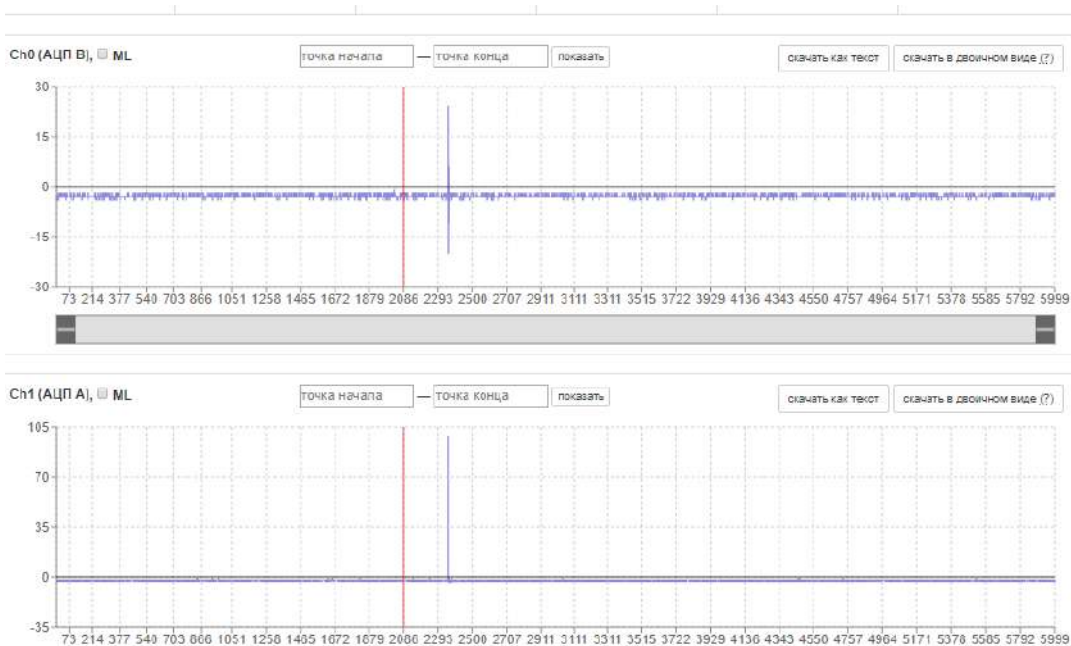


Рис. 5. График исходной осциллограммы: минимальное значение энергии для второго периода (19 апреля 2019 г., 06:24:29)

На основе сопоставления графиков и табличных данных мы пришли к выводу, что разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет мониторить количество и энергию частичных разрядов, что позволяет охарактеризовать состояние высоковольтной изоляции электрооборудования.

## Литература

1. Русова В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. Екатеринбург: УрГУПС, 2011. 370 с.

УДК 621.315.615.23

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

Жылдызбекова С.Ж.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

s.zhyldyzbekova@yandex.ru

Науч. рук. Гарифуллин М.Ш.

Рассмотрена перспективность применения синтетических сложных эфиров в качестве жидкого диэлектрического материала для маслonaполненных трансформаторов. Трансформаторные масла на основе сложных эфиров работают лучше в различных аспектах, чем минеральные нефтепродукты. В работе проведена оценка на целесообразность использования синтетических эфиров в трансформаторах различной мощности.

**Ключевые слова:** трансформаторное масло, минеральные диэлектрические жидкости, натуральные и синтетические сложные эфиры, MIDEЛ 7131.

Экологически безвредные биоразлагаемые электроизоляционные жидкости первоначально были разработаны для соответствия критериям экологической совместимости. Их доля в рынке неуклонно увеличивается, и в некоторых областях они вытесняют электроизоляционные жидкости на базе минеральных масел.

Существуют основные преимущества, которые сложные эфиры обладают в качестве диэлектрической жидкости в маслonaполненных трансформаторах [1]:

1. Биоразлагаемость. Данное свойство особенно важно в тех случаях, когда необходимо минимизировать экологическое воздействие на окружающую среду при случайном разливе масла.

2. Меньшая горючесть, более высокая температура воспламенения (360 °С) по сравнению с минеральными маслами (170 °С).

3. Уникальная способность поглощать влагу, содержащуюся в стареющей бумаге, которая может продлить срок службы изоляции в пять раз.

4. Химически помогает предотвратить расщепление длинных молекул целлюлозной бумаги (т. е. старение) при воздействии тепла.

5. Увеличенная перегрузочная способность и более длительный срок службы изоляции трансформатора.

6. Поступление из возобновляемых источников делает их пригодными для вторичной переработки и повторного использования.

7. Более низкая склонность к газообразованию при электрических напряжениях и лучшее сопротивление к образованию шлама.

8. Благодаря своей вязкости и способности к полимеризации, когда тонкие слои подвергаются воздействию тепла и воздушных потоков, они не распространяются по поверхности и в подповерхностный грунт в случае разлива, что определяет экологическую безопасность.

Указанные достоинства масел на основе сложных эфиров показывают перспективность использования их в качестве электроизоляционной жидкости в трансформаторном оборудовании.

Как правило, растительное масло может применяться в качестве сырья для получения триглицеридов (натуральных сложных эфиров) или сырья для производства синтетических сложных эфиров, также полностью смешивается с традиционно используемыми минеральными маслами, поэтому его можно использовать для заправки существующих трансформаторов. Но трудность в использовании натуральных эфиров в качестве изоляционного масла вызывает устойчивость к окислению. Ввиду более низкой термической и окислительной стабильности растительные масла применяются при умеренных температурах и низких давлениях.

Наиболее устойчивыми к окислению являются синтетические сложные эфиры – группа веществ с разнообразной структурой. Сложные эфиры получают химическими методами из спиртов и кислот.

Рассмотрим компанию MIDEЛ, которая предлагает безопасную альтернативу минеральному маслу – синтетический эфир MIDEЛ 7131 и натуральный эфир MIDEЛ eN, которые обеспечивают важную комбинацию свойств пожаробезопасности и защиты окружающей среды, нехарактерные для минерального масла [2].

MIDEL 7131 – синтетический эфир, подходящий для «дышащих» и герметизированных трансформаторов, расположенных в помещении или на открытом воздухе, в том числе в условиях холодного климата. Если жидкость MIDEL 7131 и удастся поджечь, что крайне маловероятно, продукты ее горения будут нетоксичны, а дым будет гораздо менее густым, чем при горении минерального масла. Дым, образующийся при горении MIDEL 7131, будет иметь меньшую плотность, чем белая взвесь из оксида кремния, образующаяся при горении силиконовых жидкостей. Это немаловажно при эвакуации персонала и проведении спасательных операций.

На данный момент стоимость синтетического сложного эфира в одиннадцать раз превышает цену на традиционные минеральные масла. Так, 1 кг масла MIDEL 7131 стоит 930 руб., и в то же время 1 кг ТМ ГК Роснефть обойдется в 84 руб.

В качестве примера рассмотрим трансформатор производителя «Минского электротехнического завода имени В.И. Козлова», ТМГ21-1000/10(6)-0,4 стоимость которого составляет 498 100 руб. с НДС. В трансформатор необходимо залить 0,575 т масла. Если туда залить синтетический сложный эфир MIDEL 7131, общая стоимость трансформатора, включая НДС, составит:

$$498\ 100 + 930 \cdot 575 = 1\ 032\ 850 \text{ руб.}$$

В то же время, если залить ТМ ГК Роснефть, то в данном случае общая стоимость трансформатора, включая НДС, будет составлять:

$$498\ 100 + 84 \cdot 575 = 546\ 400 \text{ руб.}$$

Теперь рассмотрим трансформатор ТДН-25000/110/6(10)-У1 производителя ООО «Завод силовые трансформаторы», стоимость которого составляет 18 800 000 руб., включая НДС. Необходимо в этот трансформатор заливать 17,7 т масла. Если залить предлагаемый автором синтетический сложный эфир MIDEL 7131, который обойдется в 16 461 000 руб., общая стоимость трансформатора, включая НДС, составит 35 261 000 руб. В то же время, если залить обычное традиционное минеральное масло ТМ ГК Роснефть, покупка которого обойдется в 1 486 800 руб., общая стоимость трансформатора составит 20 286 800 руб. (НДС в том числе).



Таким образом, можно сделать вывод о том, что при увеличении мощности трансформатора и соответственно его стоимости, использование более дорогого синтетического масла MIDEL 7131 становится более обоснованным. В то же время при существующих ценах на минеральные масла широкого внедрения синтетических сложных эфиров в российской электроэнергетике не предвидится.

### Литература

1. Corne Dames. New Developments in Natural Ester Fluids: Modification by Addition of Nanoparticles Applied in Electrical Transformers [Electronic resource] // Transformer Technology. 2019. URL: <https://www.transformer-technology.com/news/us-news/369-new-developments-in-natural-ester-fluids-modification-by-addition-of-nanoparticles-applied-in-electrical-transformers-technology.html> (date of the application: 20.02.2020).
2. Продукция компании MIDEL [Электронный ресурс]. URL: <http://eltn.ru/midel.html> (дата обращения: 20.02.2020).

УДК 621.317.39

## АНАЛИЗ СПЕКТРОВ АВАРИЙНЫХ ОСЦИЛЛОГРАММ С ПОМОЩЬЮ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

Зайноков В.А.<sup>1</sup>, Миронов Л.С.<sup>2</sup>, Нигматуллина Г.Ф.<sup>3</sup>,

Саляхутдинов Р.А.<sup>4</sup>, Фалин М.А.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vlerii99@mail.ru, <sup>2</sup>ralflist1@gmail.com, <sup>3</sup>fandamovna@mail.ru, <sup>4</sup>Hard\_modes@mail.ru,

<sup>5</sup>falin.maksim@mail.ru

Науч. рук. Хузяшев Р.Г.

Проведен анализ временного интервала аварийной осциллограммы из 128 отсчетов с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в «MS Excel» и в среде «Matlab». Изучен зеркальный эффект и раздвоение пиков в спектре сигнала.

**Ключевые слова:** быстрое преобразование Фурье, зеркальный эффект, теорема Котельникова, спектральный анализ, АЧХ сигнала переходного процесса.

Вычислительный алгоритм, лежащий в основе работы программных средств по обработке оцифрованных сигналов, осуществляющий их преобразование из временной формы представления в частотную, носит название быстрого преобразования Фурье (БПФ). Таким образом, весьма актуальными на данный момент являются задачи реализации БПФ на современных цифровых сигнальных процессорах. С помощью волнового метода основываясь на данных спектрального анализа можно определить место повреждения линий.

Целью нашей работы является построение спектра сигнала для ее изучения при аварийной ситуации.

Для выполнения данной работы ставятся следующие задачи:

1. Подготовить данные аварийной осциллограммы.
2. Сделать спектральный анализ с помощью БПФ для полученных данных из базы данных и сделать вывод.

3. Для анализа полученного спектра проводим дополнительный эксперимент: сделать спектральный анализ для обычной синусоиды с амплитудой  $A = 1$ , с частотой 40 и 330 кГц и с периодом дискретизации 1,085 мкс.

4. Сделать обрывы в нескольких местах синусоиды и посмотреть, как будет меняться ее спектр. Сделать вывод о раздвоение пиков в БПФ.

Методика выполнения:

1. Подготовить данные аварийной осциллограммы для удобной работы с ними: перейдя по ссылке: <http://cp.elnet-k.ru/enter/> скачать необходимый файл в формате «.xls» на компьютер. Определить точку начала сигнала переходного процесса (СПП) на оси временных отсчетов, используя информацию, полученную по результатам обработки аварийной осциллограммы модифицированным цифровым фильтром (МЦФ). Скопировать область амплитуд аварийной осциллограммы, находящуюся на интервале 128 временных отсчетов. В MatLab с помощью функции `fft()` выполнить БПФ, найти амплитудное значение преобразования и построить спектр (рис. 1).

2. В Excel подготовить следующую таблицу:  $n = 0-127$ ,  $a = 1$ ,  $t = n/f_s$ ,  $f_s = 921,659$  кГц,  $y = a \cdot \sin(2 \cdot 3,14 \cdot f_c \cdot t)$ , где  $f_c = 40$  кГц. С помощью БПФ построить спектральный график для этой синусоиды (рис. 2).

3. Провести расчеты с импульсной модуляцией синусоиды и построить спектральные графики (рис. 3). Умножить синусоиду на импульсный сигнал:

- $A = 0$ , если  $i = 0$  до  $i = 40$  и  $i = 88$  до  $i = 127$ ;
- $A = 1$ , если  $i = 41$  до  $i = 87$ .

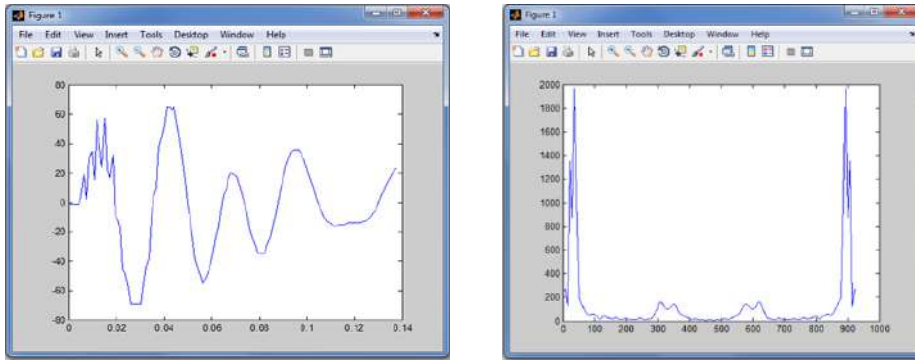


Рис. 1. Временной график анализируемой осциллограммы и амплитудный спектр по частоте наблюдаемых колебаний

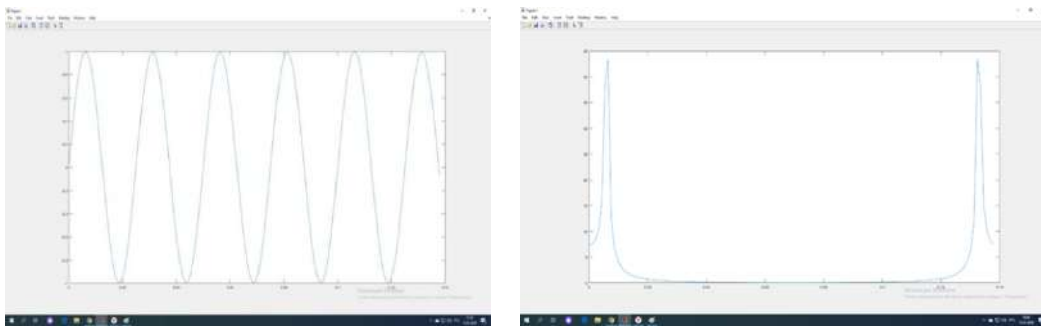


Рис. 2. Временная осциллограмма полной синусоиды с частотой 40 кГц и ее спектр

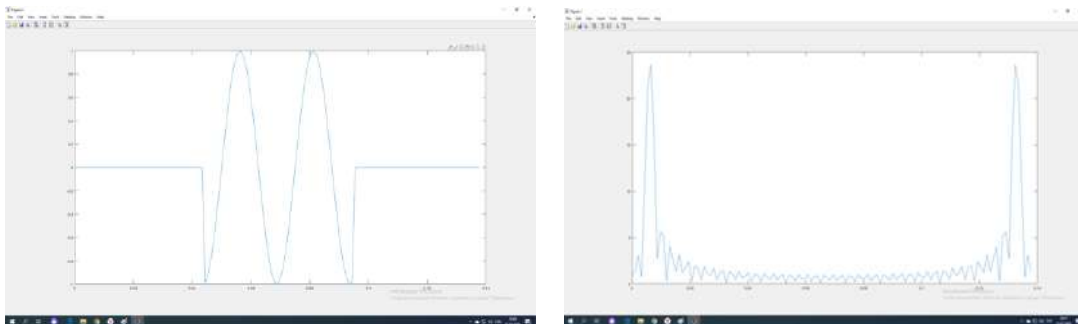


Рис. 3. Временная осциллограмма синусоиды с обрывом на этом участке частотой 40 кГц и ее спектр

Согласно теореме Котельникова: «Если аналоговый сигнал имеет финитный (ограниченной по ширине) спектр, то он может быть восстановлен однозначно и без потерь по своим дискретным отсчетам, взятым с частотой, строго большей удвоенной верхней частоты». На полученных графиках мы наблюдаем во всех спектрах присутствие зеркального эффекта, что обуславливается тем, что при получении спектра мы берем амплитудное значение БПФ. Раздвоение пиков происходит при амплитудной модуляции гармонического сигнала в нашем числовом эксперименте.

Вывод: в спектральном анализе наблюдаем раздвоение пиков и зеркальный эффект, по ним мы можем сделать анализ исходных данных.

### Литература

1. Компьютерный спектральный анализ сигналов с помощью MATLAB / В.В. Фриск. М.: Солон-пресс, 2020. 48 с.
2. Jesse Russell, Ronald Cohn. Быстрое преобразование Фурье. 2012. 102 с.
3. Мониторинг-К [Электронный ресурс]. URL: <http://cp.elnet-k.ru/enter/> (дата обращения: 11.12.2019).

УДК 621.3.017.14

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ТОКИ УТЕЧКИ ЧЕРЕЗ ИЗОЛЯТОРЫ

Зенина О.А.<sup>1</sup>, Тихонин С.Н.<sup>2</sup>, Галушак В.С.<sup>3</sup>, Бахтиаров К.Н.<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КТИ» (филиал) ВолгГТУ, г. Камышин  
<sup>1</sup>zenina-99@list.ru,

Рассмотрены вопросы оценки потерь электрической энергии в воздушных линиях электропередачи среднего класса напряжения. Несмотря на многократно проверенные характеристики изоляторов, существующие длины гирлянд не обеспечивают минимизацию утечек активной мощности. В работе представлены экономические расчёты ожидаемых потерь в воздушных линиях электропередачи с учётом токов утечки по изоляторам. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании или реконструкции воздушных линий электропередачи.

**Ключевые слова:** потери, изолятор, токи утечки, воздушные линии электропередачи.

Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях – одно из важных направлений энергосбережения [1]. Определение экономически обоснованного уровня данных потерь стало актуальной задачей для электроэнергетики.

Потери электроэнергии из-за токов утечки по изоляторам отнесены к техническим потерям. Они обусловлены физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии, выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей. Эти потери могут быть получены расчетным путем на основе известных законов электротехники.

Опытным путём были рассчитаны сопротивления двух типов изоляторов: фарфорового и стеклянного. Во время эксперимента изоляторы были покрыты слоем пыли, что позволило получить данные приближённые к реальным. Также производились замеры токов утечки у влажных изоляторов [2].

Для определения сопротивления воспользуемся законом Ома, подсчитав сопротивление для каждого напряжения и соответствующего тока утечки, найдём среднее значение, которое и будем использовать в дальнейшем. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Теоретическое сопротивление изоляторов

Тип изолятора	Кол-во изоляторов	Сопротивление, МОм
Стекланный ПС-70:		
сухой	3	210,938
мокрый полностью	3	78,302
Фарфоровый ПФ-70:		
сухой	3	196,190
мокрый полностью	3	46,577

Потери электроэнергии на токи утечки по изоляторам линии 35 кВ будем рассчитывать для трех сезонов: весна, лето и осень. Статистические данные по погодным условиям для Камышинского района представлены в табл. 2 [3].

Таблица 2

Погодные условия за расчётный период

Месяц	Кол-во часов влажной погоды	Кол-во часов сухой погоды
Март	302	400
Апрель	264	438
Май	186	516
Июнь	144	558
Июль	140	562
Август	116	586
Сентябрь	144	558
Октябрь	302	400
Ноябрь	384	318
Итого	1982	4336

Рассчитаем потери электроэнергии по формуле [1]:

$$\Delta W = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{3 \cdot R_{\text{ИЗ}} \cdot N_{\text{ИЗ}}} \cdot (T_{\text{ВЛ}} + T_{\text{СУХ}}) \cdot N_{\text{ГИР}} \cdot n \cdot l, \quad (1)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  – номинально напряжение линии,  $U_{\text{НОМ}} = 35$  кВ;  $N_{\text{ИЗ}}$  – число изоляторов в фазе,  $N_{\text{ИЗ}} = 3$  шт.;  $T_{\text{ВЛ}}$  – продолжительность в расчётном периоде влажной погоды, ч;  $T_{\text{СУХ}}$  – продолжительность в расчётном периоде сухой погоды, ч;  $N_{\text{ГИР}}$  – число гирлянд изоляторов,  $N_{\text{ГИР}} = 3$  шт.;  $n$  – количество опор на 1 км,  $n = 17$  опор/км;  $l$  – длина линии,  $l = 1$  км.

Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Потери электрической энергии на 1 км длины ВЛ-35 кВ  
в подвесных изоляторах, кВт·ч

Тип изолятора	Сухая погода	Влажная погода
ПС-70	428,07	527,13
ПФ-70	460,25	1938,67

На основе данных табл. 3 рассчитаем стоимость потерь электроэнергии  $C$  по одноставочному тарифу для потребителей среднего напряжения (СН-1)-35 кВ при стоимости электроэнергии  $c_{\text{уд}} = 4,51$  руб/кВт·ч для Волгоградской области [4]:

$$C = \Delta W \cdot c_{\text{уд}}. \quad (2)$$

Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4

Стоимость потерь электроэнергии на 1 км длины ВЛ-35 кВ  
от токов утечки через изоляторы, руб.

Тип изолятора	Сухая погода	Влажная погода
ПС-70	1930,62	2377,35
ПФ-70	2075,74	8743,38

Вывод: результаты расчетов показали важность учета потерь в изоляторах при разработке мероприятий по энергосбережению в электрических сетях.

## Литература

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов М.: НЦ ЭНАС, 2004. 280 с.

2. Расчет потерь мощности в изоляторах ЛЭП на токи утечки / О.А. Зенина [и др.] // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: тр. V Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. Тольятти, 2019. С. 66–70.

3. «Архив погоды в Камышине» [Электронный ресурс]. URL: <https://world-weather.ru/archive/russia/kamyshin/> (дата обращения: 29.01.2020).

4. Energybase.ru [Электронный ресурс]. URL: [https://energybase.ru/tariff/kamwshin/2019?TariffSearch%5Btype\\_id%5D=1](https://energybase.ru/tariff/kamwshin/2019?TariffSearch%5Btype_id%5D=1) (дата обращения: 01.03.2020).

УДК 621.3.088.2

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НАГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА И С ПОМОЩЬЮ ФАЗОМЕТРА РЕГИСТРАТОРА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Зидымышев Э.В.<sup>1</sup>, Кантеев П.Н.<sup>2</sup>, Миронов Л.С.<sup>3</sup>,

Нигматуллина Г.Ф.<sup>4</sup>, Саяхутдинов Р.А.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>zidymyshev98@mail.ru, <sup>2</sup>kanteevpn@mail.ru, <sup>3</sup>ralflist1@gmail.com,

<sup>4</sup>fandamovna@mail.ru, <sup>5</sup>Hard\_modes@mail.ru

Науч. рук. Хузяшев Р.Г.

Рассмотрена модель автономной энергетической системы, смоделированные параметры режима которой используются в качестве входной информации для следующих измерительных приборов: вольтметр, амперметр, годограф и регистратор переходных процессов. Оценивается погрешность измерения величины нагрузки, с помощью названных приборов, учитывая их измерительные погрешности.

**Ключевые слова:** цифровые фазометры, измерительные ТТ и ТН, автономная энергетическая система, РПП (регистратор переходных процессов).

В связи с появлением большого количества регистраторов переходных процессов появился новый способ отслеживания параметров режима. В реальном времени они способны отслеживать все аварийные ситуации, а также оценивать параметры режима.

Целью нашей работы является численная оценка погрешностей РПП и измерительных приборов по измерению величины нагрузки.

Для выполнения данной работы ставятся следующие задачи:

1. Математически описать угол сдвига фаз двух векторов напряжений (на шинах генератора и на шинах нагрузки).

2. Определить значения сопротивлений нагрузки, для линии длиной 100 км из провода АС-240/32, напряжение генератора 220 кВ и соотношение между модулями сопротивлений провода и нагрузки, изменяющимся от 0,01 до 0,1 с шагом в 0,01.

3. Вычислить угол сдвига фаз для описанных выше 10 случаев.

4. Рассчитать ток цепи и напряжение на шинах нагрузки с учетом погрешностей измерительных приборов, взяв верхние и нижние допустимые погрешности. Определить с помощью закона Ома сопротивление нагрузки.

5. Определить сопротивление с помощью угла сдвига фаз, учитывая погрешность цифрового фазометра .

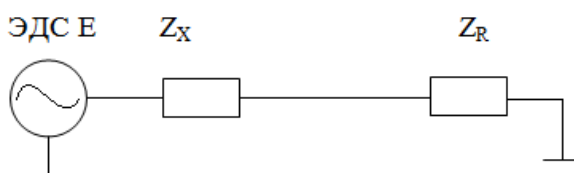
6. Сравнить абсолютные погрешности в обоих случаях.

7. Сравнить точности определения нагрузок этими способами.

8. Сделать вывод.

Методика:

1. Вывести функциональную зависимость угла сдвига фаз на шинах генератора автономной энергосистемы от соотношения  $Z_X/Z_R$ , где  $Z_X$  – полное сопротивление провода, а  $Z_R$  – полное сопротивление нагрузки. Схема автономной энергосистемы представлена на рисунке [1].



Автономная энергосистема

Дано:  $E$  – напряжение источника;  $Z_R$  – сопротивление нагрузки;  $Z_X$  – сопротивление провода;  $I$  – ток в цепи;  $U_R$  – напряжение на шинах нагрузки.



2. Далее будет представлена функциональная зависимость для угла сдвига фаз при любом соотношении нагрузок [1]:

$$U_R = \dot{I} \cdot \dot{Z}_R = \dot{I}^{-j \operatorname{arctg} \frac{b+b_1}{a+a_1}} \cdot \dot{Z}_R^{-j \operatorname{arctg} \frac{b_1}{a_1}} = \dot{U}^{-j \operatorname{arctg} \frac{b+b_1}{a+a_1} + j \operatorname{arctg} \frac{b_1}{a_1}}.$$

Таким образом, угол сдвига фаз определяется как:

$$\varphi = -\operatorname{arctg} \frac{b+b_1}{a+a_1} + \operatorname{arctg} \frac{b_1}{a_1}.$$

3. Далее возьмем напряжение генератора равным 220 кВ, провод марки – АС-240/32, длину линии равной 100 км. Распишем удельные параметры провода и рассчитаем значения активного и реактивного сопротивления:  $r_0 = 0,121$  Ом/км;  $x_0 = 0,435$  Ом/км. Для провода длиной 100 км параметры сопротивлений:  $R = 121$  Ом,  $X = 435$  Ом. Рассчитаем сопротивление нагрузки и с учетом сопротивлений рассчитаем параметры режима и запишем их в таблицу [2]. Далее рассчитаем значения с учетом погрешности для разных измерительных приборов и делаем выводы о точности измерений. Для сравнения взяты ТТ и ТН с классами точности 0,5 и 0,2 и регистратор переходных процессов (цифровой фазометр) с погрешностью равной  $\pm 0,5$ . Также была выведена абсолютная погрешность данных устройств при измерении нагрузки (см. таблицу) [3]:

$$\Delta_1 = \frac{Z_{R \text{ изм.1}} - Z_R}{Z_{R \text{ изм}}} = \frac{45153,334 - 45151,528}{45153,334} = \pm 0,004;$$

$$\Delta_2 = \frac{Z_{R \text{ изм.2}} - Z_R}{Z_{R \text{ изм}}} = \frac{45219,487 - 45151,528}{45219,487} = \pm 0,15.$$

### Параметры сети

$Z_X/Z_R$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$\varphi$	$Z_R, \text{ Ом}$	$\Delta_1$ РПП	$\Delta_2$ ТТ и ТН
0,01	218266,33	4,83	-0,34	45151,52	$\pm 0,004$	$\pm 0,15$
0,02	218074,90	5,36	-0,38	40636,37	$\pm 0,004$	$\pm 0,15$
0,03	217835,94	6,03	-0,43	36121,22	$\pm 0,005$	$\pm 0,15$
0,04	217529,27	6,88	-0,49	31606,07	$\pm 0,005$	$\pm 0,15$

$Z_X/Z_R$	$U, В$	$I, А$	$\varphi$	$Z_R, Ом$	$\Delta_1$ РПП	$\Delta_2$ ТТ и ТН
0,05	217121,32	8,01	-0,57	27090,91	$\pm 0,006$	$\pm 0,15$
0,06	216552,03	9,59	-0,68	22575,76	$\pm 0,008$	$\pm 0,15$
0,07	215702,12	11,94	-0,85	18060,61	$\pm 0,009$	$\pm 0,15$
0,08	214296,26	15,82	-1,13	13545,46	$\pm 0,013$	$\pm 0,15$
0,09	211524,35	23,42	-1,68	9030,30	$\pm 0,019$	$\pm 0,15$
0,1	203521,57	45,07	-3,23	4515,15	$\pm 0,037$	$\pm 0,15$

Вывод: проведенные выкладки показывают, что РПП имеет более чем на порядок лучшую точность измерения сопротивления нагрузки.

### Литература

1. Морозов А.Г. Электротехника, электроника и импульсная техника: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987. 448 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2012. 376 с.
3. Основы метрологии и стандартизации и сертификации / М.Я. Марусина [и др.]. СПб.: СПбГУИТМО, 2009. 164 с.

УДК 621.3.04

## ВЫЯВЛЕНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ВИТКОВ В ОБМОТКЕ И МАГНИТОПРОВОДЕ ТРАНСФОРМАТОРА

Зиннатулина Д.Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
dashazin1995@mail.ru  
Науч. рук. Муратаев И.А.

Представлены результаты эксперимента на силовом трансформаторе ТМ-100/10, в котором искусственно были созданы дефекты в виде короткозамкнутого витка в обмотке и нарушения изоляции сердечника. Выяснено влияние дефектов на работу трансформатора и получен диагностический параметр для определения данного вида повреждений.

**Ключевые слова:** трансформатор, обмотка, магнитопровод, повреждение, короткозамкнутый виток, дефект.

К числу основных повреждений трансформаторного оборудования можно отнести короткое замыкание в обмотках и нарушение изоляции между пластинами электротехнической стали магнитопровода, что приводит к образованию паразитных контуров в нём.

Нарушение изоляции обмоток может произойти вследствие ее естественного износа при продолжительных перегрузках трансформатора, недостаточном охлаждении, механических повреждениях, дефектности провода, а также неправильной укладки витков и их опрессовки.

Предпосылками для нарушения изоляции сердечника могут служить наличие элементов крепления пакетов электротехнической стали и заземления конструкции трансформатора. Касание магнитопровода в двух местах каких-нибудь металлических частей влечёт образование замкнутых контуров и выгорание пластин с переходом в пожар магнитопровода [1].

Описанные дефекты развиваются очень медленно и редко выявляются в результате типовых испытаний. Основная проблема в том, что защита своевременно не реагирует на повреждения изоляции малого количества витков обмотки и пластин магнитопровода, а срабатывает только в тот момент, когда авария достигает более крупных масштабов [2].

В связи с этим актуальной является разработка способа обнаружения короткозамкнутых контуров уже на начальном этапе их развития.

Для этой цели были проведены исследования на силовом трансформаторе ТМ-100/10. Короткозамкнутый контур в обмотке искусственно создан из медного провода диаметром 0,25 мм по внешнему слою фазы С обмотки ВН. Дефект повреждения сердечника представляет собой 40 листов с удалённым лаковым слоем. Характеристики на входе ( $U_{\text{норм}}^{\text{вх}}$  и  $U_{\text{кз}}^{\text{вх}}$ ) и выходе ( $U_{\text{норм}}^{\text{вых}}$  и  $U_{\text{кз}}^{\text{вых}}$ ) оборудования были измерены при его нормальной работе, наличии короткого замыкания в обмотке высшего напряжения и повреждении изоляции в магнитопровode. Значения зарегистрированы с помощью цифрового осциллографа и записаны на флеш-память для дальнейшей обработки. Измерение характеристик проводилось при разных частотах генерируемого на входе трансформатора сигнала, при  $f = [50:5000]$  Гц с шагом 50 Гц.

Зарегистрированные данные представляют собой большой массив данных, который ввиду своего объёма был обработан с помощью метода программирования на языке Visual Basic.

После различных анализов данных была получена характеристика при нормальной работе оборудования и при наличии дефекта (рис. 1).

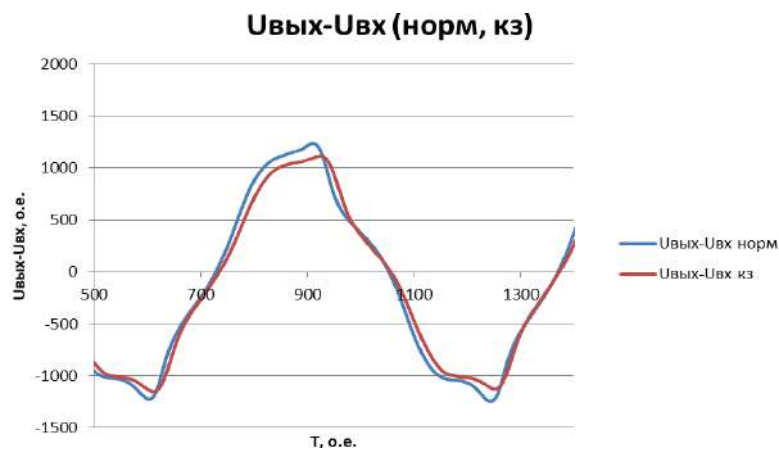


Рис. 1. Характеристика  $U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВХ}}(T)$

Как видно из рис. 1, характеристика при дефекте отличается от характеристики при нормальной работе трансформатора. Целесообразно было бы такое отличие выразить математически в виде некоего диагностического параметра:

$$K = \frac{\int_0^n |U_{\text{ВЫХ}} - U_{\text{ВХ}}|}{n},$$

где  $n$  – число дискретных значений времени, о.е.

Параметр  $K$  был рассчитан при всех заданных частотах для трёх опытов: при нормальном режиме работы трансформатора, при наличии короткозамкнутого витка в обмотке и при дефекте в магнитопроводе.

Зависимость полученного параметра от частоты синусоидального напряжения  $K(f)$  представлена на рис. 2.

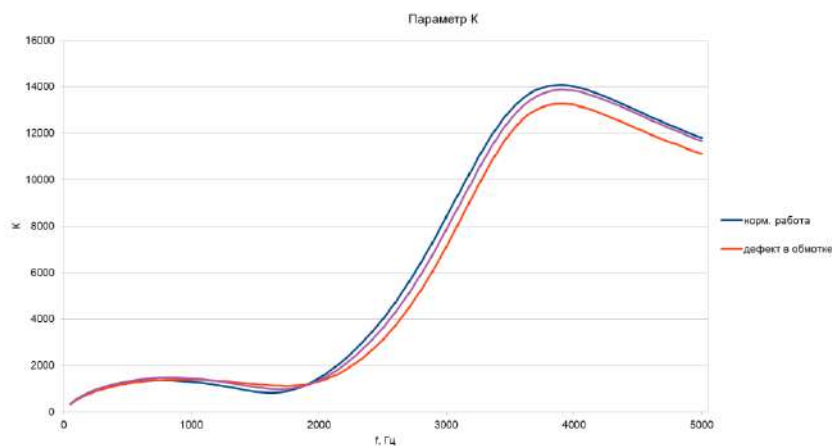


Рис. 2. Характеристика  $K(f)$

Практическая ценность работы заключается в предложении диагностической характеристики  $K(f)$ , которая оказалась чувствительной к короткозамкнутым контурам в обмотке и магнитопроводе. Дефекты хорошо наблюдаемы на высоких частотах ( $> 2000$  Гц), где значения параметров при короткозамкнутом витке значительно ниже, чем в нормальном состоянии. Описанная методика имеет перспективы использования при проведении плановых или внеплановых ремонтов оборудования в дополнение к типовым испытаниям.

Личный вклад автора состоит в участии в измерениях, анализе исходных данных и создании программного кода для обработки полученного в результате эксперимента массива.

### Литература

1. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. М.: Академия, 2003. 176 с.

2. Межвитковые короткие замыкания в силовых трансформаторах / Д.Т. Плотников [и др.] // Академический журнал западной Сибири. 2017. № 71. С. 28–30.

УДК 004.9

## АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЩЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Иркагалиева И.И.<sup>1</sup>, Хузяшев Р.Г.<sup>2</sup>, Кузьмин И.Л.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>irkagalieva2001@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru

Рассмотрен алгоритм определения существенных признаков сигналов переходного процесса. Обработка данных осуществляется с помощью языка программирования Python.

**Ключевые слова:** сигнал переходного процесса, частота свободных колебаний, огибающая сигнала, язык программирования Python.

При любых изменениях в электрической цепи (включении, выключении, полном и частичном пробое изоляции) в ней возникают сигналы переходных процессов. Программно-аппаратные комплексы, регистрирующие сигналы переходных процессов, используются для диагностики

электрооборудования. Диагностика заключается в регистрации и оцифровании показаний датчиков сигналов переходного процесса. Оцифрованные значения пересылаются в удаленный сервер для дальнейшей обработки. Зарегистрированная осциллограмма сигнала переходного процесса содержит информацию о месте возникновения этого сигнала как во времени начала этого сигнала, так и в других параметрах – частота свободных колебаний, длительность, амплитуда. Определение существенных признаков сигналов переходного процесса позволяет определить место повреждения в линии электропередач. Самым важным признаком является время начала сигнала. По временной задержке между сигналами, замеренными в разных точках, определяется место возникновения источника сигнала. Максимальная амплитуда указывает на место нахождения источника этого сигнала. Это объясняется тем, что при удалении от места возникновения сигнала её амплитуда уменьшается. Период свободных колебаний (или частота свободных колебаний) также позволяет определить место расположения источника сигнала. При распространении любых сигналов в любых средах чем большее расстояние прошел сигнал переходного процесса, тем быстрее затухают высокочастотные колебания, низкочастотные колебания ослабляются с расстоянием меньше.

С использованием языка программирования Python разработана программа для обработки экспериментальных осциллограмм (рис. 1) [1].

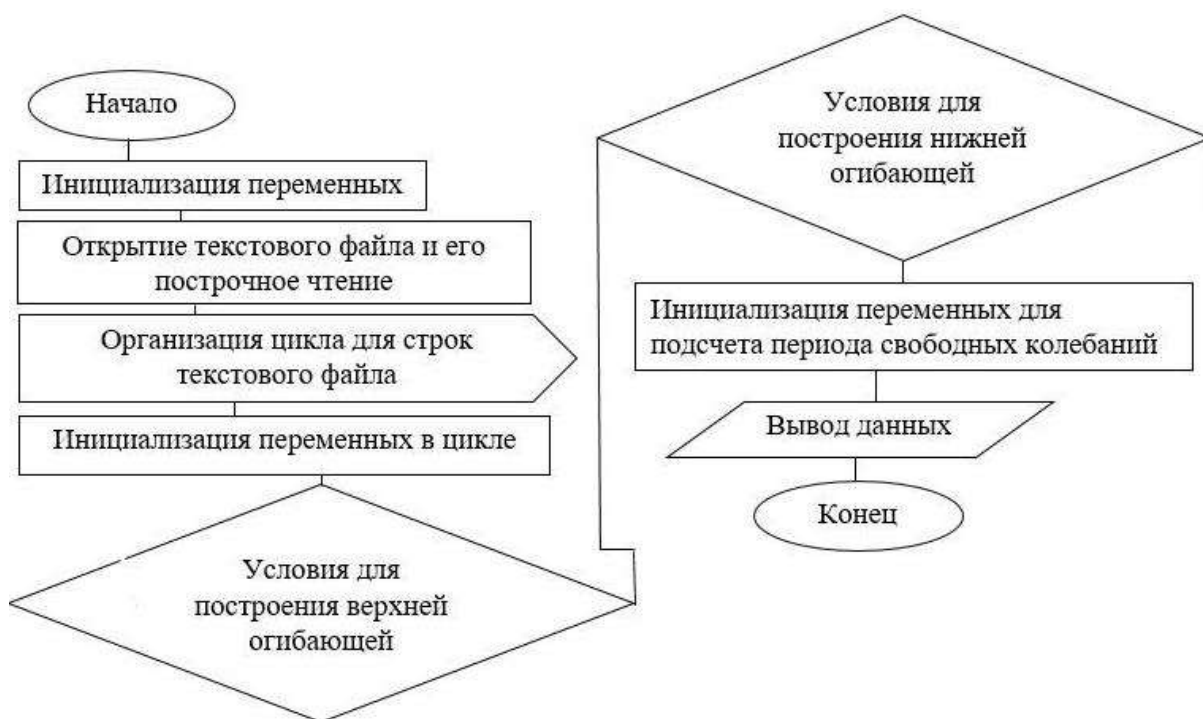


Рис. 1. Блок-схема программы

После открытия текстового файла с данными определяем три соседние точки графика. Огибающая сигнала – это функция, построенная по характерным точкам данного сигнала, например по экстремумам. У каждого (дискретного или непрерывного) сигнала имеются локальные экстремумы: локальные максимумы и локальные минимумы [2]. Для построения верхней огибающей задаем условия определения локальных максимумов и, аналогично, для построения нижней огибающей задаем условия определения локальных минимумов (рис. 2, 3).

Начало сигнала переходного процесса определяем по размаху амплитуды. Размах амплитуды – это разница значений амплитуд, огибающей сверху и огибающей снизу. Мы определяем момент времени, в котором зафиксировали максимальную величину этого размаха. Затем последовательно отступаем к началу, т. е. спускаемся по ступенькам огибающей размаха. Начало сигнала переходного процесса определяется как первая точка исходной осциллограммы, превысившая ступеньку с минимальной высотой, выполняющей функцию порогового уровня.

После этого считаем ширину ступеней огибающих сигнала сверху и снизу для определения периода свободных колебаний. В программе это реализуется подсчетом ширины ступенек.

Для определения длительности мы определяем интервал мгновенных амплитуд размаха сигнала превышающих 10 % от максимальной амплитуды размаха.

Внутри этого интервала определяется частота свободных колебаний. Ее мы можем определить двумя способами. Либо в виде зависимости осциллограммы от текущего времени, либо при помощи замены средней величиной частоты, т. е. усреднением по всем значениям.

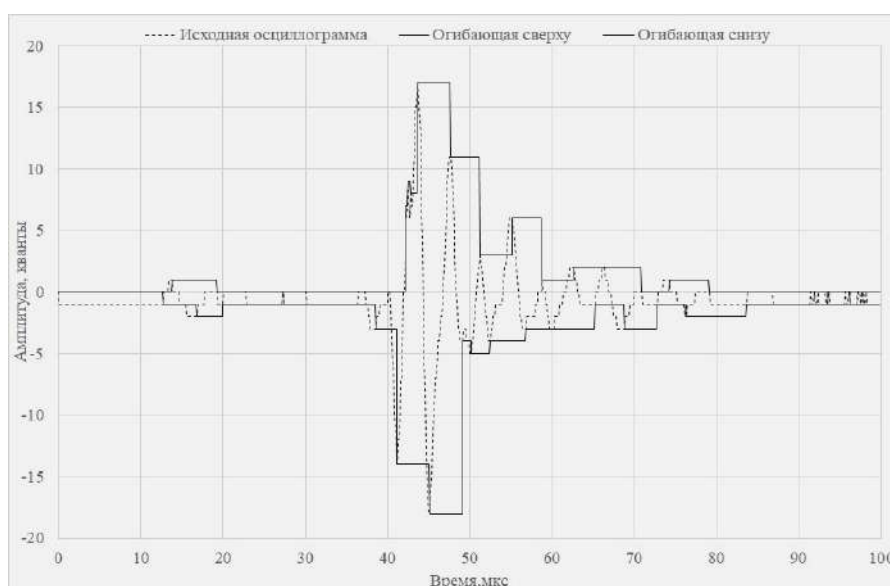


Рис. 2. Огибающая сигнала

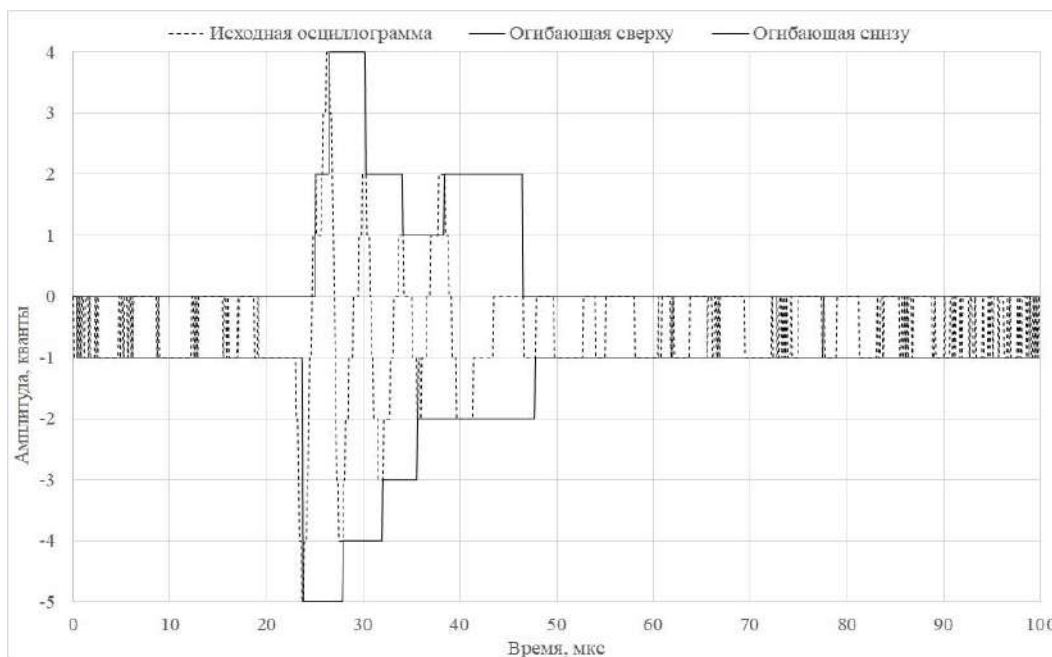


Рис. 3. Огибающая сигнала

Таким образом, мы заменим осциллограмму набором чисел: начало сигнала переходного процесса, максимальная амплитуда, длительность и частота свободных колебаний.

### Литература

1. Язык программирования Python [Электронный ресурс]. URL: <https://www.python.org/> (дата обращения: 22.02.2020).
2. Метод разложения сигналов на функции [Электронный ресурс]. URL: [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) (дата обращения: 21.02.2020).

УДК 69.057.47

## МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Касьянова Н.Е.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

Науч. рук. Мухаметжанов Р.Н.

Представлены две разновидности монтажа линий высоковольтных проводов применяющихся повсеместно. Рассмотрены этапы монтажа воздушной линии.

**Ключевые слова:** монтаж, воздушная линия, раскатка провода, тяжение провода.



Во многих сферах человеческой деятельности применяется электричество. Для того чтобы доставить электрическую энергию от подстанции через тысячи километров до потребителей, применяются различные системы. Устройства передают напряжение с соответствующими характеристиками по проводам по воздуху или специальным кабельным сооружениям. Все эти провода формируют линию электропередач.

В России общая протяжённость эксплуатируемых линий электропередачи напряжением 35–1150 кВ составляет около 3 000 000 км [1].

В Республике Татарстан общая протяженность воздушных линий электропередачи 0,380–500 кВ составляет 60 727 км, в том числе напряжением 220–500 кВ – 1 900 км, напряжением 35–110 кВ – 8 089 км, напряжением 6–10 кВ – 23795 км, напряжением 0,4 кВ – 26 943 км.

Система передачи электричества от подстанции к потребителю предполагает использование различной силовой аппаратуры и коммуникаций. Провода могут быть проложены в специальных каналах, траншеях или крепиться к опорам при помощи изоляторов и арматуры.

Выбор того или иного способа коммуникаций зависит от условий эксплуатации. Строительство воздушной линии электропередачи обходится на 25–30 % дешевле, чем обустройство канала для кабеля под землей. Однако обе разновидности монтажа линий высоковольтных проводов применяются повсеместно.

Одной из основных причин нарушения работоспособности воздушной линии являются дефекты при монтаже.

Монтаж воздушной линии состоит из нескольких этапов. Причем определить важность того или иного этапа невозможно. Ведь от того, насколько качественно будет выполнен каждый этап монтажа, зависит эффективность и надежность функционирования линии электропередач.

Натяжение (монтаж) неизолированных проводов ВЛ производится отдельно на каждом анкерном пролете. Натяжение проводов ВЛ тоже можно разделить в несколько этапов:

- подготовительная работа (завоз проводов и материалов);
- раскатка провода по трассе;
- поднятие провода на опоры;
- натяжение проводов и регулирование уровня провеса проводов;
- крепление проводов к опорным изоляторам.

Для раскатки проводов на опорах вешаются монтажные ролики. Раскатку проводов можно произвести двумя способами. При первом способе барабан ставится на специальные козлы или домкраты. На них он свободно может вращаться. Конец кабеля привязывают к машине или трактору через монтажный ролик. Машина двигается по трассе, и провод раскатывается по трассе. При данном способе, во время перемещения тягового механизма, возможно касание провода земли (обычно это происходит в середине пролета), что может привести к его повреждению. Поэтому первый способ раскатки применяют при монтаже коротких линий, а также на участках, где повреждение проводов при касании земли маловероятны (при хорошем снежном или травяном покрове). Второй способ раскатки обеспечивает лучшую сохранность провода от механических повреждений при трении о грунт. Барабан на домкратах ставится на машину, и машина с барабаном движется по трассе. Этот способ имеет ограниченное применение, например для П-образных опор с раскосами. Указанные технологии раскатки применяются для неизолированных проводов.

Раскатка проводов сопровождается их соединением. Способ соединения проводов зависит от их конструктивных особенностей. Далее провода ВЛ натягиваются лебедкой, а при больших пролетах, трактором. Провода должны проходить через монтажные ролики, установленные на опорах. Тяжение проводов должно быть таким, чтобы стрела провисания провода соответствовала норме. Провисание провода измеряется высотометром.

Натяжение проводов и крепление их к анкерным опорам производят при помощи натяжных зажимов. Зажим при помощи цепной арматуры крепится к нижнему изолятору гирлянды. Провод в зажиме затягивается прижимными плашками с помощью U-образных шпилек. Крепление проводов на промежуточных опорах с стержневыми изоляторами осуществляется вязкой из алюминиевых проволок. На промежуточных опорах с подвесными изоляторами провода с монтажных роликов переключаются в поддерживающий зажим, прикрепляемый к нижней части изолятор. Провод в зажиме затягивается прижимными плашками с помощью U-образных шпилек.

Очень часто бывает так, что вследствие неправильного монтажа или расчета не работает, как положено, именно поддерживающая арматура.

## Литература

1. Зарудский Г.К. Линия электропередачи [Электронный ресурс] // Большая российская энциклопедия. URL: [https://bigenc.ru/technology\\_and\\_technique/text/2146410](https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2146410) (дата обращения: 30.01.2020).

2. Монтаж проводов и грозозащитных тросов [Электронный ресурс] // Справочник электрика и энергетика. URL: <http://www.elecab.ru/sprav44-2-3.shtml> (дата обращения: 30.01.2020).

3. Монтаж проводов ВЛ [Электронный ресурс] // Монтаж и эксплуатация электрических сетей. URL: <https://elektro-montagnik.ru/?address=lectures/part2/&page=page45#hcq=QphdJSr> (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 621-313.3

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Константинов Д.В.<sup>1</sup>, Валеев И.М.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

<sup>1</sup>dmitrij\_konstantinow@mail.ru, <sup>2</sup>ilgizvaleev@yandex.ru

Науч. рук. Валеев И.М.

Описана работа следящего электропривода переменного тока, основные недостатки при эксплуатации его в различных сферах деятельности. Представлена актуальность данной темы в настоящее время.

**Ключевые слова:** следящий электропривод переменного тока, эффективность, сигнал, дискретизация.

В настоящее время электроприводы переменного тока набирают всё большую популярность для использования в различных электрических приборах. Двигатели постоянного тока уже постепенно начинают отходить на второй план.

Особую роль в сфере промышленности, сельского хозяйства и науки играют следящие электроприводы переменного тока, быстрдействие которых в основном определяет динамическую точность прецизионного оборудования, например промышленных роботов и станков [1].

Под следящими электроприводами понимается электропривод, который обеспечивает с заданной точностью движение исполнительного органа рабочей машины в соответствии с произвольно изменяющимся сигналом управления. Этот сигнал управления может изменяться в широких пределах по произвольному временному закону и иметь как механическую, так и электрическую природу. Чаще всего входной сигнал представляет собой скорость или угол поворота оси или вала. Следящий электропривод применяется для антенн радиотелескопов и систем спутниковой связи, в копировальных станках, для привода исполнительных органов роботов и манипуляторов, в автоматических измерительных устройствах и во многих других случаях [2].

В связи с тем, что электропривод переменного тока начинает применяться во многих областях и сферах жизнедеятельности, встает вопрос о повышении эффективности его работы для улучшения показателей качества и надёжности.

Значительными недостатками в работе электропривода являются его перегрев двигателя и износ трущихся частей при длительной непрерывной работе. Также электромагнитное поле может создавать помехи в сетях управления помехи в проходящих рядом других сетях (например, управления и сигнализации). Уменьшить негативное влияние недостатков поможет грамотная конструкция привода и оговаривание всех возможных опасных влияний, разработка точной кинематической схемы [3].

Современный электропривод может оснащаться массой дополнительных защитных средств повышающих его срок службы и комфорт работы с ним. Поэтому исследования, направленные на повышение эффективности и быстродействие следящих электроприводов переменного тока, являются актуальными и значимыми.

## Литература

1. Чернышев А.Ю., Дементьев Ю.Н., Чернышев И.А. Электропривод переменного тока: учеб. пособие. 2-е изд. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. 210 с.
2. Следящий и программно-управляемый электроприводы [Электронный ресурс]. URL: [https://studme.org/265174/tehnika/sledyaschiy\\_programmno\\_upravlyaemu\\_elektroprivody](https://studme.org/265174/tehnika/sledyaschiy_programmno_upravlyaemu_elektroprivody) (дата обращения: 27.02.2020).
3. Электропривод промышленных установок: учеб. пособие / сост.: С.В. Петухов, М.В. Кристьянис. Архангельск: С(А)ФУ, 2015. 303 с.

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Крюкова В.А.<sup>1</sup>, Лобанова Е.Н.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>victoria131113@gmail.com, <sup>2</sup>79196918258@mail.ru

Согласно статистике, примерно 70 % всех электростанций в Российской Федерации в настоящее время находятся на грани истощения нормативных ресурсов. Эти цифры относятся к основным средствам электроэнергетики, но ситуация аналогична для большинства частных компаний. Фактическое обновление инвентаря электростанции не превышает 5 % от общего объема. Поэтому говорить о быстрой замене всех электрических устройств просто нецелесообразно. Внедрение качественной трансформаторной диагностической системы, предназначенной для постоянного мониторинга технического состояния электростанций, гораздо эффективнее. С его помощью можно проводить полную диагностику трансформаторного оборудования, определять возникновение отказов на ранней стадии разработки и предотвращать возникновение аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** силовые трансформаторы, диагностика, мониторинг, система, модули, контроль технического состояния, повышение надежности.

Задача повышения надежности энергоснабжения потребителей может быть решена только путем увеличения рабочих параметров элементов единой технологической цепочки передачи электроэнергии, в том числе высоковольтных силовых трансформаторов [2].

Качественная система мониторинга и диагностики позволяет решать следующие задачи:

- раннее обнаружение дефектов в электрооборудовании (из-за чего вероятность аварийного повреждения трансформаторов снижается в несколько раз);
- снижение затрат на ремонт (работы ведутся не по графику, а только по факту поломок);
- снижение затрат в целом, т. е. не придется покупать новое оборудование в удовлетворительном состоянии. Обмен будет происходить только после достижения критических параметров [3];
- реальное увеличение эффективного времени работы трансформатора. Оператор получает всю необходимую информацию о состоянии трансформатора и при необходимости заказывает ремонт, заранее зная, что последний может выйти из строя [3];

– снижение трудозатрат и экономия на заработной плате работников. Все работы переведены на системы мониторинга силовых трансформаторов. Для управления десятками устройств нужен только один оператор, которого можно обучить за несколько дней.

Комплексная система мониторинга марки «TDM» (Transformer Diagnostics Monitor) предназначена для оперативного мониторинга технического состояния силовых трансформаторов. Он включает в себя набор аппаратного и программного обеспечения, предназначенного для диагностики и оценки состояния силовых трансформаторов [2].

Модули «TDM» – это реальная возможность создать системы мониторинга и диагностики с требуемыми свойствами, которые наилучшим образом соответствуют условиям работы каждого отдельного силового трансформатора. Таким образом, вы можете минимизировать экономические затраты на организацию диагностического мониторинга с определенными функциями [5].

В дополнение к модулям системы «TDM» комплексная система мониторинга может включать в себя различные инструменты для контроля параметров нефти и растворенного газа и других дополнительных диагностических параметров. Преимущество системы «TDM» заключается в том, что данные со всех диагностических устройств учитываются при формировании комплексного диагностического отчета о техническом состоянии различных подсистем силовых трансформаторов [1].

В зависимости от конфигурации системы мониторинга марки «TDM», требуемой для управляемого трансформатора, первичными источниками информации будут от 10 до 80 первичных датчиков различных типов, установленных на трансформаторе [2].

Все модули системы TDM предназначены для работы в промышленном температурном диапазоне  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что позволяет устанавливать оборудование непосредственно рядом с управляемым трансформатором без нагрева.

Система TDM поставляется в защитном шкафу, в котором смонтированы все необходимые модули и устройства. При необходимости на шкаф может быть установлена дополнительная система отопления [3].

Для передачи информации в локальную компьютерную сеть высокоуровневой автоматизированной системы управления процессами в системе TDM используется оптический кабель или витая «медная» пара.

В зависимости от технических характеристик планируется использовать интерфейс RS-485 или радиоканал для передачи информации для автоматического управления [1].

Информация от первичных информационных датчиков, установленных на трансформаторе, записывается, обрабатывается и сохраняется в соответствующих функциональных диагностических модулях. Каждый системный модуль реализует специализированную экспертную систему, в результате которой делается диагностический вывод о текущем техническом состоянии управляемой трансформаторной подсистемы.

Информация от всех диагностических модулей системы TDM – первичная и уже обработанная – передается по каналам связи на рабочую станцию системы мониторинга, которая основана на специальном программном обеспечении «iNVA». Это программное обеспечение используется для обработки, отображения и архивирования информации о состоянии трансформатора. При необходимости вся информация или самая важная ее часть может быть передана в системы АСУ-ТП более высокого уровня [5].

Чтобы получить диагностические заключения о состоянии управляемого трансформатора, программное обеспечение «iNVA» использует специальные диагностические алгоритмы, которые оценивают технические условия отдельных локальных подсистем и всего трансформатора.

Окончательная диагностическая информация системы генерируется на уровне программного обеспечения «iNVA» и является многоуровневой. Он включает информацию о выявленных дефектах и приблизительное время их разработки. Это стало возможным благодаря использованию эксклюзивных адаптивных математических моделей дефектных состояний в программе специалиста «iNVA», параметры которых уточняются по мере сбора информации [5].

Для формирования комплексных диагностических выводов в экспертной программе используются сложные диагностические модели, в которых используются характерные параметры из нескольких диагностических моделей отдельных трансформаторных подсистем.

На формирование сложных диагностических выводов влияют дополнительные интегрированные модели – определение наиболее нагретой точки обмотки, оценка эффективности системы охлаждения, сложного содержания влаги в масле и в твердой изоляции и т. д. [1].

Диагностические отчеты по неподключенным подсистемам управляемого трансформатора классифицируются по интенсивности развития выявленных дефектов и степени их опасности для работы устройства. Такие недостатки перечислены в простом списке [2].

Вся необходимая информация о работе трансформатора, как первичная, так и специально обработанная, отображается на экране компьютера АРМ в цифровом виде и в виде стандартных светофоров состояния: «зеленый», «желтый», «красный», предназначенных для обслуживающего персонала. Специализированный диагностический персонал может провести глубокую многофакторную обработку диагностических тенденций и результатов.

Все системы мониторинга и диагностики трансформаторов, используемые в ТДМ, реализованы в виде отдельных модулей, соединенных общей информационной шиной. Каждый модуль представляет собой законченное техническое устройство, которое выполняет назначенную диагностическую задачу [2].

Таким образом, задача повышения надежности энергоснабжения потребителей может быть решена только путем увеличения эксплуатационных параметров элементов единой технологической цепочки, предназначенной для передачи электроэнергии, в том числе высоковольтных силовых трансформаторов. Как для вновь введенных в эксплуатацию трансформаторов, так и для тех, кто уже работает, это можно сделать с помощью систем непрерывного мониторинга и диагностики [2].

## Литература

1. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2018. 172 с.
2. Гурт В.В., Соколов В.В. Обследование силовых трансформаторов в эксплуатации // Электротехника. 1994. № 9. С. 43–45.
3. Климов А.Г., Козлов В.Р. Диагностическое оборудование и средства неразрушающего контроля для объектов энергетики // Энергетик. 2003. № 1. С. 42.
4. Конов Ю.С., Короленко В.В., Федорова В.П. Обнаружение повреждений трансформаторов при коротких замыканиях // Электрические станции. 1980. № 7. С. 46–48.
5. Строганов Ю.В. Мониторинг трансформаторного оборудования // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2008. № 2. С. 36–42.



## ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОБЪЕКТАХ ПРЕДПРИЯТИЯ

Ларионова И.С.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
irina\_larionova\_97@mail.ru  
Науч. рук. Валиуллина Д.М.

Исследована актуальность требований к качеству электроэнергии на предприятиях, принципиальное значение для улучшения качества электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий, а также для разработки рациональной системы управления качеством. Изложены основные требования к качеству электроэнергии на примере нового корпуса (Ангара № 4) для ремонта самолетов на территории КАЗ им. С.П. Горбунова – филиале ПАО «Туполев».

**Ключевые слова:** качество электроэнергии.

Под качеством продукции в ГОСТ 15467-79 понимается «совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением», т. е. потребительная стоимость продукции. На современном этапе развития электроэнергетики это определение качества, применительно к электрической энергии должно быть дополнено требованиями по обеспечению экономичности, эргономичности и эстетичности процессов, связанных с потреблением электроэнергии [2].

По требованиям к обеспечению надежности электроснабжения потребители ангара № 4 относятся:

– потребители системы пожарно-охранной защиты, электропривод ворот, эвакуационное освещение относятся к потребителям 1-й категории и составляют 7 %;

– потребители КНС и наружного освещения относятся к потребителям 3-й категории и составляют 3,4 %;

– остальные потребители ангара № 4 и блочно-модульной котельной относятся к потребителям 2-й категории и составляют 89,6 %.

Для питания противопожарных электроприемников по 1-й категории надежности электроснабжения предусмотрены шкаф 1АВР и распределительный щит ПЩ.

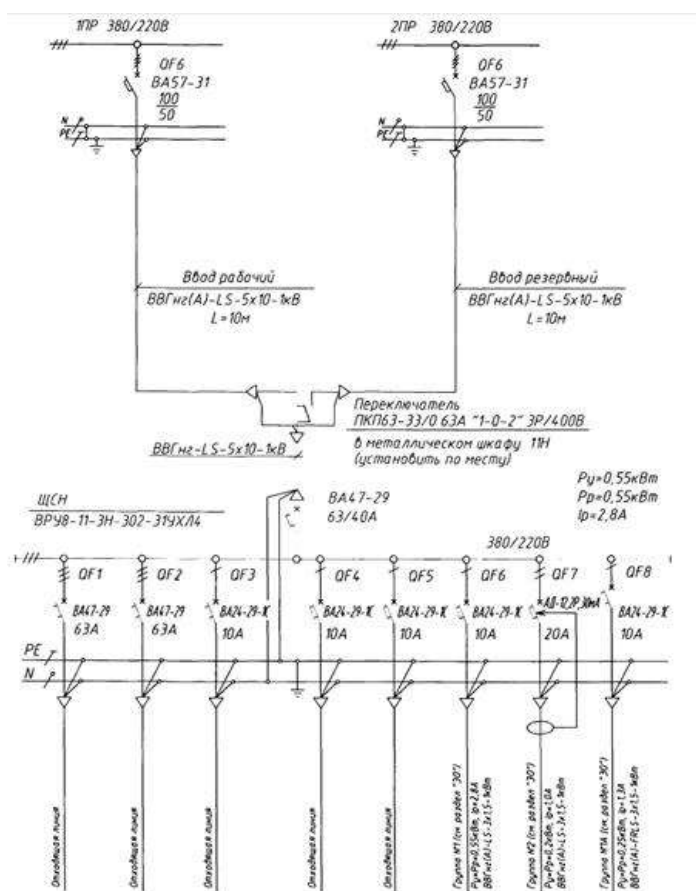
Напряжение питания принято:

– для питающей сети  $10 \text{ кВ} \pm 5 \%$ ;

– для силовых потребителей и электрического освещения  $380/220 \text{ В}$  с системой заземления TN-C-S.

Разделение совмещенных PEN-проводников на нулевые рабочие (N) и нулевые защитные (PE) проводники предусматривается в проектируемых распределительных шкафах, силовых и осветительных щитах [3].

Согласно ГОСТ 13109-97 для объекта установлены общепринятые показатели качества электроэнергии. Работа ангара № 4 осуществляется согласно нижеприведенной принципиальной схеме [1] (см. рисунок).



Система электроснабжения обладает более высокими качественными показателями, если, например, выше номинальное напряжение сети, ниже потери напряжения в сети, меньше колебания напряжения и частоты, вызываемые работой установок с резкопеременной нагрузкой; ниже уровень высших гармоник тока в сети, более благоприятны условия для монтажа, проще и более удобны условия эксплуатации, возможно осуществление расширения установки без значительных переустройств, что имеет важное значение при современных темпах развития производства.

## Литература

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. М.: Стандартинформ, 2006. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006034> (дата обращения: 30.01.2020).
2. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения [Электронный ресурс]. М.: Стандартинформ, 2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-15467-79> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Проектная документация. Система электроснабжения. 2016. 47 с.
4. Требования к качеству электроэнергии [Электронный ресурс]. URL: <https://leg.co.ua/> (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 621.314: 620.1

### ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИИ УСТРОЙСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОД НАГРУЗКОЙ

Лобанова Е.Н.<sup>1</sup>, Крюкова В.А.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>79196918258@mail.ru, <sup>2</sup>victoria131113@gmail.com

Устройство, регулирующее напряжение силовых трансформаторов под нагрузкой, по своей конструкции представляет собой сложный и зачастую недостаточно надежный узел силового трансформатора. С помощью переключающего устройства под нагрузкой (РПН) осуществляется изменение коэффициента трансформации под нагрузкой. На данном этапе развития электроэнергетики существует проблема повреждаемости устройств регулирования напряжения под нагрузкой. РПН связано большое количество отказов трансформаторов, поэтому проблема повреждаемости устройств регулирования напряжения силовых трансформаторов является очень актуальной.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, устройство, напряжение, повреждения, устройства регулирования, электроэнергия, дефекты, регуляторы.

До 40 % всех катастрофических аварий трансформаторов вызвано повреждением устройств РПН [1].

До относительно недавнего времени, несмотря на то, что некоторые силовые трансформаторы в электрических системах первоначально были оснащены устройствами регулирования напряжения под нагрузкой, энергетические компании неохотно использовали их в режим работы. В случае значительного изменения напряжения (например, из-за сезонных колебаний нагрузки) эти трансформаторы выводили из эксплуатации, производили необходимое переключение, а затем вновь вводили. Это происходило, главным образом, из-за относительно низкой надежности (по отношению к трансформатору в целом) коммутационных устройств, отсутствия устройств для диагностики состояния этих устройств и сложности измерения требуемых параметров [4].

С появлением более строгих требований к качеству электроэнергии (и, в частности, к уровню электрического напряжения в сети), компании, работающие в сфере энергетики, все чаще вынуждены использовать устройства регулирования напряжения под нагрузкой. Это создало спрос на подходящее диагностическое оборудование, и в результате появилось много различных инструментов и методов контроля устройства РПН [2].

Наиболее распространенными причинами повреждений являются дефекты контакторов, подгар контактов контакторных устройств, повреждение защитной мембраны и др.

На сегодняшний день на рынке профессионального оборудования для диагностики РПН трансформаторов существует немало приборов как российских, так и зарубежных производителей, отличающихся как методами, так и удобством контроля нормируемых параметров РПН. Часть приборов напрямую воспроизводят методы контроля РПН, прописанные в руководствах по эксплуатации, другие основаны на оригинальных разработках, не требующих подключения внешних резисторов или перемычек. Методы диагностики РПН трансформатора:

*Анализ газов.* Метод достаточно чувствителен к различным нарушениям контактов, приводящим к их перегреву. Ограниченная область применения: если масло РПН и трансформатора является общим, то однозначно указать на то, что имеются проблемы именно с контактами РПН нельзя. Кроме того, по анализу газов ничего нельзя сказать о механических дефектах привода.

*Виброизмерения.* Трансформатор всегда работает в условиях вибраций, которые можно рассматривать в качестве испытательного воздействия при выполнении вибрационных исследований. Это позволяет, не выводя трансформатор в ремонт, обнаружить проблемы, связанные с ослаблением или развинчиванием различных соединений, что позволяет

обнаружить дефекты на начальной стадии, не доводя трансформатор до аварии. Понимание спектра исправного устройства РПН и подходящая база спектров характерных повреждений требуется для правильного устранения неисправностей.

*Температурные измерения.* Температура различных частей трансформатора часто является первым признаком увеличенного сопротивления контактов. Эти измерения выполняются при работе трансформатора под нагрузкой. Невозможно определить состояние контактов, которые в данный момент не нагружены.

*Мощность.* По потребляемой мощности можно дать оценку положению пружин контактора, разному роду заедания привода и другим недостаткам, вызывающим увеличение или уменьшение потребляемой мощности электродвигателя. Зачастую ничего нельзя сказать об электрическом сопротивлении контактов.

*Измерение электрического сопротивления контактов.* Характеризует состояние контактов избирателей, предизбирателей и контактора. Измерения должны быть выполнены во всех положениях контактов избирателей и предизбирателя. Измерения выполняются как без вскрытия бака РПН путем измерения сопротивления обмоток трансформатора фаза-ноль или фаза-фаза, так и непосредственно путем подключения к контактам РПН.

*Снятие круговой диаграммы.* Безразборный контроль (без вскрытия крышки РПН): снятие временной диаграммы работы контактора быстродействующего РПН позволяет исследовать неисправность токоограничивающих резисторов РПН и рассчитать время переход контактора из одного положения в другое. Позволяет проверить отсутствие смещения неподвижных контактов избирателей, величину люфтов и т.д. Выявить ненормальность в работе реверсирующего контактора и предотвратить залипания контактов можно с помощью соотнесение моментов времени и позиций переключателя.

*Снятие временной диаграммы работы контакторов.* Отсутствие разрывов электрической цепи; длительность работы дугогасительных контактов в состоянии «мост»; длительность переключения между размыканием и замыканием дополнительных и дугогасительных контактов различных плеч, в течение которых случается гашение дуги анализируют с помощью полученных осциллограммам [5].

Таким образом, с учетом большой доли повреждаемости РПН актуальной проблемой стало диагностирование состояния РПН трансформатора. Существуют следующие методы контроля за состоянием РПН:

визуальный осмотр, виброизмерения, измерение электрического сопротивления контактов, снятие круговой диаграммы и т. д. Существующие способы контроля состояния РПН трансформатора не обеспечивают требуемой надежности электроснабжения, поэтому необходима разработка современных концепций диагностики состояния РПН, в которых учитывались бы конструктивные особенности устройства, срок и особенности эксплуатации, а также другие факторы.

### Литература

1. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов. М.: НЦ ЭНАС, 2003. 216 с.
2. Алексеев Б.А. Системы непрерывного контроля состояния крупных силовых трансформаторов // Электрические станции. 2000. № 8. С. 62-70.
3. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: учеб. пособие. М.: ИЦ «Академия», 2003. 176 с.
4. Козлов Д.Е. Диагностика изоляции на основе спектроскопии диэлектрических характеристик // Энергетик. 2002. № 11. С. 43.
5. Требования к качеству электроэнергии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/articles/sposobydiagnostiki-rpn-transformatorov.html> (дата обращения: 30.01.2020).

УДК: 621.314.21.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

Лыу Куок Кыонг  
ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань  
Науч. рук. Маклецов А.М.

Исследуются дополнительные потери от симметричных токов в трансформаторах; описываются методы и проблемы расчета потерь мощности в трансформаторах при несимметричных нагрузках в реальном времени. Внедрение указанных методов обеспечит снижение дополнительных потерь в электрических сетях.

**Ключевые слова:** трансформатор, несимметрия, прямая, обратная, нулевая последовательности, потери мощности, Активное сопротивление нулевой последовательности.

В сельских сетях 0,4 кВ с несимметричными нагрузками возникают потери мощности и электрической энергии от токов прямой последовательности (основные потери), а также потери от токов обратной и нулевой последовательности (потери от токов несимметрии), кроме того, возникают потери от несинусоидальных и реактивных токов. Потери от несимметричных токов относятся к дополнительным потерям, снижением которых в сельских сетях необходимо заниматься прежде всего.

Для определения дополнительных потерь разработаны критерии потерь мощности от несимметричных токов.

Потери мощности от несимметрии токов  $\Delta P_{\varepsilon}$  в трансформаторах и линиях трехфазных электрических сетей 0,4 кВ обусловлены токами обратной  $I_2$  и нулевой  $I_0$  последовательностей [1]:

$$\Delta P_{\varepsilon} = \Delta P_2 + \Delta P_0 = 3I_2^2 R_2 + 3I_0^2 R_0, \quad (1)$$

где  $I_2, I_0$  – симметричные составляющие токов обратной и нулевой последовательностей;  $R_2, R_0$  – активные сопротивления обратной и нулевой последовательностей трансформатора (линии);  $\Delta P_2, \Delta P_0$  – потери мощности обратной и нулевой последовательностей.

Потери мощности в трансформаторе при несимметричной нагрузке характеризуются критерием потерь мощности от несимметрии токов, равным отношению потерь от токов обратной и нулевой последовательности, к потерям от токов прямой последовательности:

$$K_{\varepsilon} = \frac{\Delta P_{\varepsilon}}{\Delta P_1}, \quad (2)$$

где  $\Delta P_1$  – потери мощности от токов прямой  $I_1$  последовательности:

$$\Delta P_1 = 3I_1^2 R_1, \quad (3)$$

где  $R_1$  – активное сопротивление прямой последовательности трансформатора (линии).

Подставляя в (2) выражения (1) и (3), получим:

$$K_{\varepsilon} = \frac{3I_2^2 R_2}{3I_1^2 R_1} + \frac{3I_0^2 R_0}{3I_1^2 R_1} = K_{2i}^2 \frac{R_2}{R_1} + K_{0i}^2 \frac{R_0}{R_1}. \quad (4)$$

Учитывая, что для трансформатора (линии)  $R_2 = R_1$ , выражение (4) запишется в следующем виде:

$$K_{\varepsilon} = K_{2i}^2 + K_{0i}^2 \frac{R_0}{R_1}, \quad (5)$$

где  $K_{2i}; K_{0i}$  – коэффициенты обратной и нулевой последовательностей токов, определяемые согласно [2] по соотношениям:

$$K_{2i} = \frac{I_2}{I_1}; K_{0i} = \frac{I_0}{I_1}. \quad (6)$$

Как видно из выражения (5), критерий потерь мощности от несимметрии токов  $K_{\varepsilon}$  зависит от квадратов коэффициентов несимметрии токов и соотношения активных сопротивлений нулевой  $R_0$  и прямой  $R_1$  последовательностей. Определив по формуле (5) критерий  $K_{\varepsilon}$ , а по формуле (3) потери от токов прямой последовательности  $\Delta P_1$ , можно определить потери мощности от несимметрии токов в трансформаторе (линии):

$$\Delta P_{\varepsilon} = K_{\varepsilon} \Delta P_1. \quad (7)$$

Чтобы определить критерий потерь мощности от несимметрии токов  $K_{\varepsilon}$ , надо рассчитать коэффициенты обратной  $K_{2i}$  и нулевой последовательностей токов [2].

Таким образом, критерий потерь  $K_{\varepsilon}$  является комплексным показателем несимметрии токов трансформатора или линии электропередачи, или целого участка электрической сети, сопротивление нулевой и прямой последовательностей которого учтены в формуле (5).

Формула (5) справедлива для силовых трансформаторов со схемами соединения обмоток  $Y/Y_H$ ,  $Y/Y_H CУ$ ,  $Y/Z_H$  и др. Она также применима для линий с изолированными проводами марки СИП с нулевым проводом.

Таким образом, для расчета потерь электроэнергии в трансформаторах при несимметричной нагрузке необходимо знание следующих параметров:  $I_1, I_2, I_0; R_1, R_2, R_0$ .

Определение первых пяти параметров в реальном времени при наличии существующих средств измерения и передачи информации затруднений не вызывает. Однако определение  $R_0$  расчетным путем не представляется возможным.  $R_0$  представляет из себя поперечное сопротивление намагничивания через стенки, крышку и стяжные болты трансформатора. Именно через эти элементы замыкаются магнитные



потоки нулевой последовательности. Значения  $R_0$  обычно отсутствуют в справочных данных по трансформаторам, однако их можно получить у заводов-изготовителей. Следует отметить, что  $R_0$  на заводах получают в результате измерений при номинальном токе нулевого провода. В электрических сетях ток в нулевом проводе зависит от степени несимметрии нагрузки.  $R_0$  поэтому зависит от степени магнитного насыщения вышеперечисленных конструктивных элементов трансформатора (аналогично трансформаторам тока).

Выводы:

1. Расчет потерь мощности и электроэнергии в трансформаторах при несимметричной нагрузке в реальном времени должен производиться с учетом изменений  $R_0$ .

2. Построение зависимостей  $R_0 = f(I_0)$  возможно в полевых условиях на реальных трансформаторах.

3. Необходима разработка методики и программного обеспечения для учета зависимости  $R_0 = f(I_0)$  при расчете потерь мощности в реальном времени.

## Литература

1. Башарин С.А., Федоров В.В. Теоретические основы электротехники: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИЦ «Академия», 2013. 384 с.

2. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке: монография / Ф.Д. Косоухов [и др.]; под общ. ред. Ф.Д. Косоухова. СПб.: Лань, 2016. 280 с.

3. Наумов И.В. Снижение потерь и повышение качества электроэнергии в сельских сетях 0,38 кВ с помощью симметрирующих устройств: дис. ... д-ра техн. наук. Иркутск, 2002. 387 с.

4. Косоухов Ф.Д., Васильев Н.В., Филиппов А.О. Снижение потерь от несимметрии токов и повышение качества электрической энергии в сетях 0,38 кВ с коммунально бытовыми нагрузками // Электротехника. 2014. № 6. С. 8–12.

5. Способ измерения потерь мощности от несимметричных токов в трехфазных трансформаторах и четырехпроводных линиях электропередачи: пат. 2599280 Рос. Федерация № 2015107414/28; заявл. 03.03.15; опубл. 27.09.16, Бюл. № 28.

6. Способ измерения симметричных составляющих токов и напряжений в трехфазных сетях: пат. 2574867 Рос. Федерация № 2013143451/28; заявл. 25.09.13; опубл. 10.02.16, Бюл. № 4.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Макаров В.Г.<sup>1</sup>, Валеев И.М.<sup>2</sup>, Талибуллин Р.Р.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

<sup>1</sup>electroprivod@list.ru, <sup>2</sup>ilgizvaleev@yandex.ru, <sup>3</sup>ruselmaster555@mail.ru

Предложено развитие комплексного подхода к совершенствованию метрологического и технического обеспечения средств измерений на основе оптимизации характеристик информационного канала, с учетом технических и структурных характеристик трансформатора тока и напряжения.

**Ключевые слова:** АСКУЭ, трансформатор тока и напряжений.

Как известно, информационные каналы работают при малых значениях рабочего тока и коэффициента мощности, а также в условиях несимметричных нагрузок и при других дестабилизирующих факторах [1]. Погрешности измерений электроэнергии, достигающих вплоть до  $\pm 10-15\%$ , становятся следствием неправильного выбора измерительных систем, счетчиков, их неправильная эксплуатация и недоучет влияющих величин.

Причем в системе учета электроэнергии используются трансформаторы тока [2] и трансформаторы напряжений [3] для измерения соответствующих параметров. Эти приборы имеют свойство со временем стареть. Вызвано это тепловым воздействием, а также влажностью, перенапряжениями и короткими замыканиями.

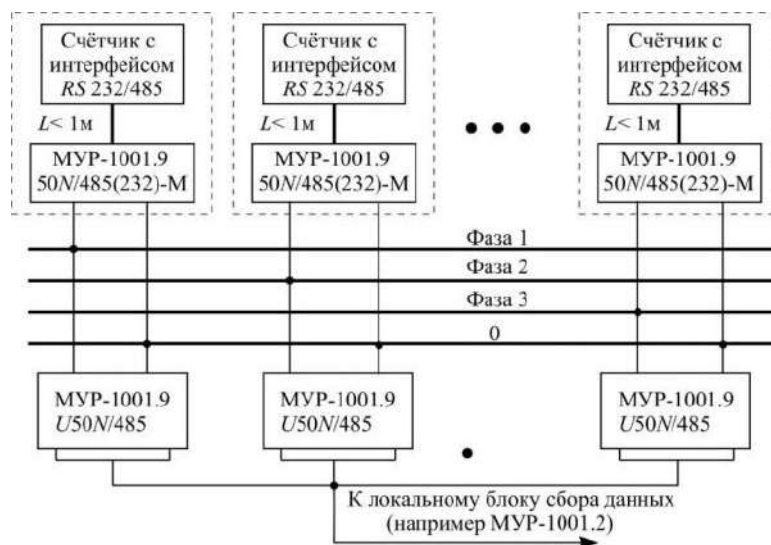


Схема сбора информации с применением силовых модемов

Прибор начинает давать неправильные показания потребления электрической энергии. В свою очередь это негативно сказывается на учете электроэнергии и в целом ухудшает работу измерительных систем.

Как видно на рисунке, при построении автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) со счетчиками электроэнергии, соединенных интерфейсом *RS232/RS485*, снятие данных в схеме сбора информации осуществляется с помощью силовых модемов, подключенных к счетчикам и модемам, которые установлены на каждую задействованную фазу [4].

Применение силовых модемов оптимизирует трафик по силовой сети. Это достигается за счет специальных драйверов, записываемых в модемы.

Переход к интеллектуальным сетям позволило прогнозировать потребление электроэнергии. Это увеличило надежность и эффективность, а также сильно повлияло на экономический эффект. Из всех методов прогнозирования выделился метод искусственных нейронных сетей.

Кроме того, счетчики подразделяются на одно- и многотарифные. Многотарифный счетчик учитывает 12 тарифных сезонов (по количеству месяцев) и разницу в потреблении между дневными и ночными часами. За счет этого экономия носит круглосуточный характер. Система докладывает в центральный штаб об уровне потребленного электричества и перерасходе энергии. Основываясь на их показаниях система сама регулирует лимит предоставляемой энергии и тарифные ставки [5].

## Литература

1. Тубинис В.В. Об актуальности разработок автоматизированных систем учета электроэнергии для бытовых потребителей / Метрология электрических измерений в электроэнергетике: матер. докл. 2-й науч.-практ. конф. М., 1999.
2. ГОСТ 7746-2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 20 с.
3. ГОСТ 1983-2001. Трансформаторы напряжения: Общие технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 26 с.
4. МИ 2539-99ГСИ. Измерительные каналы контроллеров, измерительно-вычислительных, управляющих, программно-технических комплексов. Методика поверки. М.: ВНИИМС, 1999. 7 с.
5. Валеев И.М., Макаров В.Г. Концепция управления цифровыми подстанциями будущего. Казань, 2019. С. 304–319.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ПОВЕРХНОСТИ ТОПЛИВА

Макаров В.Г.<sup>1</sup>, Валеев И.М.<sup>2</sup>, Газизьянов А.И.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

<sup>1</sup>electroprivod@list.ru, <sup>2</sup>ilgizvaleev@yandex.ru, <sup>3</sup>temagaz@bk.ru

Предложен метод математического моделирования, который дал представление о результатах определения электростатического потенциала статического электричества, возникающего при перекачке топлива. Показано влияние на возникновение статического электричества на поверхности жидкостных топлив таких параметров, как: удельное объемное и поверхностное сопротивления, продолжительность действия некомпенсированных зарядов, скорости накопления зарядов, зависимости напряженности электрического поля с определением электростатического потенциала.

**Ключевые слова:** статическая электризация, моделирование зарядки, перенесенный заряд, напряженность поля, движущиеся частицы.

В ходе технологических процессов, которые связаны с переработкой или получением горючих материалов, их электризация и возникающие разряды могут приводить к катастрофическим последствиям [1]. Возникновение и накопление электричества при перекачке или перемешивании (аэрации) топлива объясняется сосредоточением ионов на поверхности раздела фаз [2]. Опасность, обусловленная статическим электричеством (СЭ), вызвала необходимость разработки новых технологий и мероприятий по снижению влияния СЭ, и поэтому задача анализа и прогнозирования параметров СЭ в технологическом процессе является актуальной.

Упрощенная картина распределения зарядов в пограничной зоне жидкость – стенка трубопровода представлена на рис. 1.

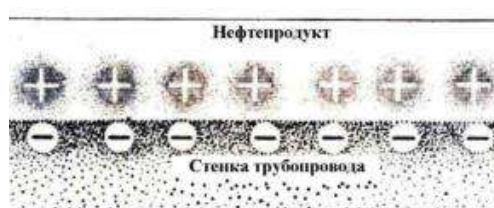


Рис. 1. Простейшая модель двойного электрического слоя

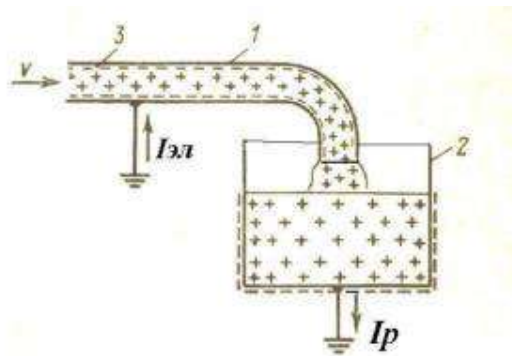


Рис. 2. Электризация жидкости при ее движении по трубопроводу со скоростью  $V$ :

$1$  – трубопровод;  $2$  – приемный резервуар;  $3$  – жидкость

Механизм электризации жидкости, движущейся по трубе, объясняется механическим разрушением этого слоя. При этом заряды одного знака остаются на стенке трубы, а заряды противоположного знака, находящиеся в объеме жидкости, увлекаются ее потоком и попадают в емкости различного назначения (резервуары, цистерны), в которые транспортируется жидкость [3]. Если трубу, по которой движется жидкость, изолировать от земли и подключить к измерителю тока, то последний зафиксирует его некоторое значение (рис. 2). Этот ток называется током электризации [4].

Ниже представлен пример определения тока электризации авиатоплива, имеющего электропроводность  $\gamma = 10$  пСм при прокачке с  $P = 1000$  л/мин ( $16,6 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с) через фильтр с толщиной фильтрации 5 мкм.

Несомый потоком жидкости заряды будут:

$$I = \pm \rho_v P, \quad (1)$$

где  $P$  – подача жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $\rho_v$  – объемная плотность избыточного заряда, Кл/м<sup>3</sup>:

$$\rho_v = e \sum c_i \cdot z_i, \quad (2)$$

где  $c_i$  – концентрация  $i$ -х ионов в диффузионной части двойного электрического слоя;  $z_i$  – валентность  $i$ -го иона.

С учетом значения объемной плотности избыточного заряда, получим:

$$I = \pm P \cdot e \sum c_i \cdot z_i, \quad (3)$$

Толщина диффузионного слоя в сильно разбавленных растворах составляет  $\sigma_{\text{диф}} = 10^2 \dots 10^3$ .

Подвижность ионов жидкости  $k = (0,3 \div 0,5) \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с.

Учитывая, что в углеводородах носителями заряда могут являться образования диссоциированных растворенных веществ, состоящие из нескольких нейтральных молекул и одного или нескольких ионов, значение подвижности принимаем на порядок меньше:  $k = 0,005 \cdot 10^{-8}$ .

Ток электризации топлива в фильтре А равен:

$$I = 16,6 \cdot 10^{-3} \cdot (10 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-7} / 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-8} \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}) = 6,64 \cdot 10^{-6}.$$

При ламинарном течении жидкости через пористую перегородку подача жидкости определяется следующим образом:

$$P = k_{\text{пр}} \cdot S_1 \cdot (\Delta P_g / \nu b), \quad (4)$$

где  $\Delta P_g$  – перепад давления жидкости на пористой перегородке;  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент проницаемости, характеризующий пористую перегородку толщиной  $b$ ;  $\nu$  – динамическая вязкость жидкости.

Подставив значение подачи жидкости в выражение (3), получим:

$$I = \pm e \cdot k_{\text{пр}} \cdot S_1 \cdot (\Delta P_g / \nu \cdot b) \cdot \sum c_i \cdot z_i, \quad (5)$$

или

$$I = e \cdot \alpha \cdot A \cdot k_{\text{пр}} \cdot S_1 \cdot (\Delta P_g \cdot c_b \cdot r_{\text{ср}}^2 / \nu \cdot b \cdot \mu \cdot \sigma \cdot (2r_{\text{ср}} - \sigma)). \quad (6)$$

Зависимости (5) и (6) показывают, что ток электризации в фильтрационной перегородке прямо пропорционален перепаду давления на ней:

$$I = k \cdot \Delta P_g, \quad (7)$$

где  $k = e \cdot \alpha \cdot A \cdot k_{\text{пр}} \cdot S_1 \cdot (c_b r_{\text{ср}}^2 / \nu \cdot b \cdot \mu \cdot \sigma \cdot (2r_{\text{ср}} - \sigma)) = \text{const}$ .

Коэффициент  $k$  может быть определен экспериментально путем непосредственных измерений  $I$  и  $P$ . При известном  $k$  расчет электризации в фильтрах проводится по формуле (4), что позволяет легко прогнозировать электризацию жидкостей в любых режимах при прокачке через данный фильтрационный материал.

## Литература

1. Тэнэсеску Ф., Крамарюк Р. Электростатика в технике. М.: Энергия, 1980. 296 с.
2. Статическое электричество в химической промышленности / Б.Г. Попов; под ред. Б.И. Сажина. Л.: Химия, 1977. 240 с.
3. Таубкин И.С. Общие сведения о статическом электричестве в некоторых производственных операциях с нефтепродуктами // Теория и практика судебной экспертизы. 2018. Т. 13, № 2. С. 54–64.
4. Максимов Б.К., Обух А.А. Защита от статического электричества в промышленности: учеб. пособие. М.: МЭИ, 1982. 69 с.

УДК 621.3.013

### АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ БУСТЕРНЫМИ КОНВЕРТОРАМИ

Макаров В.Г.<sup>1</sup>, Валеев И.М.<sup>2</sup>, Нургалиев А.И.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

Предложена более эффективная методика для повышения показателей качества электроэнергии в лабораторных установках, также в работе приведена методика повышения ПКЭ с устранением гармонических составляющих, вносимых импульсными источниками тока с помощью разработанного нами бустерного конвертора.

**Ключевые слова:** методы улучшения показателей качества электроэнергии, разработка рекомендации компенсации гармоник, бустерный конвертор.

В настоящее время все более важным становится обеспечение высоких показателей качества электроэнергии (ПКЭ) для промышленных и бытовых потребителей. Постоянно растущее число потребителей, связанное с нетрадиционными импульсными источниками электроэнергии (ветроустановки, солнечные батареи), импульсные источники питания, приводит к снижению основных показателей ПКЭ, таких как отклонения напряжения, синусоидальности, наличие гармонических составляющих [1]. Наши экспериментальные исследования качества электроэнергии в сетях

до 1 кВ показали отклонения от нормативных значений по ГОСТ 32144-2013 [2]. В результате этого увеличились потери электроэнергии и ухудшение нормальной работы лабораторных электроустановок является актуальной проблемой [3].

В нашей работе сделаны подходы к совершенству и улучшению ПКЭ в сети с параллельно включенными люминесцентными лампами, в основе которых использованы высокочастотные генераторы.

Схема пуска (рис. 1) состоит из динистора, сопротивления  $R_6$ , конденсатора  $C_2$  и диода  $D_1$ . Функцию защиты выполняют сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ , а также диоды  $D_2$  и  $D_3$  [4]. Типичные формы напряжения и тока, полученные от ламп фирмы Philips 4 Вт, 5 и 7 Вт, показаны на рис. 2.

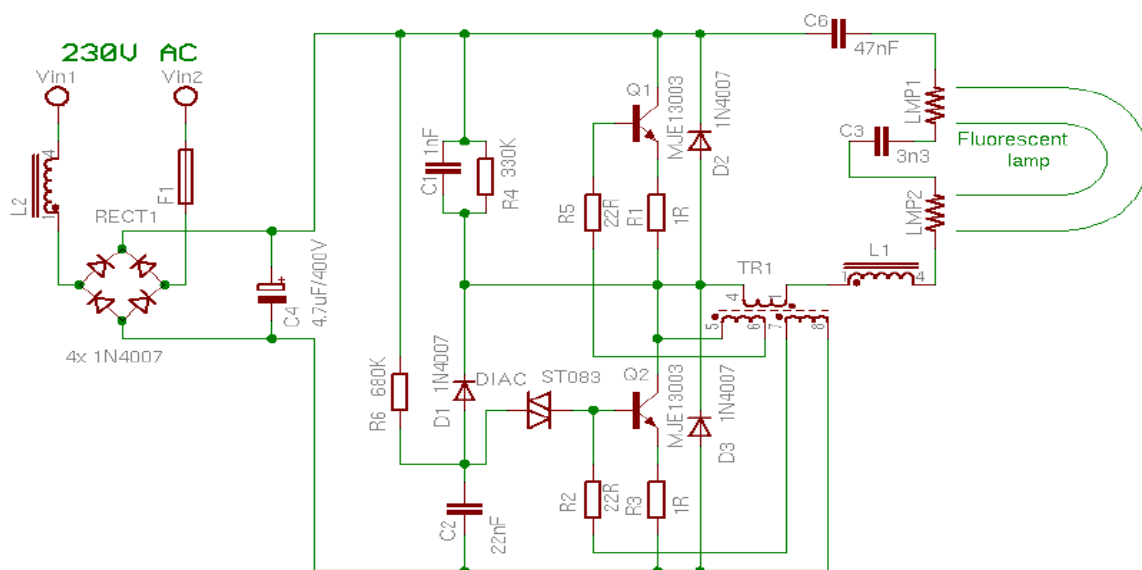


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема Philips

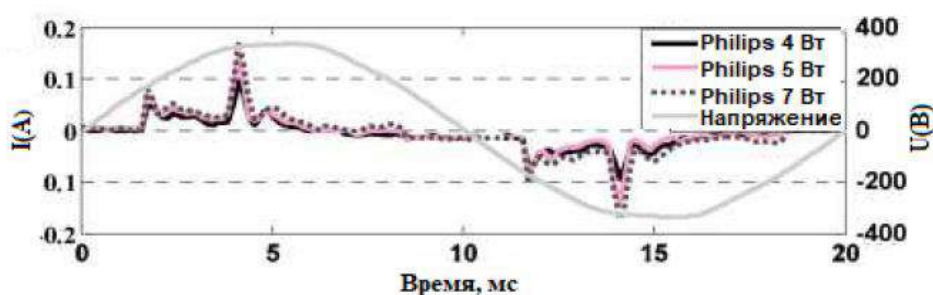


Рис. 2. Сигналы тока и напряжения ламп Philips

В разработанной нами методике бустерного конвертора для снижения гармоник тока и повышения коэффициента мощности применяется его активная коррекция с помощью так называемого



корректора коэффициента мощности. Этот прибор представляет собой самостоятельный преобразователь напряжения, так называемый бустерный конвертер, снабженный специальной схемой управления.

С использованием математического пакета MathLab Simulink для моделирования сети с компактной люминесцентной лампой и вспомогательного преобразователя (рис. 3) были смоделированы осциллограммы кривой тока.

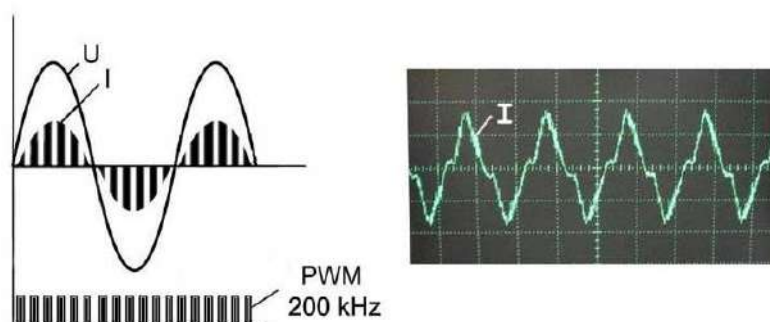


Рис. 3. Форма тока и сдвиг фаз в энергосберегающей лампе, снабженной бустерным конвертером

Вывод:

1. Предложенная методика позволяет контролировать и улучшать ПКЭ и устраняет потерю мощности в сети, тем самым увеличивает экономическую эффективность в сети энергоснабжения.

2. Разработанная схема бустерного конвертора полностью удовлетворяет всем требованиям и способна защитить энергетическую систему от помех и влияний нелинейной нагрузки.

### Литература

1. Валеев И.М., Макаров В.Г. Общая электроэнергетика: учеб. пособие. Казань: Изд-тво КНИТУ, 2017. 2210 с.

2. Валеев И.М. Современные аспекты развития энергетики: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2011. 401 с.

3. Абдуллазянов Э.Ю., Валеев И.М., Зарипов Д.К. «Умные» электрические сети: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. 131 с.

4. Воробьев А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем. М.: Эко-Трендз, 2002. 280 с.

5. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДИАГНОСТИКИ РПН СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Маклецов А.М.<sup>1</sup>, Галиев И.Ф.<sup>2</sup>, Галиев Р.И.<sup>3</sup>, Жылдызбекова С.Ж.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Mac.am@mail.ru, <sup>2</sup>esis.kgeu@bk.ru, <sup>3</sup>galievi.f@yandex.ru, <sup>4</sup>s.zhyldyzbekova@yandex.ru

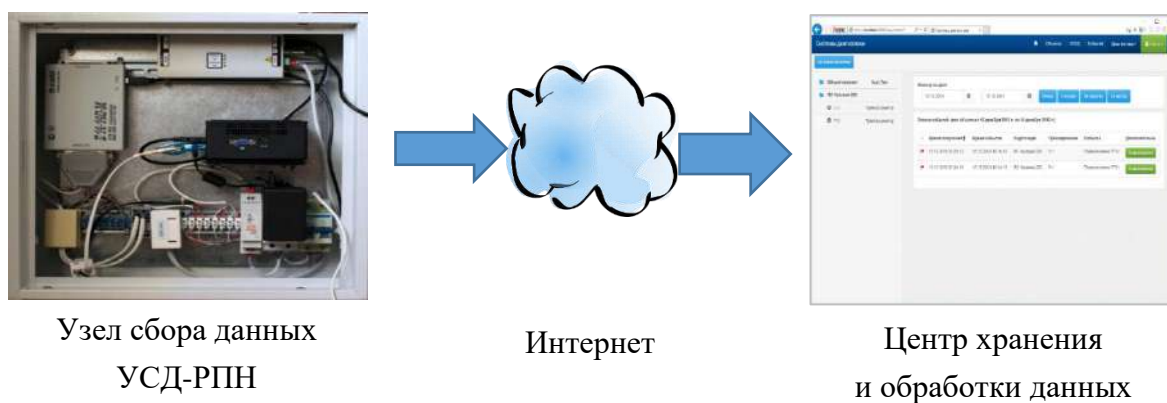
Рассмотрена целесообразность применения системы диагностики состояния РПН трансформаторов в реальном времени. Около 25 % отказов силовых трансформаторов приходится на отказы РПН. В то же время авария РПН может привести к серьезному повреждению трансформатора в целом, в крайнем случае – к пожару и взрыву. Особенно часто отказывают РПН при автоматическом регулировании напряжения. Такое регулирование необходимо для обеспечения должного качества электроэнергии и снижения ее потерь (в соответствии с РД 34.46.501 РПН трансформаторов с блоками автоматического управления привода должны постоянно находиться в работе для регулирования напряжения в центрах питания) [1].

Высокая вероятность повреждения трансформаторов привела к необходимости вывода из работы устройств автоматического регулирования напряжения (АРН) на многих трансформаторах. Указанная ситуация не позволяет оптимизировать напряжения на шинах 6–10 кВ подстанций, исключая активно-адаптивный элемент интеллектуальных электрических сетей из системы – РПН [2].

**Ключевые слова:** РПН, узел сбора данных УСД-РПН, система мониторинга, диагностика состояния РПН, автоматическое регулирование напряжения (АРН).

Современные средства сбора и передачи информации позволяют контролировать параметры работы РПН при производстве переключений с одного ответвления на другое и делать оценку состояния РПН. Такая оценка позволит осуществлять ревизию устройств РПН по мере необходимости, что существенно повысит надежность его работы. Стоит отметить, что проведение планового ремонта без предварительной диагностики трансформатора зачастую приводит к бессмысленной трате денег. Намного более эффективным решением будет провести диагностику, определив, нужен ли ремонт РПН.

Система диагностики состояния РПН трансформаторов в реальном времени представляет собой программно-аппаратный комплекс, построенный по двухуровневой схеме (см. рисунок), на уровне объектов находится оборудование, обеспечивающее непосредственный сбор данных с систем РПН трансформаторов – узел сбора данных УСД-РПН и комплект измерительных датчиков. На верхнем уровне находится центр хранения данных и их обработки – сервер системы диагностики. Именно на верхнем уровне работают алгоритмы оценки состояния РПН.



Структура системы диагностики РПН.

В реальном времени системой диагностики состояния РПН будут измеряться параметры, реализованные в существующих системах мониторинга трансформаторов:

- ток двигателя привода будет измеряться и записываться постоянно с перезаписью в течение нескольких секунд даже при отсутствии тока;
- вибрации при переключениях;
- температура наружного воздуха;
- осциллографирование коммутируемых токов (сравнение характера коммутируемых токов с изначальным в заведомо исправном устройстве РПН) позволит, по мнению разработчиков, оценивать состояние контактов и резисторов (сравнение характера текущих коммутируемых токов с изначальным в заведомо исправном устройстве РПН);
- осциллографирование фазных напряжений на стороне 10 кВ трансформатора при переключениях позволит судить о синхронности пофазной работы РПН;
- контроль температуры в шкафу привода РПН (по желанию заказчика) позволит судить об исправности устройств подогрева привода.

На данный момент мировая промышленность предлагает комплексные решения по диагностике силовых трансформаторов:

- система диагностики MS2000 (Alstom);
- системы T-Monitor и ТЕС, разработанные компанией АВВ (институт STRI);
- российская комплексная система мониторинга трансформаторного оборудования – Transformer Diagnostics Monitor TDM (компания «Вибро-Центр»).

Все эти системы мониторинга основаны на двух уровнях диагностики: первый определяет любые существенные изменения в измеренных величинах на основе сравнения с предыдущими измерениями, второй производит более точный анализ состояния и позволяет определить возможный отказ (например, из-за износа контактов, положения контактов, возникновения дуги или неисправности двигателя).

В отличие от перечисленных выше систем, разработанный прототип АПК имеет ряд принципиальных отличий:

1) невысокая стоимость – разработанный прототип отличается узкой направленностью и не входит в комплексную систему диагностики трансформаторов (от 1,5 млн руб. за TDM), которую целесообразно использовать только на мощных трансформаторах;

2) функция осциллографирования коммутируемых фазных токов и напряжений на низкой стороне трансформатора, что дает возможность получения дополнительной информации о работе РПН (см. выше);

3) уникальное программное обеспечение на верхнем уровне.

Эффективность предлагаемой работы будет определяться следующими факторами: выявлением дефектов и отказов РПН на ранней их стадии развития; снижением затрат на восстановительные работы после отказов трансформаторов; уменьшением величины недоотпуска электроэнергии потребителям.

## **Литература**

1. Economical aspects and practical experiences of power transformer on-line monitoring / P. Boss [et al.] // CIGRE 2000. Rep. No. 12–202.

2. Experienced-based Evaluation of Economic Benefits of On-line Monitoring Systems for Power Transformers / S. Tenbohlen [et al.] // CIGRE 2000. Rep. № 12–110.

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРОВЕДЁННЫХ РЕМОНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА**

Миннигареев В.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
vlad.minnigareev@yandex.ru  
Науч. рук. Гарифуллин М.Ш.

Энергетическая безопасность и надежность электроснабжения промышленных предприятий во многом определяются работой силовых трансформаторов, обеспечивающих согласование комплекса генерирующего оборудования с системой передачи электроэнергии, и преобразование ряда параметров электроэнергии в требуемые для дальнейшего ее использования. Высокая степень износа трансформаторов создает потенциальную опасность, как для потребителей, так и для обслуживающего персонала.

По статистике в России большинство трансформаторов находится к эксплуатации уже более 25 лет, несмотря на то, что установленный ГОСТом срок службы – 25 лет.

В настоящее время нет предпосылок к тенденции обновления трансформаторного парка предприятий. Это связано с дороговизной оборудования. Ремонтировать имеющееся оборудование на порядок дешевле. С каждым годом эксплуатационный ресурс оборудования понижается, а вероятность серьезного повреждения, которое может привести к недоотпуску электроэнергии и увеличению потерь с убытками, возрастает.

В связи с этим актуальной является разработка метода прогнозирования отказа трансформатора на основе данных о проведенных ремонтах.

**Ключевые слова:** трансформатор, ИТС, ремонт, обмотки, повреждения, неисправности, срок службы.

На практике существует множество причин, которые приводят к отказу работы трансформаторов. Основные из них – отказ РПН и отказ вводов.

При неисправности неизбежен выход за допустимые пределы хотя бы одного из четырёх параметров: напряжения, силы тока, мощности или частоты [1].

В случае, если повреждение серьезное и оно или его последствия могут привести к необратимому влиянию на будущую эксплуатацию трансформатора, его ремонтируют с выемкой активной части. Такой ремонт называется капитальным.

При менее существенных повреждениях проводят ремонт без выемки активной части, который называется текущим ремонтом. Его проводят по мере необходимости, но не реже одного раз в три года.

Капитальный ремонт делают через 6 лет после ввода в эксплуатацию, а в дальнейшем – по мере необходимости [1].

Существует три основных признака неисправности трансформатора:

1) увеличение потребления тока может свидетельствовать о старении изоляции. Об этом же может говорить потребность в более частой замене масла;

2) повышение температуры может свидетельствовать о том, что произошло замыкание магнитного провода;

3) странный шум, жужжание, гудение – всё это может свидетельствовать о том, что прессовка магнитного провода ослабла.

Статистические данные свидетельствуют о том, что существует вероятность повторного отказа трансформатора после проведённого ремонта, в том числе по той же причине, из-за которой и был проведён ремонт.

В настоящее время сетевые и генерирующие компании оценивают реальное состояние трансформатора с помощью индекса технического состояния (ИТС).

Так, расчет индекса технического состояния функциональных узлов и обобщенного узла (ИТСУ) осуществляется по следующей формуле [2]:

$$\text{ИТСУ} = 100 \cdot \sum i(\text{КВ}_i + \text{ОГП}_i) / 4,$$

где  $\text{КВ}_i$  – значение весового коэффициента для  $i$ -й группы параметров технического состояния [2];  $\text{ОГП}_i$  – балльная оценка  $i$ -й группы параметров технического состояния, определенная в соответствии с минимальной балльной оценкой [2].

При этом диапазоны балльной оценки характеризуют качественную оценку параметров технического состояния функциональных узлов и общих параметров технического состояния, не относящихся к функциональным узлам, и соответствующий уровень выполнения требуемых функций. Итоговую балльную оценку устанавливают специалисты на основе внешнего осмотра оборудования.

Как видно из формулы и пояснений к ней, определение индекса технического состояния носит, зачастую, субъективный характер, а получившееся числовое значение ИТС – результат использования эмпирической функции.

Таким образом, для оценки реального состояния трансформатора требуется уточнение формулы определения ИТС, в которой бы нашли отражение ранее проведённые ремонты, их давность и характер повреждений.

Для достижения поставленной цели будут проанализированы данные по ремонтам трансформаторного оборудования в филиалах ОАО «Сетевая компания» за 10-летний период.

Уточнение формулы определения ИТС внесёт ясность в отображение реального состояния оборудования и позволит предупредить его возможный выход из строя, а значит – решить проблемы с недоотпуском и параметрами качества электроэнергии.

### Литература

1. Сборник решений и циркуляров Главтехуправления за 1988 год (Электротехническая часть). М.: СПО Оргрэс, 1991. 288 с.

2. О комплексном определении показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства, и порядка осуществления мониторинга таких показателей [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 19 декабря 2016 г. № 1401. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 27.02.2020).

3. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Норматика, 2019. 464 с.

УДК 621-315.6

## АНАЛИЗ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В СВЯЗИ С ПОВРЕЖДЕНИЕМ ИЗОЛЯТОРОВ

Назмиева З.К.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
zilya.96@mail.ru  
Науч. рук. Гарифуллин М.Ш.

Проведен анализ аварийных отключений, которые произошли на электросетевых предприятиях Республики Татарстан за последние два года на воздушных линиях 110 кВ и 220 кВ. В целях обеспечения надежной работы воздушных линий и повышения качества оказания услуг по передаче электрической энергии предложены мероприятия для снижения аварийных отключений.

**Ключевые слова:** изолятор, электрические потери, физический износ, аварийное отключение.

Поврежденные изоляторы могут повлиять на механические и электрические характеристики электрической сети, что может привести к протеканию токов утечки. Это увеличивает электрические потери и создает риск для безопасности человека. В электрической сети пробой, вызванный дефектом изолятора, оказывает значительное влияние на передачу и распределение электроэнергии. Таким образом, крайне важно своевременно контролировать состояние и обнаруживать дефектных изоляторов.

В основном часть воздушных линий 110–220 кВ Республики Татарстан построена со второй половины 1950-х гг. Износ и старение основных фондов является серьезной проблемой для энергетической системы. Стоит иметь в виду, что нормы проектирования 30–40 лет назад отличались от современных нормативных документов. В основном существующие решения по проектированию воздушных линий не всегда соответствуют современным требованиям обеспечения надежности. Одним из основных факторов нарастания числа отключений воздушных линий является ухудшение технического состояния электрических сетей.

Уровень физического износа объектов электросетевого хозяйства ОАО «Сетевая компания» (см. таблицу) с разбивкой по уровням напряжения и по типам оборудования, а также динамика по отношению к году, предшествующему отчетному, заполняется в произвольной форме и выражается в процентах по отношению к нормативному сроку службы объектов.

**Уровень физического износа объектов электросетевого хозяйства  
ОАО «Сетевая компания» в период с 2017 по 2018 гг.**

Объекты ОАО «Сетевая компания»	Физический износ за 2017 г., % (данные на 01.01.2018)	Физический износ за 2018 г., % (данные на 01.01.2019)	Динамика изменения показателя, %
ПС 220	55,1	55,7	1,08
ПС 110	67,5	68,0	0,72

По итогам анализа причин отключений, которые произошли на электросетевых предприятиях Татарстана в период с 2017 по 2019 гг., 541 повреждение воздушных линий 110 кВ и 220 кВ связано с повреждением изоляторов.



На воздушных линиях 110 кВ выявлено 475 отключений (рис. 1). Причинами аварийных отключений являются: атмосферные перенапряжения (12 %), ветровые нагрузки (8 %), недостатки конструкции (19 %), воздействие животных и птиц (1 %), несвоевременное выявление и устранение дефектов (10 %), невыявленные причины (15 %), прочие воздействия неблагоприятных природных явлений (6%), прочие нарушения (29%).



Рис. 1. Диаграмма процентного соотношения причин отключений на воздушных линиях 110 кВ в связи с повреждением изоляторов в период с 2017 по 2019 гг.

На воздушных линиях 220 кВ выявлено 66 аварийных отключений, (рис. 2), из них: атмосферные перенапряжения (18 %), ветровые нагрузки (10 %), недостатки конструкции (18 %), несвоевременное выявление и устранение дефектов (11 %), невыявленные причины (6 %), прочие воздействия неблагоприятных природных явлений (14 %), прочие нарушения (23 %).



Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения причин отключений на воздушных линиях 220 кВ в связи с повреждением изоляторов в период с 2017 по 2019 гг.

В процессе эксплуатации возникает большой процент невыявленных причин отказов изоляторов. К ним можно отнести старение и износ изоляторов, ложную работу автоматики, гололед и многое другое. В целях обеспечения надежной работы воздушных линий и повышения качества оказания услуг по передаче электрической энергии могут быть предложены следующие мероприятия: механическая расчистка трасс воздушных линий от дикорастущей растительности и вырубка деревьев, угрожающих падением на провода, тепловизионное обследование воздушных линий, комплексное обследование технического состояния высоковольтных линий, диагностическое испытание силовых кабельных линий.

### Литература

1. Сурба А.С. Расследование и анализ технологических нарушений в работе энергообъектов: учеб. пособие. М.: ОАО РАО ЕЭС России, 2005.
2. Раскрытие информации в соответствии с постановлением Правительства РФ от 21.01.2004 № 24 [Электронный ресурс]. URL: <https://gridcom-rt.ru/potrebitelyam/raskrytie-informatsii-subektami-optovogo-i-roznicnogo-rynkov/> (дата обращения: 10.02.2020).

УДК 621-315.6

## КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИЗОЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ МИКРОВОЛНОВОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

Назмиева З.К.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[zilya.96@mail.ru](mailto:zilya.96@mail.ru)

Науч. рук. Гарифуллин М.Ш.

Описывается возможность применения микроволновой рефлектометрии для мониторинга уровня загрязнения в изоляторах. Благодаря своевременному и эффективному контролю состояния изоляторов можно снизить частоту аварийных ситуаций и экономические затраты.

**Ключевые слова:** изолятор, микроволновая рефлектометрия, загрязнение изолятора.

Исправное состояние изоляторов – одно из важных составляющих в процессе бесперебойной передачи электроэнергии. Повреждаемость различных типов изоляторов по сей день остается достаточно важной

отраслевой проблемой. Несоблюдение условий эксплуатации и воздействие окружающей среды негативно сказывается на состоянии изоляторов наружной установки. В связи с этим все большее внимание уделяется проблеме испытаний изоляторов в различных погодных условиях, как фактору, существенно определяющему пригодность различных изоляторов для эксплуатации в районах с той или иной степенью загрязнения. Благодаря своевременному и эффективному контролю состояния изоляторов можно снизить частоту аварийных ситуаций и экономические затраты.

Контроль осуществляется посредством испытаний с последующей оценкой состояния изоляторов и принятием решения о целесообразности их дальнейшей эксплуатации. Во время диагностики изоляторов должны использоваться приборы, обладающие высокой чувствительностью в жестких условиях эксплуатации. Так как изоляторы могут быть загрязнены не только дождем, туманом, а еще хлоридом натрия, в форме морской воды, промышленными загрязнителями т. д. Накопление поверхностного загрязнения на изоляторах может привести к увеличению тока утечки и частичному разряду, что в конечном итоге приводит к пробое. Для решения этих проблем в тезисе рассматривается метод мониторинга, основанный на микроволновой рефлектометрии.

Рефлектометр – это микроволновая схема, способная передавать микроволновый сигнал с определенной частотой и поляризацией и принимать последующий отраженный сигнал. Выходной сигнал рефлектометра способен четко различать образцы с различными уровнями загрязнения. Микроволновый сигнал, генерируемый передатчиком, отражается на интересующем интерфейсе. Отраженный сигнал обнаруживается приемником. Свойства отраженного сигнала, такие как величина, временная задержка и уровень мощности, содержат информацию, касающуюся объекта. Загрязненный слой на изоляторе отражает другой уровень электромагнитной энергии по сравнению с чистым изолятором при том же микроволновом освещении. Таким образом, уровень загрязнения на поверхности изолятора можно определить путем измерения уровня принятой мощности отраженного сигнала. Теоретическая модель устанавливает связь между уровнями эквивалентной плотности солевых отложений, диэлектрическими свойствами и геометрией слоев загрязнения. На рисунке изображена структурная схема предлагаемой модели системы, связывающая выходы приемника с эквивалентной плотностью солевых отложений на поверхности изолятора.



Теоретическая модель применения рефлектометрии  
для контроля загрязнения изолятора

Модель смешения по диэлектрическим свойствам оценивает комплексную удельную емкость и проницаемость слоя загрязнения изолятора в зависимости от солености, температуры окружающей среды и влажности. Модель конечных разностей во временной области использует для оценки сложной геометрии антенн, изолятора и слоя загрязнения. Модель приемника рассчитывает выходное напряжение приемника, которое обратно пропорционально отраженной мощности.

Контроль с помощью микроволнового рефлектометра обеспечивает основу для будущих исследований по разработке онлайн-системы мониторинга загрязнения изолятора, которая эффективна в сухих условиях. Оценка коэффициента отражения микроволн от загрязненного слоя изолятора может дать возможность более адекватного восстановления параметра слоя с помощью дистанционного зондирования. Влияние шероховатости поверхности и положения антенн еще предстоит изучить. Поскольку система также получает энергию, отраженную от других объектов в окружающей среде, для тестирования на месте необходим шумоподавляющий метод.

## Литература

1. Данилин А.А., Лавренко Н.С. Измерения в радиоэлектронике: учеб. пособие. / под ред. А.А. Данилина. СПб.: Лань, 2017. 408 с.
2. Отражение микроволн *L*-диапазона от снежного покрова / П.Н. Дагуров [и др.] // Вестник СибГАУ. 2013. № 5 (51). С. 120–123.

3. Ломухин Ю.Л., Атутов Е.Б., Бутуханов В.П. Моделирование радиолокационного отражения в граничащих средах с учетом вынужденных встречных волн // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 2-4. С. 465–470.

4. Сурба А.С. Расследование и анализ технологических нарушений в работе энергообъектов: учеб. пособие. М.: ОАО «РАО ЕЭС России», 2005.

5. Kharkovsky S., Zoughi, R. Microwave and millimeter wave nondestructive testing and evaluation-Overview and recent advances // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2007. Vol. 10, Is. 2. Pp. 26–38.

УДК 621.315.1

## ЛОКАЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КАБЕЛЬНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Писковацкий Ю.В.<sup>1</sup>, Касимов В.А.<sup>2</sup>, Минкин А.С.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>yura\_kazan@mail.ru, <sup>2</sup>vasilkasimov@yandex.ru, <sup>3</sup>cntnur\_mn@mail.ru

Науч. рук. Минуллин Р.Г., Филимонова Т.К.

Обсуждаются методы определения расстояния до места повреждения (ОМП), применяемые на кабельных линиях (КЛ) и воздушных линиях (ВЛ) электропередачи. Рассматриваются особенности локационного метода одностороннего зондирования. Приводятся экспериментальные и модельные рефлектограммы линий электропередачи, подтверждающие высокую точность определения расстояния до места повреждения локационным методом. Исследования выполнены в полевых условиях на действующих КЛ 6(10) кВ и ВЛ 110 кВ «Рыбная Слобода–Камская».

**Ключевые слова:** локационный метод, определение расстояния до места повреждения, кабельные и воздушные линии электропередачи, рефлектограммы.

В настоящее время разработано большое количество различных методов и технических средств ОМП, которые подразделяются на дистанционные и топографические [1]. Дистанционные позволяют указывать предполагаемое расстояние до места КЗ от шин подстанции. Топографические методы подразумевают уточнение места повреждения с помощью переносных устройств при движении по трассе КЛ или ВЛ либо с помощью стационарных устройств, установленных вдоль трассы ВЛ.

Наибольшей точностью среди дистанционных методов ОМП обладает группа импульсных методов [1]. Предельная погрешность импульсных методов в основном определяется частотными характеристиками (АЧХ и ФЧХ) измерительного канала и частотой дискретизации. Слабая зависимость локационных методов от параметров контролируемых линий гарантирует их высокую точность. Поэтому локационные методы эффективно применяются для ОМП кабельных и воздушных линий электропередачи (ЛЭП).

Можно выделить следующие особенности ОМП КЛ:

- имеют небольшие протяженности (не более 25 км);
- зондирование осуществляется в отключенном от питания состоянии;
- затухание обычно не превышает 5,5 дБ;
- имеют линейную конфигурацию;
- около 30 % повреждений приходится на соединительные и концевые муфты и заделки, остальные повреждения происходят на «целых» местах кабеля [2].

Применение топографических методов на КЛ (индукционных или акустических) требует прожига кабеля высоковольтным напряжением для создания токового пути через место повреждения с последующим контролем эффективности процедуры прожига локационным методом.

Локационный метод основан на отражении зондирующего сигнала от неоднородностей волнового сопротивления КЛ, поэтому данный метод позволяет определять расстояние до множественных дефектов КЛ, обнаруживать муфты и определять повреждения жил, а также оболочки кабеля.

Определение места кабельной муфты на линии и нахождение места повреждения оболочки кабеля иллюстрируются на рис. 1.

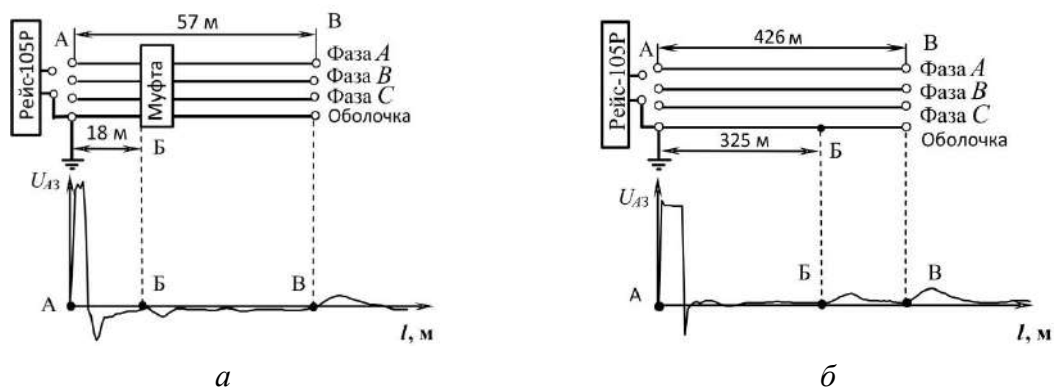


Рис. 1. Определение места кабельной муфты (а) и места повреждения оболочки кабеля (б) методом локационного зондирования

При подключении рефлектометра по схеме «фаза – земля» к началу линии на рефлектограммах хорошо идентифицируется конец линии в т. *В*, что подтверждается наличием отраженного от конца линии импульса положительной полярности. В т. *Б* на рис. 1, *а* на расстоянии 18 м от начала линии виден импульс отрицательной полярности, соответствующий месту нахождения соединительной муфты, а на рис. 1, *б* на расстоянии 325 м – импульс положительной полярности, соответствующий месту нахождения дефекта оболочки кабеля.

В полевых условиях были выполнены многочисленные исследования по обнаружению локационным зондированием повреждений различных видов на КЛ и ВЛ напряжением 6–220 кВ ОАО «Сетевая компания», а также проведено моделирование в программной среде PSCAD. Результаты рефлектометрии и моделирования в случаях КЛ и ВЛ удовлетворительно совпадают.

В качестве примера на рис. 2 приведены результаты обнаружения обрыва фазного провода на ВЛ 110 кВ «Рыбная Слобода – Камская».

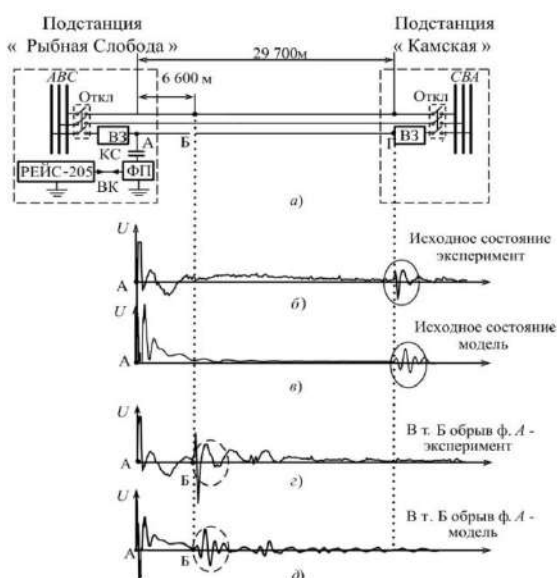


Рис. 2. Определение места обрыва фазного провода на линии 110 кВ «Рыбная Слобода – Камская»: *а* – схема линии; *б* и *в*, *г* и *д* – экспериментальные и модельные рефлектограммы линии в исходном состоянии и при обрыве фазы *А* в т. *Б*

Эталонная экспериментальная рефлектограмма представлена на рис 2, *б*, в начале которой в точке *А* виден зондирующий импульс с сопутствующими флюктуациями, а в точке *Г* виден остроконечный положительный импульс с колебаниями. Обрыв провода фазы *А* на расстоянии 6 600 м иллюстрируется рефлектограммой, представленной на рис 2, *г*, где в точке *Б* виден положительный импульс при отсутствующем импульсе в точке *Г* из-за обрыва провода фазы *А*.

На модельной рефлектограмме (рис 2, д) в точке *Б* также присутствует положительный импульс, отражение от конца ВЛ при этом тоже не фиксируется.

Достоинством локационного метода является то, что он универсален, может использоваться для ОМП на КЛ и ВЛ, может применяться при наличии и отсутствии рабочего напряжения на линии (в отличие от средств ОМП по параметрам аварийного режима), через коммутатор можно контролировать все линии, отходящие с одной подстанции.

Локационный метод за счет оперативного дистанционного определения места и вида повреждения КЛ и ВЛ электропередачи позволяет сократить время перебоев в энергоснабжении потребителей и уменьшить финансовые и материальные потери.

### Литература

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.
2. Диагностика и мониторинг кабельных сетей среднего напряжения / К.П. Кадомская [и др.] // Электротехника. 2000. № 11. С. 48–51.

УДК 621.313, 537.85

## ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИНДУКТОРНОЙ СИСТЕМЕ

Ратушняк В.С.

ФГБОУ ВО «ИрГУПС», г. Иркутск

ratushnyak\_vas@krsk.irkups.ru

Науч. рук. Лившиц А.В.

Предложено исполнительное устройство на базе индуктивного электромеханического преобразователя (ЭП) энергии для реализации электромеханического метода предотвращения образования льда на проводах ЛЭП. Представлена выбранная математическая модель для расчета электромеханических процессов, происходящих при разряде накопителя энергии на индукторную систему в зависимости от параметров электромеханической установки.

**Ключевые слова:** обледенение, электромеханический метод, индуктивный электромеханический преобразователь энергии.

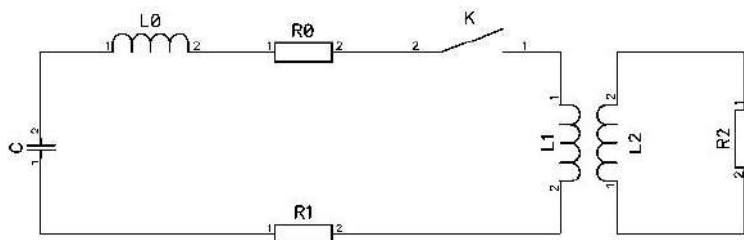


Проблема образования льда на проводах ЛЭП и поиск способов борьбы с этим природным явлением привели к тому, что на сегодняшний день накоплены обширные знания, подкрепленные теоретическими и экспериментальными исследованиями касательно методов и средств предотвращения и борьбы с гололедообразованием [1, 2, 5, 6]. Одним из перспективных считается электромеханический метод [2–4], обеспечивающий встряхивание провода за счет распространения изгибных деформаций.

Рассмотрим в качестве исполнительного устройства, реализующего электромеханический метод, индуктивный электромеханический преобразователь (ЭП) энергии [5]. Принцип его работы основан на возникновении электромагнитных сил, которые при разряде накопителя на индукторную систему – индуктор и исполнительный элемент – вынуждают их отталкиваться друг от друга. Такие преобразователи используются в устройствах для разгона индукторов из неподвижного состояния до высокой скорости. Устройства для метания тяжелых объектов (десятки килограмм) известны как индукционно-динамические ускорители (ИДУ), для разгона легких объектов (несколько грамм) – как магнитно-импульсные метательные установки (МИМУ) [6]. Индуктивные ЭП энергии находят свое применение в сфере обработки металлов давлением [6], а также при разрушении сводов и очистке оборудования [5], в том числе ото льда [7]. Основной особенностью индуктивного ЭП энергии является создание непосредственно импульсным магнитным полем механических усилий, передающихся на исполнительный элемент без помощи промежуточных тел, а также управляемость параметров механического импульса и высокие ускорения. Таким образом, применение индуктивного ЭП энергии в качестве исполнительного механизма в электромеханическом устройстве предотвращения образования льда на проводах ЛЭП может оказаться эффективным. Такое устройство, установленное между фазными проводами с помощью изолирующих штанг, обеспечит передачу кинетической энергии непосредственно паре проводов [4].

Поскольку исполнительная установка с одной стороны должна обеспечивать достаточную изгибную деформацию провода, с другой – не допускать негативных последствий колебаний, таких как пляска проводов, вибрация или превышение допустимых нагрузок, требуется рассчитать и проанализировать электромеханические процессы, происходящие при разряде накопителя энергии на индукторную систему. Эти процессы определяются параметрами электромеханической установки: габаритами индукторной системы, материалами из которых она выполнена, емкостью конденсаторов и напряжением заряда, а также силой сопротивления движению индукторной системы.

Воспользуемся методом теории электрических цепей и представим индукторную систему в виде двухконтурной схемы замещения (см. рисунок). Параметры первичного контура представляют собой индуктивность  $L1$  и активное сопротивление  $R1$  индуктора, паразитную индуктивность  $L0$  и активное сопротивление  $R0$  конденсаторной батареи, коммутатора и соединительных проводов. Параметры вторичного контура представляют собой индуктивность  $L2$  и активное сопротивление  $R2$  исполнительного элемента, индуктивно связанного с индуктором.



Двухконтурная схема замещения

Для расчета электрических параметров схемы  $L1$ ,  $R1$ ,  $L2$  и  $R2$  воспользуемся методикой, предложенной в [6], как требующей минимального числа эмпирических формул и экспериментальных данных, но обеспечивающей достаточную степень точности. Электродинамическое взаимодействие индуктора и проводника (без учета нагрева его индуктивным током) опишем системой дифференциальных уравнений двухконтурной схемы замещения, включающей уравнения теории электрических цепей и механики [5]:

$$(L_0 + L_1) \frac{di_1}{dt} + (R_0 + R_1) i_1 + M \frac{di_2}{dt} + i_2 \frac{dM}{dt} = U_c;$$

$$L_2 \frac{di_2}{dt} + R_2 i_2 + M \frac{di_1}{dt} + i_1 \frac{dM}{dt} = 0;$$

$$C \frac{dU_c}{dt} = -i_1;$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{i_1 i_2}{m} \frac{dM}{dx} - \frac{F_c}{m},$$

где  $i_1$ ,  $i_2$  – соответственно ток в индукторе и проводнике;  $M$  – взаимная индукция между индуктором и проводником;  $C$ ,  $U_c$  – емкость и напряжение накопителя;  $x$  – координата перемещения проводника;  $m$  – масса проводника;  $F_c$  – сила сопротивления движению проводника.

Для того чтобы решить данную систему дифференциальных уравнений, необходимо привести ее к нормальной форме Коши и проинтегрировать методом Рунге-Кутты четвертого порядка с автоматическим выбором шага интегрирования.

Предложенная система уравнений описывает закон движения отталкиваемого тела с учетом силы сопротивления движению. Данная сила вызвана жесткостью провода и пропорциональна смещению, возникающему при движении индукторной системы. Таким образом, выбранная математическая модель позволяет по заданным конструктивным параметрам электромеханической установки рассчитать параметры электромеханических процессов, происходящих при разряде накопителя энергии на индукторную систему.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90188.

## Литература

1. Статистический анализ аварийных отключений электроэнергии из-за гололедообразования на проводах ЛЭП на территории РФ / В.С. Ратушняк [и др.] // Молодая наука Сибири. 2018. № 1 (1). С. 107–113.
2. Atmospheric Icing of Power Networks / M. Farzaneh [ed.]. Springer Netherlands, 2008. 381 p.
3. Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 794–823.
4. Ратушняк В.С. Некоторые аспекты выбора средств борьбы с гололедными отложениями на ЛЭП // Известия Транссиба. 2019. № 1 (37). С. 102–111.
5. Тютюкин В.А. Разработка электромеханических магнитно-импульсных устройств для электрофизических установок и промышленных технологий: дис. ... д-ра. техн. наук. Истра, 2004. 225 с.
6. Семенович М.Л. Магнитно-импульсный (индукционно-динамический) высокоскоростной привод для устройств испытания изделий на ударное воздействие: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2003. 156 с.
7. A dual de-icing system for wind turbine blades combining high-power ultrasonic guided waves and low-frequency forced vibrations / H. Habibi [et al.] // Renewable Energy. 2015. Vol. 83. Pp. 859–870.

## КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Садыков Э.М.<sup>1</sup>, Козлов В.К.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>301sem@gmail.com, <sup>2</sup>kozlov\_vk@bk.ru

Рассмотрены основные физические и химические показатели качества трансформаторного масла, по которым устанавливается его пригодность для дальнейшей эксплуатации, а также определяется степень его старения, увлажнения, загрязнения и деградации. Построены корреляционные зависимости показателей качества трансформаторного масла. Показана перспективность использования спектрального анализа масла для оценки степени его деградации.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, показатели качества масла, корреляция, спектральный анализ, ароматические углеводороды, коллоидные частицы, степень деградации.

Силовой трансформатор является наиболее ответственным и дорогим оборудованием на объектах производства, распределения и потребления электроэнергии. Одним из критериев его надежной эксплуатации является состояние твердой и жидкой изоляции [1]. В качестве жидкой изоляции в силовых трансформаторах используется трансформаторное масло. Поскольку масло находится в постоянном контакте с конструктивными элементами, оно несет информацию о техническом состоянии твердой изоляции, магнитопровода и прочих элементов конструкции. Также от состояния трансформаторного масла зависит состояние самого оборудования поскольку, при наличии дефектов, продукты разложения масла приводят к ухудшению его изоляционных и охлаждающих свойств [2]. Своевременный контроль параметров трансформаторного масла позволяет обнаружить дефекты и динамику их развития, планировать ремонт, произвести при необходимости очистку масла, продлить срок безаварийной эксплуатации.

На сегодняшний день состояние эксплуатационного трансформаторного масла определяется по следующим основным показателям: пробивное напряжение ( $U_{пр}$ ), кислотное число ( $K_{ч}$ ), температура вспышки в закрытом тигле ( $t_{всп}$ ), влагосодержание ( $W$ ), содержание механических примесей, класс чистоты ( $KЧ$ ), тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ),

содержание водорастворимых кислот и щелочей (ВРКиЩ), содержание антиокислительной присадки (АОП), общее содержание шлама, содержание растворенных газов. Данные показатели рассматриваются независимо друг от друга и сравниваются с установленными нормами [3].

Цель работы заключается в поиске коррелирующих между собой физико-химических показателей качества масла силовых трансформаторов 110 кВ.

Корреляция определяется по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – значения, принимаемые переменной  $x$ ;  $y_i$  – значения, принимаемые переменной  $y$ ;  $\bar{x}$  – средняя величина по  $x$ ;  $\bar{y}$  – средняя величина по  $y$ ;  $i$  – номер выборки.

Были обработаны результаты анализов 261 пробы масла силовых трансформаторов 110 кВ и выполнены исследования линейных и нелинейных корреляционных связей между его показателями качества.

Наибольшая корреляция обнаружена между  $K_{\text{ч}}$  и ВРКиЩ ( $r_{xy} = -0,76$ ), а также между ВРКиЩ и  $\text{tg}\delta$  ( $r_{xy} = -0,71$ ).

В остальных же случаях корреляция очень слабая либо вовсе отсутствует. Из этого следует, что каждый отдельно взятый показатель зависит от различных соединений и посторонних включений масла.

В связи с этим для определения состояния трансформаторного масла необходимо проводить весь перечень анализов в сертифицированной лаборатории. Недостатками такого подхода являются высокая стоимость анализов, время на отбор и доставку пробы до лаборатории.

На сегодняшний день перспективным является спектральный метод оценки состояния трансформаторного масла [7]. Особый интерес представляет метод исследования в видимом диапазоне спектра. Суть его заключается в просвечивании слоя масла направленным белым лучом света (видимого спектра  $\lambda = 400 \div 800$  нм) с последующим определением размеров коллоидных частиц, количества ароматических соединений, коэффициента пропускания и других показателей. Таким образом появляется возможность выявить первопричину появления различных соединений и примесей в масле и тем самым определить степень деградации масла на начальном этапе. Преимуществами данного метода

является простота и скорость выполнения анализа, дешевизна и исключение приборных погрешностей, а также возможность применения метода в системах мониторинга состояния масла [8].

## Литература

1. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
2. A. Phalphale, K. Bhagat, S. Nagare. Investigation of transformer oil exposed to the atmosphere [Electronic resource] // K.K. Wagh Institute of Engineering Education and Research. DOI: 10.13140/RG.2.2.28041.29280 (date of the application: 21.01.2020).
3. Альмухаметов И.И., Давиденко И.В. Исследование взаимного влияния параметров трансформаторного масла // Тр. 1-й науч.-техн. конф. молодых ученых Уральского энергетического института. Екатеринбург, 2016. С. 167–170.
4. Гайнуллина Л.Р., Тутубалина В.П., Харлампида Х.Э. Зависимость диэлектрических характеристик трансформаторного масла от углеводородного состава // Вестник Казанского технологического университета. 2016. Т. 19, № 14. С. 53–55.
5. Maiti P.K. Significance of Transformer Oil Testing [Electronic resource] // Regional Power Meet, 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/334735955\\_Significance\\_of\\_Transformer\\_Oil\\_Testing](https://www.researchgate.net/publication/334735955_Significance_of_Transformer_Oil_Testing) (date of the application: 21.01.2020).
6. Husnayain F., Latif M., Garniwa I. Transformer Oil Lifetime Prediction Using the Arrhenius Law based on Physical and Electrical Characteristics // Proc. of the International Conference on Quality in Research (QiR). Lombok, Indonesia, 2015. Pp. 115–120.
7. Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К. Качественные методы спектрального анализа в диагностике трансформаторных масел. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, № 1-2. С. 87–92.
8. Alshehawy A.M., Mansour D.E.A., Ghali M. Condition Assessment of Aged Transformer Oil Using Optical Spectroscopy Techniques // IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Canada, 2016. Pp. 326–329.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ 6–10кВ

Санникова И.О.<sup>1</sup>, Титарева Е.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>irina.777san@mail.ru, <sup>2</sup>kondratova-katja15@rambler.ru

Науч. рук. Галиев И.Ф.

Рассмотрены проблемы распределительных сетей 6–10 кВ, а также предложены мероприятия по повышению надежности, а именно применение интеллектуальных устройств, таких как реклоузеры и индикаторы короткого замыкания.

**Ключевые слова:** распределительная сеть, надежность, реклоузер, индикатор короткого замыкания.

На сегодняшний день до 80 % аварийных отключений потребителей происходит из-за отказов в сетях 6–10 кВ.

Традиционно сети 6–10 кВ отличаются слабой оснащённостью коммутационными аппаратами. Порядка половины энергетических сетей находятся в эксплуатации выше нормативного срока, а степень их износа находится в критической зоне [1].

Поэтому следует, что повышение качества и надежности, а также поддержания стабильности в функционировании энергосистем возможно при условии инновационного подхода на основе создания и внедрения нового эффективного, а также долговечного оборудования и технологий. Необходимо не просто модернизация сети, но и автоматизация и интеллектуализация ее составляющих элементов [2].

Одним из мероприятий, способствующих повышению надежности электроснабжения ЛЭП 6–10кВ, является секционирование её на несколько относительно коротких участков с установкой промежуточных автоматических защитно-коммутационных аппаратов – реклоузеров.

Реклоузеры представляют собой небольшие автоматические пункты секционирования, которые включают в себя шкаф с высоковольтной аппаратурой с вакуумным выключателем, а также шкаф управления с микропроцессорной релейной защитой и автоматикой. Их основная функция – это изолирование секции устройства подачи в случае неисправности или перегрузки. Аппарат управляется дистанционно и позволяет диспетчеру электрических сетей обнаружить неисправность

на воздушной линии в момент возникновения неисправности, после чего может быть быстро принято решение и есть возможность направить бригаду в нужное место. К тому же это устройство в режиме реального времени ведет комплексный анализ сети, что дает возможность осуществлять ее реконфигурацию, а также планирование оптимизации и усовершенствования данной сети [3].

Значительным рывком по оперативному вмешательству для устранения последствий на данный момент времени является удаленный мониторинг, осуществляемый посредством индикаторов короткого замыкания (ИКЗ). Установка такого оборудования дает возможность не только вести наблюдение, но и определять локальное место аварии. ИКЗ необходимо применять в тех отраслях, где в первую очередь необходима бесперебойная подача электроэнергии. В больших городах аварии на линиях электропередач устраняются в кратчайшие сроки, а если говорить о труднодоступных регионах нашей страны, особенно там, где жесткие климатические условия, ИКЗ будет жизненно необходим. Сокращение времени отыскания повреждений как минимум в два раза при установке индикатора короткого замыкания – очень важный фактор, при этом сокращается и время отключения потребителей, что очень актуально.

Внедрение реклоузеров и индикаторов короткого замыкания в распределительные сети 6–10 кВ – это перспективное, технологически оправданное мероприятие. Их применение способствует снижению ущерба от недоотпуска электроэнергии и повышению надежности электроснабжения. Интеллектуальное оборудование позволяет оперативно локализовать место повреждения воздушных линий и минимизировать количество потребителей без обслуживания. Можно с уверенностью сказать, что проектирование и строительство электрических сетей с применением «умных» устройств в будущем выведет отечественные электрические сети среднего напряжения на новый уровень автоматизации и управления.

## Литература

1. Самсонов В.В., Вяткин М.А. Экономика предприятий энергетического комплекса: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2001. 416 с.
2. Егоров В., Кужиков С. Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе // ЭнергоРынок. 2010. № 6.
3. Максимов Б.К., Воротницкий В.В. Оценка эффективности автоматического секционирования воздушных распределительных сетей 6(10) кВ с применением реклоузеров с целью повышения надежности электроснабжения потребителей // Электротехника. 2005. № 10. С. 16–17.



## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ОХРАНЫ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Селезнева Е.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sea230795@mail.ru

Науч. рук. Гарифуллин М.Ш.

Представлена имитационная модель системы мониторинга и охраны трансформаторной подстанции с автоматическим управлением, сбором информации и выводом её в центр мониторинга через контроллеры с каналами связи GSM и LAN, рассмотрены основные функции и принципы построения системы.

**Ключевые слова:** мониторинг данных, сигнализация, дистанционное управление, передача информации.

Трансформаторная подстанция представляет собой сооружение, которое эксплуатируют в безлюдном режиме и разнообразных климатических условиях с изменением температуры окружающей среды. В связи с этими факторами трансформаторные подстанции необходимо оснащать системами для обеспечения контроля доступа на объект, сигнализацию о перегрузках и коротком замыкании, удаленное снятие показаний с приборов учета электроэнергии. Для реализации данных целей используется система мониторинга и охраны, схема которой представлена на рисунке.

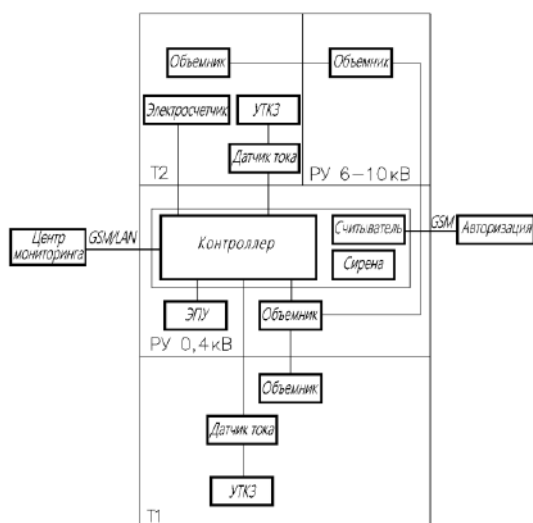


Схема системы мониторинга и охраны трансформаторной подстанции

Рассмотрим назначение элементов и функциональные возможности данной системы.

#### 1. Охрана, контроль проникновения и авторизация доступа.

В помещениях трансформаторной подстанции установлены объемные инфракрасные датчики движения, подключенные к контроллеру и сообщающие о том, что произошло несанкционированное проникновение. Это происходит, если сотрудник организации вовремя не подтвердил свою личность при помощи считывателя, установленного в телекоммуникационном шкафу. Преимуществом этого метода над методом, когда на каждую дверь устанавливаются магнит и считыватель, является быстрый и простой монтаж, ведь устанавливается всего один считыватель вместо четырех, что позволяет экономить время [1].

Если необходимо выявить в каком именно помещении произошло вскрытие, следует использовать вход двухпроводного шлейфа и четыре универсальных порта для выявления несанкционированного проникновения в каждое из помещений.

Дополнительное подключение авторизации доступа на охраняемый объект по каналу GSM через мобильное устройство позволит отказаться от установки считывателей и необходимости ключей. Сотруднику лишь требуется ввести пароль для авторизации на данном объекте [1].

#### 2. Мониторинг энергетических параметров.

Для контроля энергопараметров к контроллеру по интерфейсу RS-485 подключен блок контроля параметров ЭПУ, позволяющий измерять напряжение (3 фазы, 220 В) и ток. Подключение устройства задержки пропадания питания обеспечивает надежную передачу информации в центр мониторинга.

#### 3. Дистанционное снятие показаний со счетчиков электроэнергии.

Вся информация с приборов передается в центр мониторинга по импульсному выходу либо по интерфейсу RS-485 [2].

#### 4. Сигнализация об аварийной ситуации.

Устройства для обнаружения короткого замыкания и перегрузки подключаются на свободные универсальные порты контроллера, сконфигурированные как дискретный сигнал.

#### 5. Контроль климатических параметров.

Датчики температуры и влажности подключаются на вход «температура» и «влажность» для передачи данных с целью предотвращения нарушения допустимых порогов.

#### 6. Звуковой оповещатель.

Предусмотрена возможность автоматического включения сирены при срабатывании датчиков охраны.

Беспроводная радиосвязь для некоторых трансформаторных подстанций имеет небольшой радиус охвата, в связи с этим в системе рассматриваются контроллеры LAN, передающие данные по каналу связи Ethernet, и контроллеры GSM (GPRS, SMS) [3].

Приведенная система мониторинга и охраны трансформаторной подстанции с помощью автоматического сбора данных и возможности дистанционного управления поможет операторам контролировать безопасность и параметры элементов, оперативно выявить аварийный участок и своевременно обнаружить предаварийное состояние оборудования. Благодаря этому сократится временной интервал при сбое в питании потребителей, улучшится качество электроэнергии и произойдет повышение экономической составляющей.

### Литература

1. Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 3-4. С 109–114.

2. Инновационная электроэнергетика-21 / под ред. В.М. Батенина, В.В. Бушуева, Н.И. Воропая. М.: Энергия, 2017. 584 с.

3. МЭК 61850 [Электронный ресурс]. URL: <http://i.cons-systems.ru/u/98/249206369c11e597e7a4137f262947/-/Обзор%20стандарта%20МЭК-61850.pdfq> (дата обращения: 17.12.2019).

УДК 621.316

## СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ

Селезнева Е.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sea230795@mail.ru

Науч. рук. Гарифуллин М.Ш.

Исследуется актуальность применения систем контроля пожарной безопасности на современных электрических подстанциях для предупреждения, распознавания пожара, рассматривает процесс тушения и помощь людям при эвакуации. Изложены основные принципы разработки и создание систем контроля пожарной безопасности, приведена защита от огня на примере ПС 110кВ.

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, системы контроля, процесс тушения пожара, эвакуация людей, защита от огня.

В настоящее время на электрических подстанциях для защиты от пожара устанавливаются комплексные системы противопожарной защиты, которые включают в себя приборы оповещения, обнаружения, возникновения пожара, а также систему пожаротушения.

Система обнаружения, оповещения и управления эвакуацией должна обеспечивать подачу звуковых и световых сигналов, включение аварийного освещения, транслировать речевые сообщения.

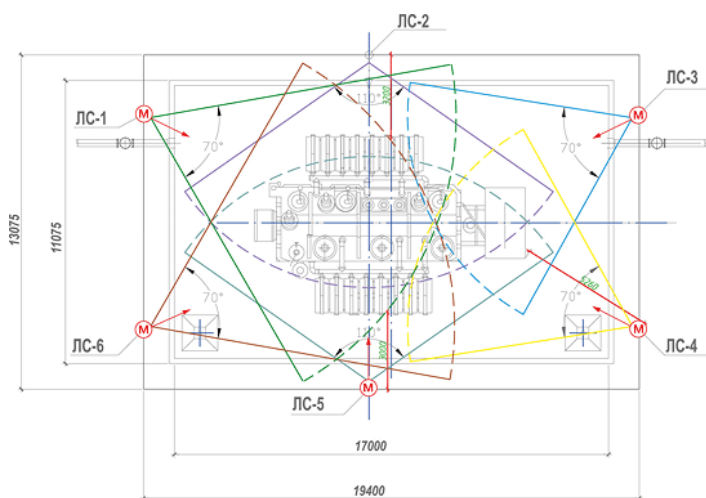
Система оповещения обеспечивает быстрое реагирование на очаг возгорания за счет пожарных извещателей, блока управления передачи сообщений, устройства оповещения.

Обеспечение объекта защиты происходит за счет установки автоматической системы пожаротушения. Это комплекс устройств, способный распознавать, активизироваться при повышении определенных параметров в помещении [1, 2].

Для обеспечения безопасности ПС 110 кВ должно быть предусмотрено автоматическое распыление воды при помощи дренчерных оросителей ОПДР-15 на автотрансформатор, наружное пожаротушение зданий и сооружений из пожарных гидрантов, установленных на кольцевом противопожарном водопроводе, внутреннее пожаротушение в зданиях из пожарных кранов, автоматическое пожаротушение кабелей закрытой подстанции при помощи дренчерных оросителей ДВВо-10 [3].

Для необходимого давления воды в системы противопожарного тушения достигается при помощи насосной установки Hydro МХ. Это оборудование применяется в дренчерных системах водяного и пенного пожаротушения, а также в системах с гидрантами [4, 5].

Автоматическая установка водяного пожаротушения маслонаполненных силовых автотрансформаторов с применением лафетных стволов осциллирующего типа представлена на рисунке.



Пожаротушение АТ с применением лафетных стволов с осцилляторами

Лафетные стволы имеют регулировку направления струи по горизонтали и вертикали и возможность изменения угла факела распыленной струи, уменьшают негативное воздействие ветра, приводящее к сносу струи [4].

### Литература

1. РД 153-34.0-03.301-00. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. 3-е изд., с изм. и доп. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2007. 128 с.
2. Интеграция систем пожарной сигнализации с системами диспетчеризации здания [Электронный ресурс] // Технологии защиты. 2008. № 2. URL: <http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=170&uid2=267&uid3=288> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Правила устройства электроустановок. М.: Энергия, 2003. 542 с.
4. СО 34.49.101-2003. Инструкция по проектированию противопожарной защиты энергетических предприятий. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. 40 с.
5. Ворона В.А., Тихонов В.А. Комплексные (интегрированные) системы обеспечения безопасности. М: Горячая линия-Телеком, 2013. 161 с.
6. Бадагуев Б.Т. Пожарная безопасность на предприятии: приказы, инструкции, журналы, положения. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Альфа-пресс, 2013. 488 с.

УДК 621.315.1:519.61

## ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Сибгатуллина С.Р.<sup>1</sup>, Гиззатова И.Д.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>cumbellashka@gmail.com,<sup>2</sup> irina-zag@bk.ru

Рассматриваются факторы, влияющие на надёжность электрических сетей.

**Ключевые слова:** показатели надёжности, мониторинг воздушных линий, аварийные режимы, предельные теоремы теории вероятностей.

Воздушные линии (ВЛ) электропередачи – наиболее повреждаемые элементы электрических сетей из-за территориальной протяженности и подверженности влиянию климатическим воздействиям. Их параметр потока отказов на порядок выше параметров потока отказов трансформаторов и выключателей [1].

Причинами повреждаемости воздушных линий электропередачи в основном являются следующие факторы: старение оборудования (изменение свойств материалов); недостатки проектирования; дефекты конструкции и изготовления; дефекты монтажа; недостатки эксплуатации; посторонние воздействия; климатические воздействия (атмосферные перенапряжения, изменения температуры окружающей среды, действие ветра, гололедные образования на проводах, вибрации и «пляска» проводов, загрязнение воздуха, влияние геомагнитных бурь). Отказы, вызванные влиянием климатических воздействий, составляют порядка 40 % [2].

Для оценки надежности воздушных линий электропередачи с учетом влияния внешних факторов целесообразно использовать метод поправочных коэффициентов. Параметры потока отказов первичных элементов умножаются на поправочный коэффициент, значение которого определяется в зависимости от погодных условий и времени года. В качестве исходной информации целесообразно использовать карты климатических условий по ветровым и гололедно-ветровым нагрузкам [3].

Таким образом, оценка надежности является довольно сложной задачей, так как необходимо учитывать множество факторов. Расчеты показателей надежности должны выполняться на основе статистических данных. Для более точного расчета при малом числе исходных данных целесообразно дифференцирование внешних факторов, влияющих на надежность. В настоящее время сбор данных об авариях ведется по РД 34.20.801-2000 «Инструкция по расследованию и учету технологических нарушений в работе энергосистем, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей». Основными видами документации при сборе первичной информации об отказах элементов системы являются журналы, формуляры, карточки. Структура представления данных в табличной форме рассчитана на ручную обработку. Эта форма не позволяет выполнить анализ текущего уровня надежности и прогноз последующего состояния системы. Кроме того, эта документация практически закрыта, довольно часто скрываются сведения об аварийных режимах, что отрицательно влияет на объективность этой информации. Поэтому для объективного отражения текущего технического состояния системы, вычисления показателей надежности и необходимо внедрение автоматизированной системы сбора и обработки информации [4].

Для реализации методики расчета показателей надежности и прогнозирования технического состояния системы необходимо внедрение автоматизированной системы сбора и обработки информации, использующей современные достижения информационно-измерительной системы контроля аварийных режимов [5].

## Литература

1. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисович. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007. 352 с.
2. Повышение эффективности воздушных линий электропередачи напряжением 110–220 кВ в гололедных районах: монография / Г.Г. Угаров [и др.]. М.: Перо, 2013. 187 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2005. 576 с.
4. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах: учеб. пособие / И.И. Левченко [и др.]. М.: ИД МЭИ, 2007. 448.
5. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник. 2-е изд., исправ. и доп. М.: Физматлит, 2002. 496 с.

УДК 621.314

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ НЕПРЕДЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Слободина Ю.Н.<sup>1</sup>, Бикзинуров А.Р.<sup>2</sup>, Гарифуллин М.Ш.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>yulya\_slobodina@mail.ru, <sup>2</sup>mr.azat780@mail.ru, <sup>3</sup>g\_marsels@mail.ru

Рассматривается очистка минеральных трансформаторных масел от непредельных углеводородов при помощи разных видов адсорбента. По интенсивностям полос поглощения в ИК спектрах масел определялось содержание непредельных соединений. Для обработки результатов были проанализированы полосы поглощения в районе  $4800\div 4500$  с пиками  $4665$  и  $4600$   $\text{см}^{-1}$ .

**Ключевые слова:** адсорбент, непредельные углеводороды, трансформаторное масло, регенерация, ИК-спектры.

В настоящее время минеральное трансформаторное масло является основным видом диэлектрика для маслонеполненного оборудования. Масло в процессе эксплуатации подвергается старению, что в совокупности приводит к ухудшению электроизоляционных, диэлектрических свойств. В результате окисления масла образуются следующие продукты распада: перекиси, спирты, кетоны, кислоты, а также увеличивается

содержание ароматических соединений. Кроме того, в процессе деградации образуются непредельные углеводороды с двойной связью С=С (алкены, циклоалкены). Основная причина удаления непредельных соединений при производстве свежих масел заключается в их повышенной реакционной способности. Наличие в углеродной цепочке двойной связи способствует ее перекисидации. Также они склонны к полимеризации, что способствует увеличению шламообразования.

Принято считать [1], что непредельные соединения могут быть удалены из эксплуатационного масла в процессе его регенерации, а именно на этапе адсорбционной очистки.

Целью работы являлась проверка эффективности разных видов адсорбентов для удаления непредельных соединений из минеральных изоляционных масел.

### Экспериментальная часть

Исследование эффективности удаления непредельных соединений из минеральных масел осуществлялось при помощи силикагелей марок: КСКГ (крупный силикагель крупнопористый гранулированный, производство – ООО «Салаватский катализаторный завод», г. Стерлитамак), АС230Ш (алюмосиликатный адсорбент, производство – ОАО «Химический завод им. Л.Я. Карпова», г. Менделеевск).

Эксплуатационные масла с различной степенью деградации (образцы 1–3) подверглись процедуре очистки с помощью силикагеля марки КСКГ (образцы 1.1–3.1) и марки АС230Ш (образцы 1.2–3.2). Очистка производилась в виде отстаивания в закрытой емкости в течение 100 ч без перемешивания. Соотношение массы масла к массе силикагеля – 2:1.

Кроме того, эффективность очистки масел от непредельных соединений была проверена на примере регенерационной установки производства компании Globe Core (расположенной в Ярославской области, г. Тутаев), в которой в качестве адсорбента используется Фуллерова Земля [2]. Исходное масло, не подвергшееся регенерации, это образец 4, регенерированное масло – образец 5.

Содержание непредельных соединений оценивалось по интенсивностям полос поглощения непредельных соединений в ИК спектрах масел. В качестве аналитических используются полосы поглощения в районе  $4800\div 4500\text{ см}^{-1}$  с пиками около  $4665$  и  $4600\text{ см}^{-1}$ , которые относятся к колебаниям  $\text{=C-H}$  и  $\text{C=C}$  групп непредельных углеводородов [2]. ИК спектры были получены с помощью ИК-Фурье спектрометра Tensor-27, при толщине кюветы 10 мм, материал окон –  $\text{CaF}_2$ .



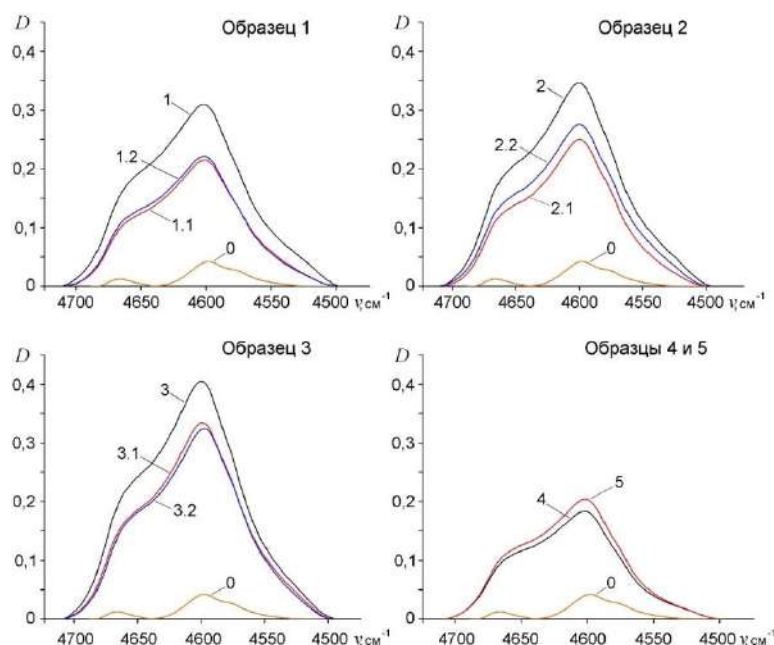
## Результаты и обсуждение

В результате процедуры очистки силикагелями изменилось кислотное число (КЧ) образцов масел (см. таблицу).

### Характеристика окисленности образцов масел

Исходные масла		Очистка КСКГ		Очистка АС-230Ш	
Образец	КЧ, мг КОН/г	Образец	КЧ, мг КОН/г	Образец	КЧ, мг КОН/г
1	0,04	1.1	<0,01	1.2	<0,01
2	0,08	2.1	<0,01	2.2	<0,01
3	0,14	3.1	<0,01	3.2	<0,01

Также цвет масел изменился от темного к светло-желтому, что свидетельствует об удалении из масла значительной части полиароматических углеводородов (ПАУ). Таким образом, и силикагели, и Фуллерова Земля эффективны при удалении органических кислот и ПАУ, относящиеся к полярным соединениям. В то же время содержание непредельных углеводородов во всех маслах уменьшилось в среднем на 25 % (см. рисунок). В образце 5 с учетом потери в регенеративной установке массы масла на 10 % непредельных углеводородов стало больше.



Спектры оптической плотности исходных и очищенных силикагелями образцов масел: образцы 1–3 – согласно табл. 1; образцы 4 и 5 – масло до 4-й и после 5-й очистки установкой Globe Core

## Выводы

1. По изменению кислотного числа и цвета масел доказано, что адсорбционная очистка удаляет значительную часть полярных соединений из минеральных трансформаторных масел.

2. Ни природные, ни искусственные адсорбенты не позволяют полностью избавиться от непредельных соединений в очищенных минеральных маслах.

## Литература

1. Шуварин Д.В. Новые технологии очистки и регенерации энергетических масел // Экологическая безопасность энергетики: опыт, проблемы, инновационные решения: сб. докл. науч.-практ. конф. Москва, 2015. С. 49–57.

2. Крищенко В.П. Ближняя инфракрасная спектроскопия. М.: Крона-пресс, 1997. 638 с.

УДК 621.314

## АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Снежинская Е.С.<sup>1</sup>, Абдуллина А.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>evasnezh@mail.ru, <sup>2</sup>77aida77@gmail.com

Науч. рук. Антипанова И.С.

Рассматривается частотно-регулируемый электропривод, свойства преобразователя частоты для асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** частотно-регулируемый электропривод, преобразователи частоты, электродвигатель.

Частотно-регулируемый электропривод состоит из электрического двигателя (синхронного или асинхронного) и преобразователя частоты.

Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую и приводит к движению исполнительного органа технологического механизма. Преобразователь частоты регулирует асинхронным двигателем

и представляет собой электронный статический механизм, состоящий из выпрямителя и инвертора. На выходе преобразователя формируется напряжение с переменными амплитудой и частотой. Работа электрического двигателя с преобразователем частоты обусловлено тем, что управление скоростью двигателя контролируется изменением частоты подаваемого напряжения на двигатель от преобразователя частоты.

Преобразователи частоты для асинхронного двигателя должны обладать рядом свойств, основными из которых являются:

1) взаимосвязанное и независимое регулирование выходного напряжения по частоте и амплитуде основной гармоники (при незначительном содержании высших гармоник);

2) цифровое управление приводом с возможностью обмена информацией (диагностика, индикация и т. д.) по интерфейсу с системами управления более высокого уровня;

3) электромагнитная совместимость в электрической сети, выраженная в коэффициенте мощности, близком к единице;

4) возможность увеличения электроэнергии в сеть (восстановление), когда приводной двигатель переключается в режим генератора (например, при интенсивном торможении инерционного привода) [1].

Проблема управления электрическими приводами, в которых асинхронные двигатели используются в качестве исполнительных механизмов, заключается в увеличении точности и достижении предельных динамических и энергетических параметров при регулировании момента и скорости. В настоящее время использование автоматизированного электропривода обеспечивает требуемые регулировочные характеристики используемых машин и механизмов, а также позволяет значительно снизить потребление энергии [2].

Если двигатель подключен к преобразователю частоты, выходной вал не может вращаться, это может быть связано с неправильным подключением выходного сигнала преобразователя частоты к двигателю. Необходимо проверить правильность подключения фаз цепи питания к двигателю. Другая причина отсутствия скорости на валу двигателя может быть отсутствие мощности на преобразователе частоты. Необходимо проверить правильность подключения преобразователя к силовой цепи.

## Литература

1. Ву Хай Ха. Моделирование и исследование динамики систем электроснабжения с распределенной генерацией и массовым использованием частотно-регулируемого электропривода: дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2012. 223 с.

2. Кузькин В.И., Мелешкин В.Н., Мясищев С.В., Симоненков Д.В., Шипаева С.Н. Высоковольтный преобразователь частоты для питания асинхронных двигателей // Электротехника. 2004. № 10. С. 19–24.

УДК 621.314

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ВАРИАНТОВ СЕТИ

Соловьева А.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

bad\_alice96@mail.ru

Науч. рук. Галиев И.Ф.

Обеспечение надежности энергосистемы (ЭЭС) – сложная многогранная задача, которая может быть решена на разных уровнях территориальной, временной и технологической иерархии управления. Модели надежности в первую очередь предназначены для индикаторов надежности, которые могут применяться прямо или косвенно для принятия решений об обеспечении надежности всей энергосистемы и ее установок. Вопросы надежности ЭЭС могут рассматриваться как с точки зрения оценки, так и с точки зрения оптимизации.

**Ключевые слова:** надежность, модели надежности, энергосистема, оптимизация надежности, показатели надежности, ремонтпригодность.

Проблема надежности электрических систем касается задач определения и оптимизации их характеристик на этапах планирования, проектирования, строительства и эксплуатации. Надежность – право собственности на объект или техническое устройство для выполнения определенных функций при сохранении значений эксплуатационных показателей, установленных в указанных пределах, соответствующих режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки.

Надежность энергосистем и их объектов – сложное свойство, которое следует рассматривать как набор отдельных свойств, которые необходимы для конкретного объекта. Это существенно усложняет задачу анализа и синтеза надежности ЭЭС. В связи с этим представляется невозможным создать какую-либо унифицированную модель для решения проблем надежности на всех этапах контроля (при прогнозировании,

проектировании, принятии решений о расширении, для долгосрочного, краткосрочного и текущего контроля работы) и производства (первичные энергоресурсы, транспорт, преобразование и распределение электроэнергии), на территориальных уровнях (от единицы оборудования до единицы, объекта и системы с различной степенью интеграции: региональная, национальная и т. д.) и для индивидуальных свойств (безопасность, долговечность, надежность, простота обслуживания, стабильность, живучесть, управляемость и безопасность).

Уровни и этапы решения проблем надежности могут сильно различаться с точки зрения точности и полноты. Кроме того, модели, используемые для решения одной и той же проблемы, могут различаться с точки зрения представления исходных данных и решений, которые должны быть определены с точки зрения полноты и точности. Таким образом, разложение единой универсальной модели на множество моделей, решающих проблемы частичной надежности, объективно определено. Тем не менее, существует необходимость согласования решений проблем частичной надежности.

Задача оценки надежности энергосистемы формулируется и решается в зависимости от цели и сроков исследования, расчетной схемы (степени эквивалентности), достоверности и формы первоначального представления информации, номенклатуры расчетных показателей надежности, требований к точности полученных результатов и используемых математических инструментов.

Существует много методик и способов расчета надежности ЭСС и ее средств в национальной и международной практике. Помимо множества «нюансов», которые их отличают, они также имеют сходства и схожие базовые подходы. Это разнообразие математических моделей и методов делает полезным анализ их специфических особенностей и возможностей для определения областей, где они в основном используются.

## Литература

1. Ковалев Г.Ф., Малкин П.А. Программное обеспечение для оптимизации и оценки надежности при проектировании электроэнергетических систем // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. 1981. Вып. 22. С. 7–16.

2. Ковалев Г.Ф., Лебедева Л.М. Набор моделей для оптимизации условий эксплуатации расчетного состояния при оценке надежности электроэнергетических систем // Электричество. 2000. № 7. С. 73.

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЛОЖНЫХ МАКСИМУМОВ ПРИ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Степанова Е.Г.<sup>1</sup>, Хузяшев Р.Г.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>lenochka2997@mail.ru, <sup>2</sup>142892@mail.ru

Работа волнового метода определения места повреждения в линиях электропередач заключается не только в определении места возникновения источника сигнала переходного процесса, но и в анализе полученных временных и частотных осциллограмм. Спектральный анализ используется как один из способов обработки сигналов переходных процессов.

**Ключевые слова:** переходной процесс (ПП), обратное преобразование Фурье, низкочастотные (НЧ) и высокочастотные (ВЧ) колебания, спектральный анализ, амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Изучим частотный состав сигнала ПП аварийной осциллограммы, зарегистрированной в г. Набережные Челны КТП-748 23 апреля 2019 г. в 11:37:40, полученного от датчика №15 [1]. Разделив исходную временную осциллограмму на восемь равных частей по 128 отсчетов, изучим частотный состав сигнала. Как наиболее отчетливую, содержащую НЧ и ВЧ колебания, выберем 4-ю часть.

Рассмотрим временную осциллограмму (рис. 1) и результаты быстрого преобразования Фурье (БПФ) (рис. 2) для этой части данных.

По результатам быстрого преобразования Фурье (БПФ) в спектре присутствуют два максимума частот. Сопоставим их с временной осциллограммой на рис. 1.

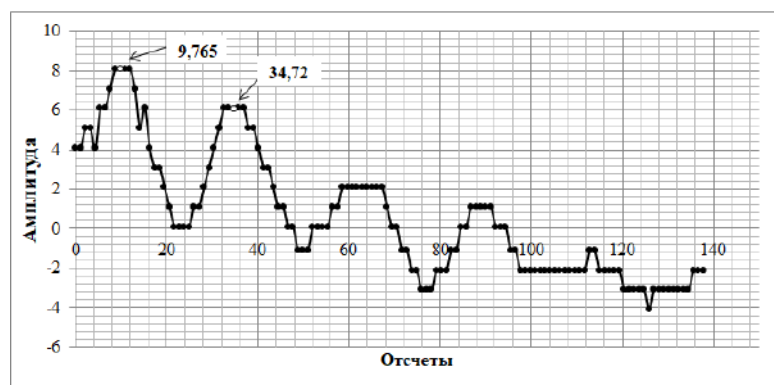


Рис. 1. Исходная временная осциллограмма 4-й части отсчетов датчика № 15

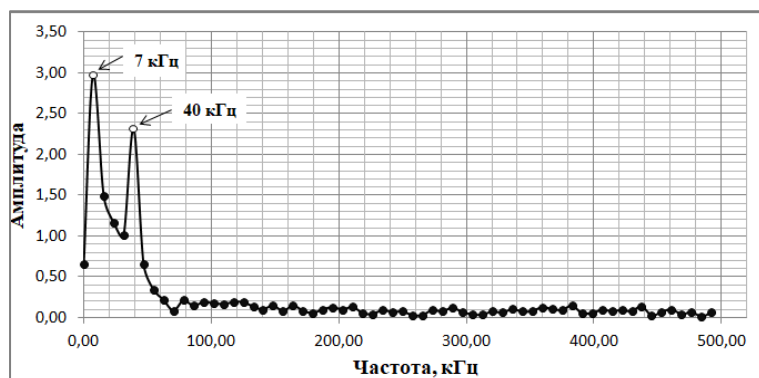


Рис. 2. БПФ 4-й части

Частота 40 кГц соответствует периоду 25 мкс, этот интервал указан на рис. 1 между отсчетами 9,765 и 34,72. Частота 7 кГц соответствует периоду 142 мкс, однако на рис. 1 нет интервала с данным периодом, т. е. это ложный максимум.

Ложные максимумы, на самом деле отсутствующие в исходном сигнале переходного процесса, возникают из-за эффекта Гиббса. Данный эффект присутствует в конечных сигналах и возникает в точках разрывов (краевой эффект).

Амплитуда выброса эффекта равна 18 % от амплитуды сигнала, что подтверждается выявленными частотами 40 и 7 кГц.

Наличие ложного максимума может скрыть либо исказить спектральные компоненты исходного сигнала ПП. Поэтому необходимо его устранить.

Рассмотрим отдельно оба пика путем поочередного сглаживания амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) каждого из них (рис. 3 и 4).

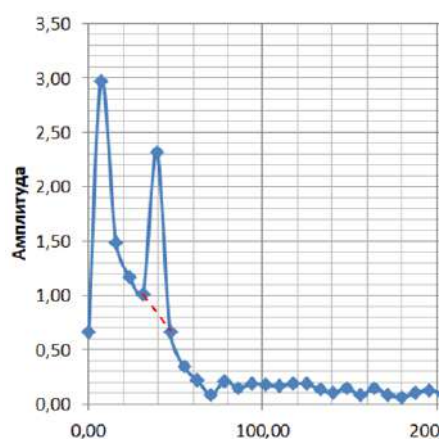


Рис. 3. Первый пик

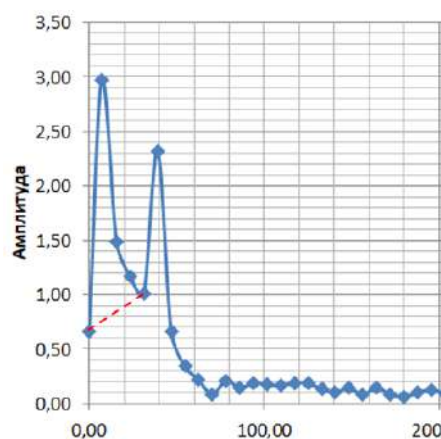


Рис. 4. Второй пик

Сгладив второй и первый пики с частотами соответственно 40 и 7 кГц, проведем ОПФ исходной осциллограммы (рис. 5 и 6).

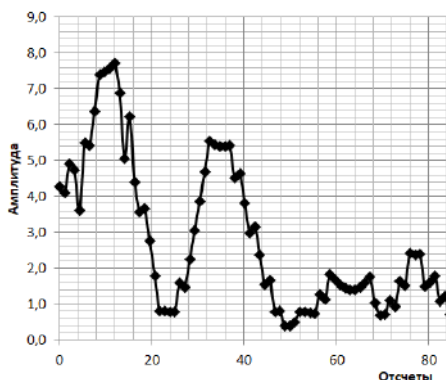


Рис. 5. ОПФ при сглаживании 2-го пика с частотой 40 кГц

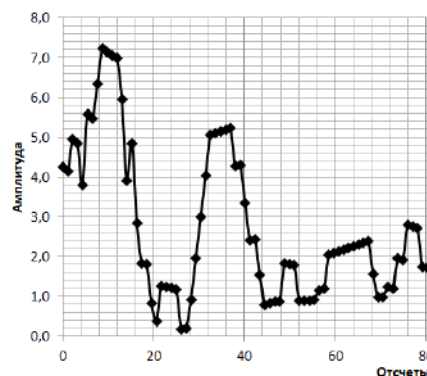


Рис. 6. ОПФ при сглаживании 1-го пика с частотой 7 кГц

Так как после сглаживания АЧХ общий вид временной осциллограммы сильно не изменяется, получается, что большое значение имеет еще и ФЧХ.

Таким образом, для выявления способов устранения эффекта Гиббса и предотвращения появления ложных максимумов в спектрах необходимо провести анализ ФЧХ исходной осциллограммы и модельных синусоид с частотой 7 и 40 кГц.

## Литература

1. Монитор-К [Электронный ресурс]. URL: <http://cp.elnet-k.ru/reports/byfails> (дата обращения: 26.09.209).

УДК 621.316.1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

Таваров С.Ш.

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск

tabarovsaid@mail.ru

Предложена математическая модель прогнозирования электропотребления с учетом условий местности и территориального расположения городов Республики Таджикистан, основанная на данных по электропотреблению предыдущих лет. Для прогнозирования выведен коэффициент максимума нагрузок с числовыми данными для крупных городов Республики Таджикистан, учитывающий климато-метеорологические условия их местонахождения.

**Ключевые слова:** электропотребление, удельная электрическая нагрузка, математическая модель.



Вопросам построения математических моделей, предназначенных для прогнозирования электропотребления, посвящено достаточно много работ [1, 2]. Упомянутые модели учитывают климато-метеорологические факторы, однако в них считается, что бытовые потребители обеспечены теплоснабжением, горячим водоснабжением, а также газоснабжением.

В нашем же случае бóльшая часть потребителей лишена иных источников энергии и вся нагрузка ложится на плечи электрической энергии.

Из-за отсутствия своих норм удельных нагрузок в Республике Таджикистан (РТ) при проектировании и реконструкции применяются нормы, разработанные в Российской Федерации (РФ).

Учитывая, что основным источником электроэнергии в РТ являются гидроэлектростанции, для них целесообразно предложить такие нормы электропотребления, которые бы не выходили за пределы установленных в [3].

Общеизвестным фактором является то, что графики электрических нагрузок бытовых потребителей в течение дня меняются неравномерно и основной объем электроэнергии потребляется в часы утренних и вечерних максимумов, при этом утренний максимум меньше вечернего.

Следовательно, из-за отсутствия норм электропотребления в зимнее время возникает расхождение между запланированным объемом электропотребления, определенным по нормам, принятым в РФ, и его фактическим значением. Последнее не может не сказываться на надежности электроснабжения.

Таким образом, при построении математической модели необходимо максимально учесть факторы, влияющие на режимы электропотребления.

Одним из известных факторов, влияющих на возрастание электропотребления, является высота нахождения объекта электро-снабжения над уровнем моря. С увеличением этой высоты уменьшается температура окружающей среды, что приводит к увеличению влажности воздуха. Это, в свою очередь, сопровождается увеличением электропотребления, что напрямую влияет на удельную электрическую нагрузку.

Для определения зависимости удельной нагрузки из предыдущих суточных и месячных электропотребления с учётом климато-метеорологических особенностей рассматриваемых городов РТ был выведен коэффициент времени максимальной нагрузки  $\alpha_{в.м.н}$ , имеющий функциональную зависимость:

$$\alpha_{в.м.н} = f(x_i). \quad (1)$$

Используя коэффициент  $\alpha_{в.м.н}$ , учитывающий климато-метеорологические факторы и географическое расположение городов РТ, можно определить удельные нормы электропотребления в часы максимума нагрузок для зимнего и летнего времени:

$$W_{в.м.н} = P_{разр} \cdot t_{в.м.сут} \cdot \alpha_{в.м.н}, \quad (2)$$

где  $P_{разр}$  – разрешенная мощность, выдаваемая электроснабжающей организацией,  $P_{разр} = 4 \div 5$  кВт;  $t_{в.м.сут}$  – время максимума нагрузок в течение суток, ч.

Для прогнозирования электропотребления была использована полученная математическая модель, выраженная через коэффициент максимума нагрузок и данных суточного электропотребления.

Графически зависимость суточного электропотребления от количества абонентов, подключенных к городским трансформаторным подстанциям, по состоянию на 28 мая 2019 г. представлена на рисунке.



Зависимость суточного электропотребления от количества абонентов, получающих питание от ТП-568, Т-1

По данным электропотребления за предыдущие годы с учётом климато-метеорологических факторов [4, 5] были установлены времена максимального электропотребления вечерних зимних и летних максимумов:

- г. Душанбе и г. Бохтар – 3,5 ч (зимнее) и 2,5 ч (летнее);
- г. Хорог – 4,5 ч (зимнее) и 3,5 ч (летнее).

## Литература

1. Макоклюев Б.И., Костиков В. Моделирование электрических нагрузок электроэнергетических систем // Электричество. 1994. № 10. С. 6–18.
2. Макоклюев Б.И., Павликов А., Владимиров А. Влияние колебаний метеорологических факторов на электропотребление энергообъединений // Энергетик. 2003. № 6. С. 11–23.
3. РМ-2696-01. Временная инструкция по расчету электрических нагрузок жилых зданий. М.: Изд-во ГУП «НИАЦ», 2001. 22 с.
4. Сидоров А.И., Таваров С.Ш. Нормирование электропотребления Республики Таджикистан с учетом климатических особенностей региона // Энергия единой сети. 2019. Т. 6-7, № 3. С. 70–75.
5. Таваров С.Ш. Удельное электропотребление бытового сектора с учётом температуры окружающего воздуха и территориального расположения Республики Таджикистан // Промышленная энергетика. 2019. Т. 7, № 7. С. 19–22.

УДК 621.31

### ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Тамсир Анн<sup>1</sup>, Маклецов А.М.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>tamsirhanne8@gmail, <sup>2</sup>mac.am@mail.ru

Представлена оптимизационная задача регулирования напряжения в электрических сетях 0,4–10 кВ. Указаны проблемы регулирования напряжения. Представлена упрощенная математическая формулировка задачи оптимизации напряжения в сетях 0,4–10 кВ для разработки методик ее решения.

**Ключевые слова:** регулирование напряжения, проблемы регулирования, ступенчатость регулирования, отпуск электроэнергии.

В настоящее время в электросетевых предприятиях действует руководящий документ РД 34.09.254 «Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений». Согласно п. 1.7 указанной инструкции предписана оптимизация напряжений в центрах питания

радиальных электрических сетей (секции сборных шин 6–10 кВ электростанций и подстанций). Однако из-за плохой наблюдаемости (недостатка информации о режимах) сетей 6–10 кВ, и особенно 0,4 кВ, оптимизация напряжений в центрах питания практически не производится. В настоящее время появились современные средства измерений и передачи информации о параметрах режима в реальном времени, что делает задачу оптимизации напряжений выполнимой.

При регулировании напряжения с помощью РПН (устройство регулирования напряжения под нагрузкой) трансформаторов в центрах питания в пределах суточных графиков нагрузки ответвления ПБВ (переключатель без возбуждения) не изменяются, что вызовет изменение напряжения у электроприемников и их мощности потребления в соответствии со статическими характеристиками нагрузки. Таким образом, при изменении напряжения будут изменяться следующие технико-экономические показатели электрических сетей:

- нагрузочные потери и потери холостого хода;
- потребление активной и реактивной мощности, изменение тока и нагрузочных потерь;
- отпуск электроэнергии и прибыль энергоснабжающей организации за счет услуг по передаче электроэнергии;
- качество электроэнергии.

На рисунке представлена схема электроснабжения потребителей 0,4–10 кВ.

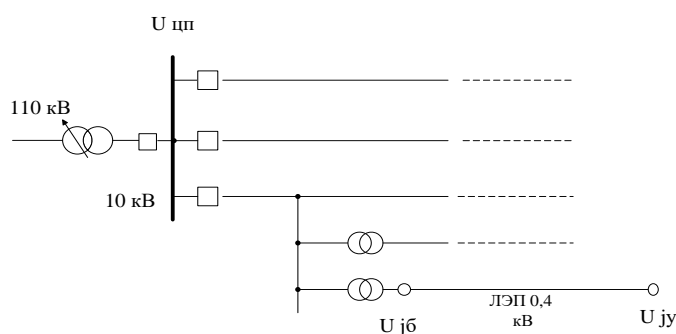


Схема электроснабжения потребителей 0,4–10 кВ:  $U_{ц.п}$  – регулируемое напряжение в центре питания;  $j$  – номер ТП 10/0,4 кВ;  $U_{j6}$  и  $U_{jy}$  – напряжение у  $j$ -го ближайшего и удаленного потребителя, соответственно

Для сетевой компании математическая формулировка задачи оптимизации напряжений на шинах 10 кВ подстанций (см. рисунок) имеет

вид: «Найти  $\max F = \sum_{i=1}^n [-A_i(U_{ц.п}) + \Delta W(U_{ц.п})]$  при следующих ограни-

чениях:  $U_{j\bar{b}} \leq U_{j\text{доп max}}$ ,  $U_{j\bar{y}} \geq U_{j\text{доп min}}$ , где  $n$  – число передающих элементов сети;  $A_i(U_{ц.п.})$  – потери электроэнергии в  $i$ -м передающем элементе сети;  $\Delta W(U_{ц.п.})$  – отпуск электроэнергии в сеть».

Для потребителей электроэнергии критерием оптимизации является экономия потребления при надлежащем качестве электроэнергии.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Задача регулирования напряжения в сетях 0,4–10 кВ является многокритериальной оптимизационной задачей с разными целевыми функциями для энергетических предприятий и потребителей электрической энергии.

2. Решение задачи усложняется ступенчатым характером регулирования напряжений.

### Литература

1. РД 34.09.254 Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений. М.: ВНИИЭ, 1998. 43 с.

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

УДК 621.316

## ПРОСТЕЙШАЯ МОДЕЛЬ ЗАТУХАНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ В ДЛИННОЙ ЛИНИИ

Тухватуллин Л.Т.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

leonidtk4@gmail.com

Науч. рук. Хузяшев Р.Г.

В данной статье исследовано затухание сигнала переходного процесса, представленного импульсным сигналом амплитудой  $U_0$  и длительностью  $T$ , с использованием простейшей модели длинной линии, построенной на основе  $RC$ -цепи.

**Ключевые слова:** затухание, переходной процесс, импульсный сигнал, длинная линия.

Простейшая модель затухания сигнала переходного процесса в длинной линии реализуется при замене длинной линии ее упрощенной моделью, состоящей из сосредоточенных  $RC$ -элементов, численные значения которых пропорциональны расстоянию, пройденному сигналом переходного процесса. Тогда при подаче на  $RC$ -цепь импульсного сигнала напряжение переднего фронта выходного сигнала будет описываться выражением:

$$u_c(t) = U_0(1 - e^{-t/\tau}). \quad (1)$$

Скорость этих процессов определяется постоянной времени  $\tau$ , равной произведению величин  $R$  и  $C$ . Она определяет время, за которое происходила бы зарядка конденсатора, если бы скорость зарядки сохранялась постоянной и равной ее значению в начале процесса.

Длительность переднего фронта выходного сигнала для данной модели зависит лишь от длительности входного сигнала, а максимальная амплитуда выходного сигнала достигается в момент времени  $t = T$ :

$$U_1 = U_0(1 - e^{-T/\tau}). \quad (2)$$

Задний фронт выходного импульса определяется выражением:

$$U_{\text{зад}} = U_1 e^{-(t-T)/\tau}. \quad (3)$$

Таким образом, амплитуда выходного сигнала описывается двумя разными функциями на двух временных интервалах. Параметры  $R$  и  $C$  моделируемой длинной линии увеличиваются прямо пропорционально расстоянию, проходимого сигналом переходного процесса.

Для того чтобы убедиться в целесообразности использования  $RC$ -цепочки в качестве простейшей модели затухания сигнала переходного процесса, было проведено сравнение затуханий амплитуд напряжения сигналов ПП в модели ВЛ, созданной в программном пакете PSCAD [1], и в  $RC$ -цепи.

Моделирование сигнала ПП в  $RC$ -цепи осуществлялось по формуле (2), согласно которой параметр  $\tau$  имеет пропорциональную зависимость от расстояния:

$$\tau = \tau_0 \cdot l^2, \quad (4)$$

где  $\tau_0$  – постоянная величина;  $l$  – расстояние пройденное сигналом (в данном случае значение  $l$  изменялось в интервале от 0 до 100 км с шагом в 20 км).

Если оценивать лишь затухание сигнала, то достаточно в (2) варьировать лишь отношение  $T/\tau$ . Например, сравним три графика кривых при разных  $T$  (рис. 1).

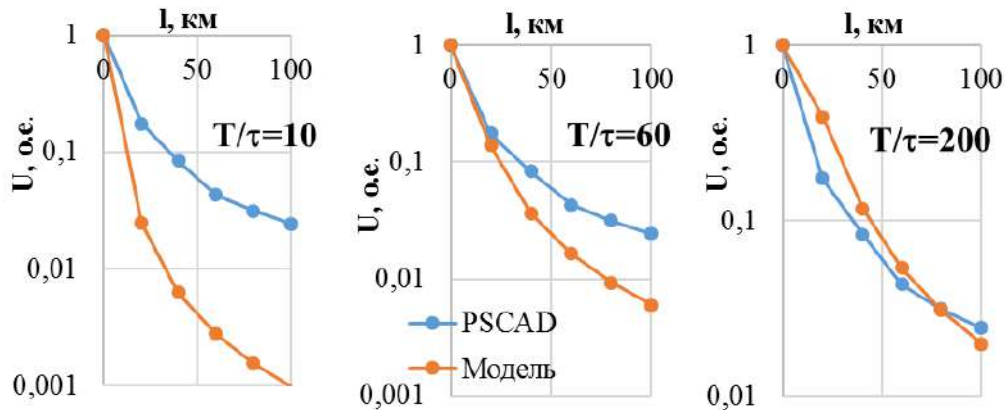


Рис. 1. Зависимости затухания при степени зависимости от расстояния 2

Как видно из рис. 1, для лучшего согласования PSCAD-кривой и модельной кривой надо изменять степень зависимости от расстояния, т. е. брать в (4) не  $l^2$ , а  $l^{1,3}$  (рис. 2).

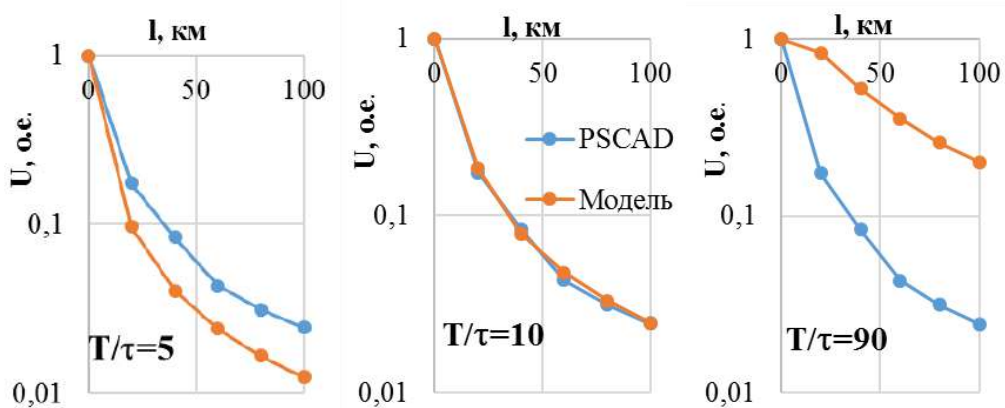


Рис. 2. Зависимости затухания при степени зависимости от расстояния 1,3

Из рис. 2 следует, что кривые совпадают при  $T/\tau_0 = 10$ . В этом случае амплитуды сигналов ПП в обеих моделях затухают практически одинаково. Полученный результат указывает на возможность использования простейшей модели затухания сигнала переходного процесса в виде  $RC$ -цепи при исследовании процессов его распространения в длинной линии.

## Литература

1. Хузяшев Р.Г., Тукаев С.М., Кузьмин И.Л. Исследование изменения временных параметров сигналов переходного процесса при распространении в распределительной сети 6(10) кВ для задачи определения места повреждения волновым методом // Энергобезопасность и энергосбережение. 2018. № 6. С. 5–17.

УДК 621.316

### КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖАЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

Фарахманд М.Н.<sup>1</sup>, Маклецов А.М.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>farahmandnazeem@gmail.com, <sup>2</sup>mac.am@mail.ru

Перетоки реактивной мощности ( $Q$ ) по передающим элементам электрических сетей существенно ухудшают их технико-экономические показатели (увеличиваются потери электроэнергии, дополнительно нагружаются линии электропередачи и трансформаторы). Избежать нежелательных последствий от потребления электроприемником большой реактивной мощности возможно с помощью применения устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ), что ранее активно использовалось потребителями. Однако в 2000 г. были отменены «Правила пользования электрической энергией», которые предусматривали включать в договоры на электроснабжение требования по компенсации реактивной мощности. В результате к настоящему времени компенсация реактивной мощности потребителями практически отсутствует (кроме потребителей, питающихся через собственные ЛЭП). В 2015 г. требования по компенсации реактивной мощности вновь закреплены соответствующим приказом Министерством энергетики РФ [1], но их можно применять только при изменениях уже существующих договоров на электроснабжение.

В настоящей работе представлена оценка целесообразности компенсации реактивной мощности не ее потребителями, а электросетевыми организациями.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, потери электроэнергии, компенсация реактивной мощности.

В качестве примера оценки целесообразности использования УКРМ электросетевой организацией рассматривается схема электроснабжения многоэтажного жилого дома, приведенная на рис. 1.



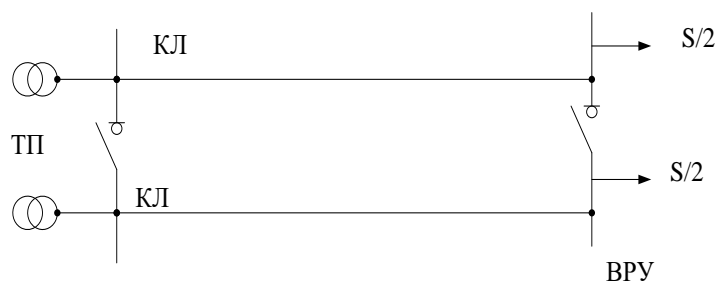


Рис. 1. Схема электроснабжения многоквартирного жилого дома (г. Казань, ул. Фучика): ТП – двухтрансформаторная подстанция с трансформаторами ТМГ-630; ВРУ – вводное распределительное устройство жилого дома; КЛ – кабельная линия АВВГ-70 длиной 200 м

Удельное сопротивление КЛ  $r_0 = 0,59$  Ом/км. КЛ находится на балансе сетевого предприятия. Основные потери от перетоков  $Q$  приходятся именно на эти КЛ (потери в тр-рах на порядок меньше). Эти потери электросетевая оплачивает практически по себестоимости поступающей в сеть электроэнергии ( $b_0 = 2$  руб/кВт·ч). Напряжение питающей сети – 380 В.

Суточный график нагрузки дома представлен на рис.2.



Рис. 2. Суточный график нагрузки многоквартирного дома

Расчет снижения потерь при компенсации  $Q$  производится на основе основных законов для электрических цепей [2].

Из графика видно, что  $Q$  практически постоянна. Следовательно, необходимо скомпенсировать 20 кВАр с помощью нерегулируемого УКРМ (удельная стоимость таких УКРМ –  $b_k = 900$  руб/кВАр).

Фазный реактивный ток КЛ:

$$I_{\phi} = \frac{Q}{1,73U} = \frac{10 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380} = 15,2 \text{ А.} \quad (1)$$

Активное сопротивление КЛ  $R_{\text{КЛ}} = 0,59/5 = 0,118 \text{ Ом}$ .

Потери мощности в 2-х трехфазных параллельно соединенных КЛ:

$$\Delta P = 2 \cdot 3 \cdot I_{\phi} \cdot R_{\text{КЛ}} / 2 = 163,5 \text{ Вт.} \quad (2)$$

Потери электроэнергии от перетоков  $Q$  за год:

$$\Delta W = \Delta P \cdot 8760 = 1432 \text{ кВт}\cdot\text{ч/год.} \quad (3)$$

Если скомпенсировать  $Q$ , то экономия средств за год составит:

$$\Delta A = \Delta W \cdot b_0 = 1432 \cdot 2 = 2864 \text{ руб./год.} \quad (4)$$

Простой срок окупаемости УКРМ:

$$T_{\text{ок}} = b_{\text{к}} \cdot Q / \Delta A = 900 \cdot 20 / 2864 = 6,28 \text{ лет.} \quad (5)$$

Такой срок окупаемости для электроэнергетического оборудования считается приемлемым.

Выводы:

1. При определенных обстоятельствах энергоснабжающим организациям целесообразно устанавливать УКРМ у потребителей на свои средства.

2. Целесообразность установки УКРМ должна иметь технико-экономические обоснования.

## Литература

1. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии [Электронный ресурс]: приказ от 23 июня 2015 г. № 380. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 27.01.2020).

2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. Ростов-н/Д: Феникс, 2008. 720 с.

## **СИСТЕМА ПОДЪЕМА И СПУСКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ С ПРОВОДОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Федоров А.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

fedorov\_96@inbox.ru,

Науч. рук. Садыков М.Ф.

Рассмотрена система подъема и спуска роботизированного комплекса для удаления гололедно-изморозевых отложений с проводов ЛЭП. Представлено краткое описание роботизированного комплекса. Проанализировано существующее техническое решение по подъему и спуску этого устройства, представлены его достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** воздушная линия электропередач, осмотр, диагностика, гололед.

На сегодняшний день можно уверенно говорить о том, что такие задачи, как диагностика линий электропередач и их обслуживание, в ближайшем будущем смогут решать именно мобильные полностью автономные роботы или роботы с дистанционным управлением. Применение роботов особенно целесообразно там, где жизнь человека может оказаться подверженной риску. Например, для профилактики высоковольтных ЛЭП, расположенных на высоте в десятки метров над землей, лучше всего подойдут именно роботы, грамотно сконструированные и должным образом настроенные.

Разрабатываемый «Роботизированный комплекс для удаления гололедно-изморозевых отложений на проводах воздушных ЛЭП» позволит значительно упростить, ускорить и механизировать процесс удаления гололеда с линий электропередач. Это устройство представляет из себя составной модуль из трех частей, питаемый от аккумуляторных батарей, который способен перемещаться по проводу и освобождать его от гололедно-изморозевых отложений. Устройство оснащено специальным режущим приспособлением из металла высокой прочности, скалывающим гололедные образования за счет толкающих усилий устройства. Роботизированный комплекс перемещается по проводу на специальных роликовых механизмах, приводимых в движение электрическими приводами.

Существующее техническое решение по реализации подъема и спуска роботизированного комплекса выглядит следующим образом: подъем осуществляется при помощи специальной пневматической пушки, которая забрасывает груз со шнуром через провод линии электропередач. Груз, перекинутый через провод в точке подвеса, спускается до земли. Затем оператор соединяет шнур с тросом на подъемном устройстве комплекса, включает режим размотки троса на подъемном устройстве и начинает протягивать трос через провод ЛЭП с помощью шнура. После этого оператор, фиксируя трос, включает режим намотки троса подъемного устройства, при этом роботизированный комплекс с помощью приводных механизмов начинает подъем по тросу. После того как роботизированный комплекс выполнил подъем, оператор включает команду на смыкание приводных роликов центральной секции комплекса, оставшиеся секции позиционируются на провод автоматически. После этого трос сматывается на катушку и позиционирование роботизированного комплекса считается завершенным. Спуск комплекса с провода происходит в обратной последовательности.

Предполагается, что эта разработка будет перемещаться по проводу, преодолевая типовые точки подвеса 5–10 пролетов вдоль этого провода, и разрушать образовавшийся гололед механическим, после чего оператор перенесет ее на следующую анкерную опору, затем процедура повторится. Для применения этого комплекс будет достаточно двух человек, которые будут передвигаться, например, на лыжах или снегоходе, а сам комплекс может перемещаться в специальном буксировочном транспортном контейнере.

На данный момент разработан и собран прототип центральной секции роботизированного комплекса. Проведены лабораторные испытания системы спуска и подъема. Выявлены некоторые ее недостатки и слабые стороны. Также проверена система захвата и позиционирования этой секции на проводе. По результатам этих испытаний выяснилось, что система захвата тоже нуждается в доработке.

Из вышеизложенного следует, что существующее техническое решение по реализации подъема и спуска роботизированного комплекса и его системы позиционирования на проводе требуется модернизировать и доработать. В связи с этим существует необходимость в анализе активно

используемых систем спуска и подъема уже существующих роботизированных устройств для последующего применения наиболее подходящих технических решений в разрабатываемом роботизированном комплексе.

### Литература

1. Автоматическая система удаления льда с проводов линий электропередач [Электронный ресурс] / В.А. Соловьев [и др.]. URL: <https://docplayer.ru/42932466-Avtomaticheskaya-sistema-udaleniya-lda-s-provodov-linii-elektroperedach.html> (дата обращения: 30.01.2020).

2. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. Новосибирск: Наука, 2009. 135с.

3. Борьба с гололедом – Эксплуатация воздушных линий электропередачи [Электронный ресурс] // Энергетика: оборудование, документация. URL: [http://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatacii/vl/ekspluataciya-vozdushnyh-linii-ektroperedachi\\_4.html](http://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatacii/vl/ekspluataciya-vozdushnyh-linii-ektroperedachi_4.html) (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 621-313.3

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ВАРЗОБСКОГО РАЙОНА ТАДЖИКИСТАНА

Хайдаров М.Х.<sup>1</sup>, Валеев И.М.<sup>2</sup>, Макаров В.Г.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

<sup>1</sup>mhairarov23@mail.ru, <sup>2</sup>ilgizvaleev@yandex.ru

Описана Варзобская ГЭС-2, её состав, установленная мощность. Выявили актуальность данной темы. Разобрали причины технических неисправностей.

**Ключевые слова:** прогнозирование, электропотребление, трансформатор, надёжность, водосброс, турбины.

На данный момент прогнозирование электропотребления электрической энергии является актуальной, так как прогноз не всегда может соответствовать действительности. Для этого следует повысить качество и надёжность используемого оборудования.

В настоящее время Варзобская ГЭС-2 является одной из старейших гидростанций в Таджикистане. Начало строительства ГЭС – 1943 год, первый гидроагрегат пущен в 1949 году, в том же году сооружение ГЭС было завершено. Состав сооружений ГЭС: водозаборное сооружение с холостым водосбросом на отводящем канале Верхне-Варзобской ГЭС, деривационный канал, акведук по трассе канала, напорный бассейн, водоприёмник, напорный трубопровод, уравнильный резервуар, здание затворов, два напорных трубопровода, здание ГЭС – отводящий канал, переходящий в деривационный канал Варзобской ГЭС-3, ОРУ 35/110 кВ [1].

Мощность ГЭС – 14,4 МВт, среднегодовая выработка – 93 млн кВт·ч. В здании ГЭС установлено два гидроагрегата с радиально-осевыми турбинами РО 115/697, работающими на расчётном напоре 76 м и генераторами мощностью по 7,2 МВт [2].

Технологические неисправности, которые могут возникнуть вследствие функциональных отказов оборудования ГЭС:

- 1) отставание вводов новых мощностей;
- 2) рост потребления электроэнергии, не обеспеченный вводами;
- 3) остановка работающих генераторов;
- 4) недостаточное развитие электрических сетей с их неспособностью передать необходимую мощность потребления в отдельный район энергосистемы;
- 5) отказ системы электроснабжения [3].

Также причиной аварии на ГЭС могут стать природные условия, вина персонала, пожар.

Оборудование ГЭС устарело и требует реконструкции: необходимо заменить турбины, трансформатор, построить автоматический холостой водосброс, смонтировать дисковые затворы. Проведя данные операции, можно увеличить точность и надёжность прогнозирования электропотребления и мощность в агрегате.

## Литература

1. Автоматизированные системы управления в энергосбережении (опыт разработки): монография / Л.С. Казаринов [и др.]; под ред. Л.С. Казаринова. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ; Изд-ль. Т. Лурье, 2010. 228 с.
2. Агеева Е.В., Власова Ю.В., Коган Ю.М. Проблемы прогнозирования потребности в электроэнергии как база для проектирования региональной электроэнергетики // Энергетик. 2008. № 6. С. 9–11.
3. Использование современных подходов и методов для прогнозирования электропотребления / Борцов Ю.А. [и др.] // Электротехника. 2006. № 8. С. 30–35.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕТЕЙ 10 КВ КОТЛАССКОГО РЭС  
АРХАНГЕЛЬСКОГО ФИЛИАЛА ПАО «МРСК СЕВЕРО-ЗАПАДА»  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КОТЛАССКОГО РАЙОНА  
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Хайдуков А.Г.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

andreix777@mail.ru

Науч. рук. Маклецов А.М.

Предложен к рассмотрению пример автоматизации двух воздушных линий 10 кВ Котласского РЭС – Архангельского филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» для повышения надежности электроснабжения потребителей Котласского района Архангельской области. Представлены прогнозируемые результаты внедрения автоматизации сетей 10 кВ в Котласском РЭС, выразившиеся в снижении показателей SAIFI не более 4,0 отключений в год (*System Average Interruption Frequency Index* – среднее число перерывов на одного потребителя, который был отключен, в течение определенного периода времени) и SAIDI не более 48,0 ч/год (*System Average Interruption Duration Index* – среднее время отключения одного потребителя в системе) и снижение эксплуатационных затрат в части аварийного, ремонтного и оперативного обслуживания воздушной линии 10 кВ.

**Ключевые слова:** автоматизация сетей 10 кВ, реклоузеры, индекс SAIFI, индекс SAIDI, надежности электроснабжения потребителей.

Основными проблемами, приводящими к относительно низкой надёжности сети 10 кВ, являются:

1) наличие оборудования, требующего длительных регламентных работ и имеющего невысокую надёжность;

2) отсутствие:

– двукратного автоматического повторного включения (АПВ) на установленных коммутационных аппаратах в некоторых местах, что снижает вероятность ликвидации неустановившихся повреждений;

– телеуправления находящимися в сети коммутационными аппаратами, что повышает время локализации аварийного участка;

– линейного автоматического включения резерва (АВР) (как при коротких замыканиях (КЗ), так и при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ));

3) ограниченное использование автоматического деления линии на участки, что увеличивает время локализации аварии.

В связи с вышеперечисленными проблемами предлагается следующий вариант реконструкции сети:

1) реконструкция ячеек фидеров питающих подстанций с установкой (по мере необходимости) выключателей, позволяющих выполнять двукратное автоматическое повторное включение (АПВ), и микропроцессорных реле, позволяющих обеспечить координацию с линейными аппаратами (как при коротких замыканиях (КЗ), так и однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ));

2) объединение радиальных фидеров в кольцевые там, где это возможно с реализацией функции линейного (сетевое) автоматического включения резерва (АВР);

3) оптимальная расстановка реклоузеров в сети с реализацией функций сетевого автоматического включения резерва (АВР);

4) исключение из сети лишних коммутационных аппаратов;

5) оптимальное программирование указанных коммутационных аппаратов.

В связи с вышеперечисленными проблемами предлагается к рассмотрению пример частичной реконструкции сети распределенной автоматизации (для рассмотрения представлены две воздушные линии 10 кВ от разных центров питания, имеющие возможность взаимного резервирования).

При определении требуемого количества реклоузеров для реконструкции сети принимаем, что на выключателях в центрах питания установлено двукратное АПВ.

По известной методике определяются показатели SAIFI до и после реконструкции сети.

По результатам расчетов разработана схема объединенного фидера Ф.311-05 – Ф.318-06, представленная на рисунке, с установкой шести реклоузеров.

Сводные показатели надежности двух фидеров Котласского РЭС представлены в таблице.

#### Показатели надежности

Фидер	SAIFI, откл./год		SAIDI, ч/год	
	до реконструкции	после реконструкции	до реконструкции	после реконструкции
311-05	25,0	6,0	234,98	37,0
318-06	5,0	4,0	80,02	24,0



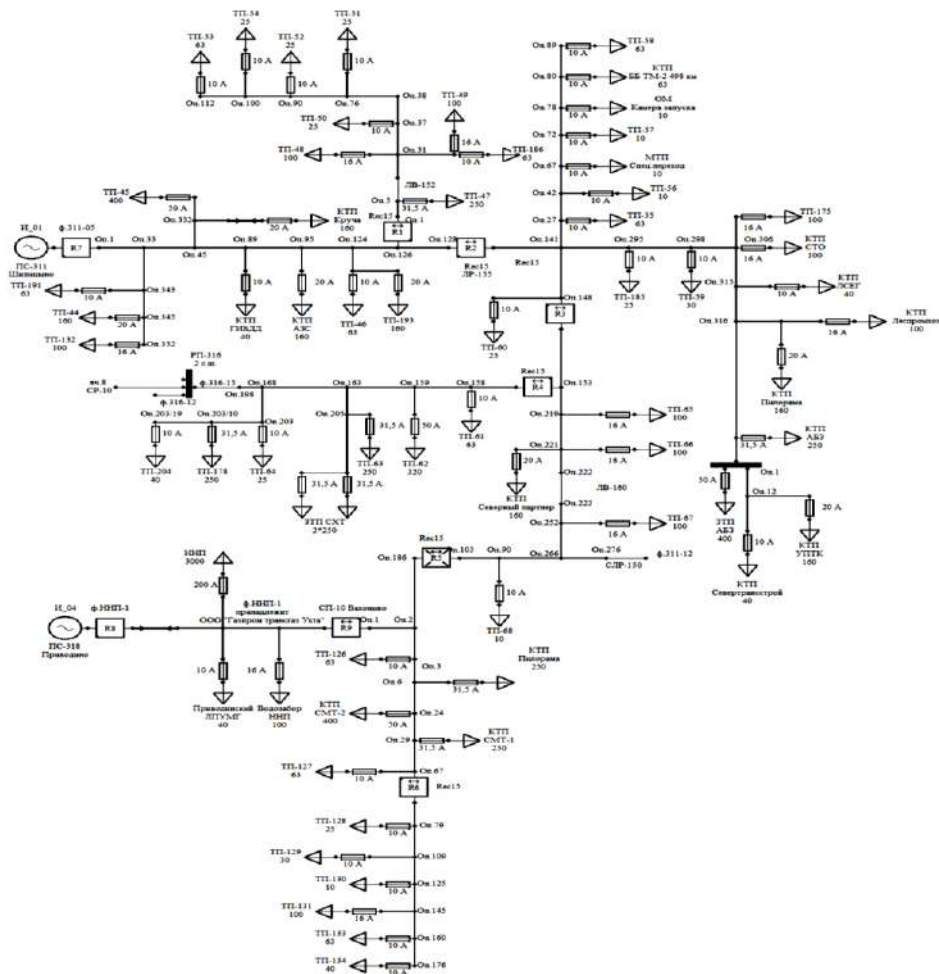


Схема объединенного фидера Ф.311-05 – Ф.318-06

Внедрение реклоузеров в распределительные сети 10 кВ является перспективным, технологически оправданным мероприятием и отвечает Концепции технического перевооружения электрических сетей РАО «ЕЭС России». Их применение позволяет снизить ущерб от недоотпуска электроэнергии и повысить надежность электроснабжения.

## Литература

1. Васильева Т.Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения: монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 153 с.
2. Реклоузер REC15 – Инструкция по монтажу и пусконаладке (Rec15\_A11\_R5) [Электронный ресурс] // Таврида Электрик. URL: [https://www.tavrida.com/upload/iblock/bd3/TER\\_RecDoc\\_HIG\\_4.pdf](https://www.tavrida.com/upload/iblock/bd3/TER_RecDoc_HIG_4.pdf) (дата обращения: 15.01.2020).
4. Хасанзянов Б.Ф. О реклоузерах // Молодой ученый. 2014. № 7. С. 188–190.

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОСЦИЛЛОГРАММ

Шакиров Д.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dinar.shakirov.1996@bk.ru

Науч. рук. Хузяшев Р.Г.

Рассмотрены вопросы выбора критерия анализа экспериментальных осциллограмм. Показано, что точность аппроксимации зависит от числа удерживаемых гармоник. Предложен критерий определения числа гармоник, который обеспечивает коэффициент корреляции между измерениями (в виде массивов цифровых данных) и их аппроксимацией рядами Фурье, равный единице.

**Ключевые слов:** ряды Фурье, гармонические составляющие, коэффициент корреляции, осциллограф.

Измерение напряжений и токов в электрических сетях часто производится цифровыми осциллографами. В основе их работы лежит преобразование входных аналоговых сигналов в набор цифровых данных. Использование этих массивов с целью анализа установившихся периодических режимов работы обуславливает необходимость обратного преобразования дискретных данных в непрерывные функции времени. Как следствие, по результатам измерения можно получить некоторую аппроксимирующую функцию.

В случае периодических функций чаще всего аппроксимация осуществляется рядами Фурье. Данной тематике посвящено значительно количество научных работ, например [1].

Для решения задачи аппроксимации задается некая точность, связанная с тем, что отличие результатов математического моделирования от экспериментальных данных должно лежать в разумном пределе. В случае использования Фурье преобразования к осциллограммам, итоговая погрешность зависит от таких факторов, как погрешность АЦП, наличие во входном сигнале электромагнитных помех и от количества гармоник в ряде Фурье.

Следует также учитывать, что на точность работы цифровых осциллографов влияют:

- 1) «шум квантования», как следствие разрядности АЦП;
- 2) «апертурная погрешность», появляющаяся из-за дрожания фронта синхросигнала.

Рациональный выбор модели используемого осциллографа ещё на этапе планирования эксперимента позволяет уменьшить эти составляющие. Дополнительное снижение погрешности является само-функцией ряда Фурье при конечном числе гармоник.

Это объясняется тем, что частота синхронизации и частота дрожания фронта синхросигнала, как правило, существенно больше частоты последней удерживаемой гармоники в ряде Фурье.

Очевидно, что определение числа гармоник обеспечивающие заданную точность аппроксимации должно соответствовать некоему критерию.

При ошибочном выборе происходит:

а) чрезмерное увеличение погрешности при малом количестве гармоник. Например, в работе [2] при аппроксимации тока используется только сумма первой и третьей гармоник;

б) бессмысленное увеличение времени расчётов вследствие избыточного числа гармоник. Примером такой работы является [1], в которой без каких-либо пояснений для расчета тока используется 6000 гармоник.

Анализ исследовательской деятельности по изучению режимов работы электрических сетей с использованием рядов Фурье позволяет сделать вывод о том, что вопрос выбора количества гармонических составляющих по какому-либо критерию или определению точности результатов аппроксимации либо рассмотрены достаточно слабо, либо полностью проигнорировано. Наличие во входных сигналах АЦП электромагнитных помех, частота которых сопоставима с частотой полезного сигнала, приводит к невозможности точного расчёта реальной погрешности измерения.

Очевидно, что так как АЦП осуществляет преобразование всей суммы сигналов вместе с помехой, а не только полезного сигнала, то существует возможность определения только оценки погрешности измерения. Несмотря на это, адекватность измеряемой величины (в виде массива цифровых данных на выходе АЦП) и результата аппроксимации рядом Фурье может быть проанализирована путем расчета коэффициента корреляции  $R$  между ними.

Воспользуемся следующей формой записи ряда Фурье с конечным числом учитываемых гармоник:

$$f(t) = \sum_{n=1}^m A_n \sin(2\pi \cdot f \cdot n \cdot t + \alpha_n), \quad (1)$$

где  $n$  – номер гармоники;  $A_n$  и  $\alpha_n$  – амплитуда и начальная фаза  $n$ -й гармоники.

Обозначим аппроксимацию измеренных величин  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $i$  рядами Фурье в виде:

$$U_{1Fv}(t) = \sum_{s=1}^v \sqrt{2}U_{1(2s-1)} \cdot \sin\left((2s-1) \cdot 2\pi ft + \beta_{1(2s-1)}\right); \quad (2)$$

$$U_{2Fv}(t) = \sum_{s=1}^v \sqrt{2}U_{2(2s-1)} \cdot \sin\left((2s-1) \cdot 2\pi ft + \beta_{2(2s-1)}\right); \quad (3)$$

$$U_{2Fv}(t) = \sum_{s=1}^v \sqrt{2}U_{1(2s-1)} \cdot \sin\left((2s-1) \cdot 2\pi ft + \beta_{2(2s-1)}\right); \quad (3)$$

$$i_{Fv}(t) = \sum_{s=1}^v \sqrt{2}I_{1(2s-1)} \cdot \sin\left((2s-1) \cdot 2\pi ft + \alpha_{(2s-1)}\right), \quad (4)$$

где  $U_{1(2s-1)}$ ,  $U_{2(2s-1)}$ ,  $I_{1(2s-1)}$ ,  $\beta_{1(2s-1)}$ ,  $\beta_{2(2s-1)}$ ,  $\alpha_{(2s-1)}$  – действующие значения и начальные фазы гармоник напряжения и тока.

Проведенный в [2] анализ экспериментальных данных показывает, что коэффициенты корреляции  $Ri_v = Ru1_v = Ru2_v = 1$ , в свою очередь это свидетельствует о наличии положительной линейной связи между измерениями  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $i(t)$  (в виде массивов цифровых данных а выходе АЦП) и результатами их аппроксимации рядами Фурье.

Таким образом предложен критерий определения числа удерживаемых гармоник рядов Фурье для аппроксимации напряжений и тока в сети. Применение указанного критерия позволяет получить значение  $R$  между массивом цифровых данных и их аппроксимацией рядами Фурье, равное единице.

## Литература

1. Ланкин А.М. Метод измерения вольтамперной характеристики устройств // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 246.
2. Федоров В.Л. Критерий определения числа гармоник рядов Фурье, аппроксимирующих напряжения и тока // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 82–89.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЛ 110–500 кВ. ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ

Яхин Ш.Р.<sup>1</sup>, Черланов Е.А.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>reventon.201223@gmail.com, <sup>2</sup>godonegg@yandex.ru

Науч. рук. Воркунов О.В.

Представлены современные методы определения места повреждения воздушных линий 110–500 кВ, современное оборудование, применяемое при определении места повреждения, сравнение точности применяемых методов, поэтапно рассмотрен случай определения места повреждения короткого замыкания воздушной линии.

**Ключевые слова:** определение места повреждения (ОМП), волновой метод ОМП, определение короткого замыкания, высокое напряжение.

На сегодняшний день в Татарстане осуществляют передачу электроэнергии тысячи километров воздушных линий 110кВ и выше. Это число постоянно растет, как и количество потребителей. Физический износ электрических сетей ведет за собой возникновение аварийных ситуаций, нарушениям межсистемных связей и перебоям электроэнергии как частных потребителей, так и крупных предприятий. С ростом потребления электроэнергии растет и ущерб при аварийных ситуациях в энергосистеме. В связи с этим ужесточаются требования к устройствам определения места повреждения (ОМП).

Современные устройства и методы ОМП совершенствуются с целью уменьшения погрешности места повреждения, а значит, снижения времени поиска и устранения неисправности, уменьшая ущерб для энергосистемы и потребителей. Наиболее точными методами определения повреждения являются волновые методы двусторонних измерений.

Целью данной работы является ознакомление с волновым методом определения места повреждения, применения современного оборудования, анализ графиков и разбора реальных случаев определения места ОМП.

Волновые методы двусторонних измерений базируются на отсчет времени между моментами достижения концов воздушных линий электропередач фронтами электромагнитных волн, возникших в месте короткого замыкания [1]. Непосредственно данный метод отличается высокой точностью ОМП (150–500 м), что характеризуется слабой

зависимостью контролируемых величин от режима работы электрической сети, величины переходного сопротивления в месте короткого замыкания и вида короткого замыкания [2]. Для сравнения, характеристики современных ОМП приведены в таблице.

### Характеристики применяемых ОМП

№	Марка	Способ ОМП	Погрешность ОМП, указанная производителем
1	Qualitrol IDM+ 9 (IDM+18, IDM+36) (США)	Метод по параметрам аварийного режима, волновой метод двусторонних измерений	$\pm 150$ м
2	Qualitrol FL-1 (FL-8) (США)	Волновой метод двусторонних измерений	$\pm 60$ м
3	Qualitrol TWS Mk VI (США)	Волновой метод двусторонних измерений	$\pm 150$ м
4	ISA TFS 2100 (Италия)	Волновой метод двусторонних измерений, волновой метод односторонних измерений	$\pm 50$ м
5	Alstom Reason/RPV-310 (Франция)	Односторонний метод по параметрам аварийного режима, волновой метод двусторонних измерений	$\pm 100$ м
6	Бреслер-0107.090 (Россия)	Односторонний и двусторонний по параметрам аварийного режима, волновой метод двусторонних измерений	3 % (односторонний по параметрам аварийного режима); 1 % (двусторонний по параметрам аварийного режима), $\pm 150 \div \pm 450$ м (волновой метод двусторонних измерений)

Рассмотрим метод определения точки повреждения на примере терминала российского производства «Бреслер-0107.090».

Терминал «Бреслер-0107. 090.В1» работает со специализированным модулем, позволяющим параметрическими методами определить место повреждения на принципе двусторонних волновых измерений. На рис. 1 показано распространение электромагнитных волн от места повреждения к концам ЛЭП.

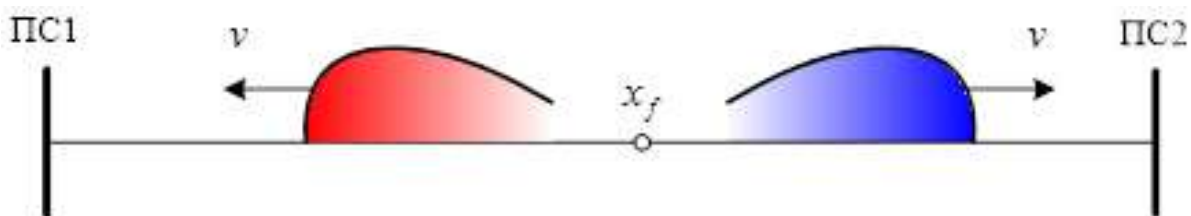


Рис. 1. Распространение волн к концам ЛЭП

Волны достигают первой и второй шин подстанции в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , соответственно. Отрезки времени достижения волнами концов ЛЭП отслеживаются приёмниками ГЛОНАСС или GPS. Учитывая скорость распространения электромагнитной волны в воздушной линии, длиной  $L$  и разность времени распространения волн  $\Delta t$  определяется расстояние до места повреждения.

Электромагнитная волна изображена на графике сигнала тока. На рис. 2 показаны осциллограммы токов поврежденной фазы, зафиксированные аппаратурой в начале и конце ВЛ, с указанием величины  $\Delta t$ .

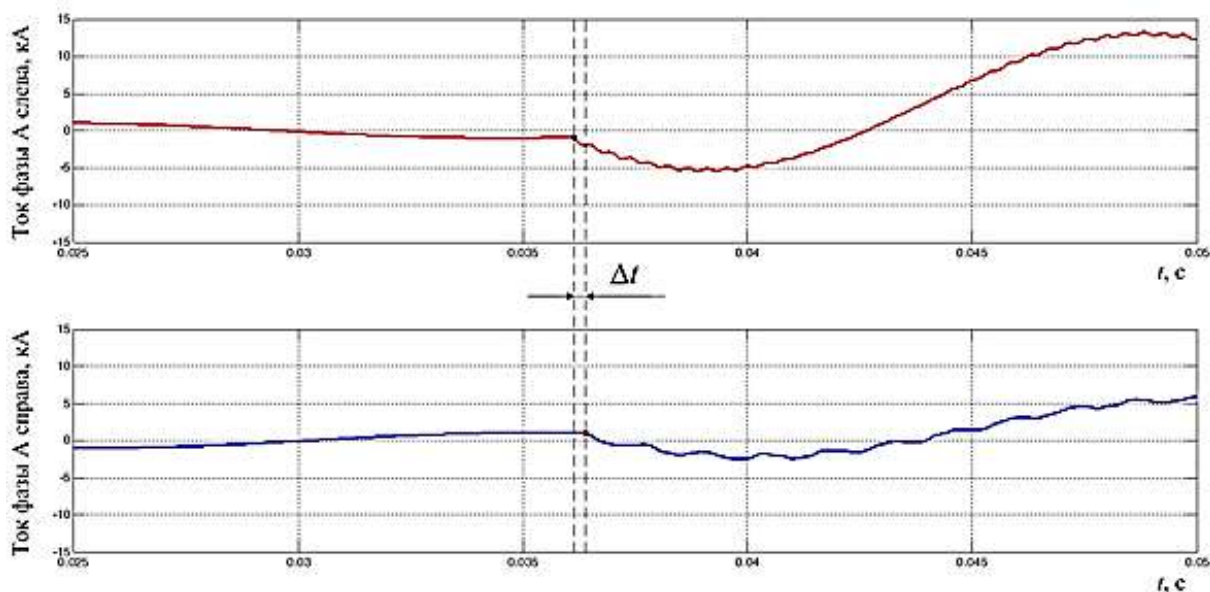


Рис. 2. Токи однофазного замыкания по концам линии

Терминалы приема сигнала синхронизируются посредством глобального времени и проводят мониторинг электрических величин на концах линий (рис. 3). При возникновении повреждения пусковые органы выделяют отрезок ВЧ-сигнала, затрагивающий участки и нормального режима, и режима повреждения. Затем производится обработка

высокочастотного сигнала и измерение отрезков времени  $t_1$  и  $t_2$ , значения которых синхронизируются с полукомплектами. Каждый из них вычисляет величину  $\Delta t$  и расстояние до точки короткого замыкания  $x_f$ .

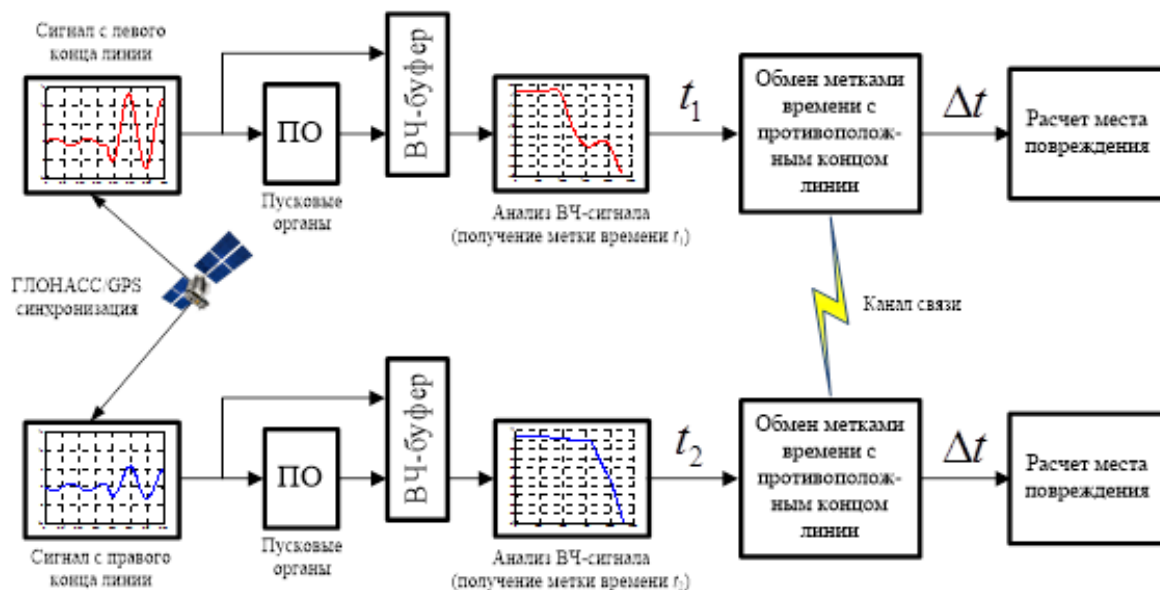


Рис. 3. Функциональная схема алгоритма волнового ОМП

На рис. 4 зафиксировано появление волны при КЗ фазы А на землю. При этом в момент появления волны коэффициент эксцесса по аварийным составляющим начинает резко возрастать.

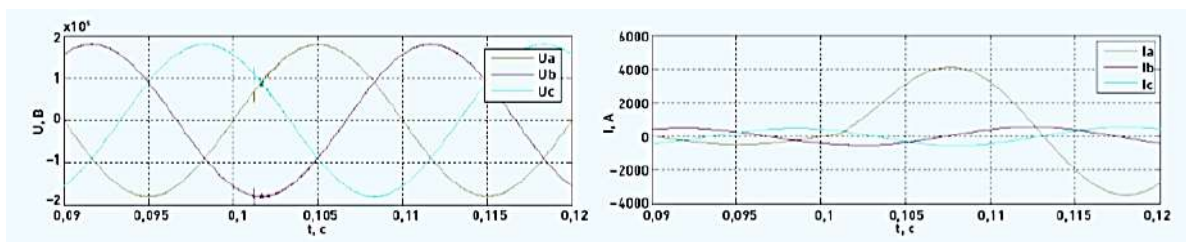


Рис. 4. Осциллограммы напряжений и токов КЗ фазы А на землю

Опыт применения волнового метода двусторонних измерений еще раз подтверждает его точность при различных помехах (например, высокое переходное сопротивление) и при использовании разных типов линий (продольно-компенсированные, длинные линии, многоконтурные линии с кабельными участками) и надежность. Внедрение этого метода позволит сократить время поиска места повреждения воздушной линии и минимизирует потери, созданные аварийной ситуацией.



## Литература

1. Шалыт Г.М. Определение мест повреждений в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.
2. Устройство определения места повреждения Qualitrol TWS Mk VI [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qualitrolcorp.com/Products/TWS MkVI Traveling wave fault locator> (дата обращения: 05.03.2020).
3. Поликара Р. Введение в вейвлет-преобразование [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autex.spb.su> (дата обращения: 05.03.2020).
4. Лачугин В.Ф., Панфилов Д.И., Смирнов А.Н. Реализация волнового метода определения места повреждения на линиях электропередачи с использованием статистических методов анализа данных // Известия РАН. Энергетика. 2013. № 6. С. 137–146.
5. Опыт применения регистраторов синхронизированных измерений токов и напряжений на ВЛ 110 кВ / Краснышов С.В. [и др.] // Электрические станции. 2010. № 9. С. 23–31.

## Секция 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

УДК 621.311.1

### МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ НАРУШЕНИЙ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Айсина Т.Х.<sup>1</sup>, Сошинов А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>КТИ (филиал) ВолгГТУ, г. Камышин

<sup>1</sup>t\_aysina@mail.ru, <sup>2</sup>epp@kti.ru

Науч. рук. Сошинов А.Г.

Одним из показателей качества электрической энергии в электрических сетях, который наиболее часто нарушается, является коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ . В статье предложены основные формулы для расчётов коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$  и способы снижения несимметрии напряжения в электрических сетях.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности, способы снижения несимметрии напряжения.

Работы по обеспечению качества электрической энергии, в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013 [1], на сегодняшний день являются актуальными и требуют оперативного решения. Одной из основных причин снижения качества электрической энергии и увеличения потерь мощности в сети является несимметрия напряжений и токов. Одним из показателей качества электрической энергии в электрических сетях, который наиболее часто нарушается, является коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности  $K_{0U}$ .

В практических расчетах коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности можно определить по формуле [2]:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $U_{0(1)}$  – действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений;  $U_{1(1)}$  – действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений. Допускается вычислять  $K_{0U}$  по формуле:

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{\text{ном.ф}}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $U_{\text{ном.ф}}$  – номинальное значение фазного напряжения.

Измерение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности проводят в четырехпроводной сети. Относительная погрешность определения  $K_{0U}$  по формулам:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100; \quad (3)$$

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{\text{ном.ф}}} \cdot 100, \quad (4)$$

численно равна значению отклонений напряжения  $U_{1(1)}$  от  $U_{\text{ном}}$ .

Предельно допустимое значение коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности не должно превышать 4 %.

Если в результате расчетов получаем  $K_{0U\text{доп}} < K_{0U}$ , то следует предпринимать действия по снижению несимметрии напряжений. Известны следующие способы снижения несимметрии напряжения [2]:

1. Перераспределение однофазных нагрузок. Это наиболее простой и доступный способ. Он не требует дополнительных капитальных затрат. Его применение позволяет существенно уменьшить несимметрию напряжений и токов в электрических сетях с коммунальной, бытовой и смешанной нагрузками.

2. Снижение сопротивления нулевой последовательности элементов электрической сети. Уменьшение сопротивления нулевой последовательности её отдельных элементов сокращает дополнительные потери мощности, обусловленные несимметрией токов в сети 380 В. Вместе с тем

исследованиями установлено, что уменьшение сопротивления  $R_0$  сети приводит к увеличению в ней токов нулевой и обратной последовательностей.

3. Применение замкнутых и полужамкнутых схем сети. Снижение несимметрии токов за счёт дополнительного эффекта выравнивания нагрузок фаз может быть получено при переводе сети 0,4 кВ в режим полужамкнутой или замкнутой сети. В первом случае замыкается сеть, питающаяся от одного распределительного трансформатора (РТ), во втором от нескольких РТ.

4. Поперечная компенсация реактивной мощности. Основное назначение поперечной компенсации – повышение коэффициента мощности. Размещение конденсаторов в основном принято выполнять по принципу наибольшего снижения потерь мощности в электрических сетях. Немаловажное значение при этом имеет повышение уровня напряжения, сопровождающее установку конденсаторов. В ряде случаев размещение конденсаторов может быть подчинено именно этому условию.

Одним из основных средств обеспечения нормированных отклонений напряжения является установка трансформаторов 35–110/10 кВ с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой (АРПН). На всех подстанциях 35–110 кВ при проектировании должны предусматриваться трансформаторы с АРПН либо устройства, их заменяющие. Отказ от применения трансформаторов с АРПН требует специального обоснования. В качестве дополнительных средств обеспечения нормированных уровней напряжения рекомендуется:

- установка конденсаторов поперечного включения;
- увеличение сечений проводов на отдельных участках линий электропередачи;
- установка линейных регулировочных автотрансформаторов в линиях 10 кВ [3].

Авторами установлено, что на практике в настоящее время при обнаружении проблем с несимметрией напряжения проводится замена обычных трансформаторов на трансформаторы с симметрирующей обмоткой. Данные симметрирующие трансформаторы значительно уменьшают сопротивление нулевой последовательности. Это повышает токи коротких замыканий в фазах и требует изменений регулировок работы релейной защиты [4].

Целью данной работы являлись: определение основных методов расчёта коэффициентов несимметрии напряжения по нулевой последовательности и анализ наиболее действенных способов снижения несимметрии напряжения в коммунально-бытовых и смешанных электрических сетях.

В результате проведённого авторами анализа можно сделать вывод, что для улучшения нормативных показателей качества электрической энергии в электрических сетях необходимо осуществлять периодический мониторинг и контроль основных показателей качества напряжения [5].

Направлением дальнейших исследований является исследование влияния медленно изменяющегося напряжения на качество электрической энергии.

### Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2013. 16 с.

2. Дулепов Д.Е., Тюндина Т.Е. Расчёт несимметрии напряжений СЭС // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. 2015. № 4 (47). С. 35–42.

7. Герман Л.А., Бородулин Б.М. Продольная емкостная компенсация в системе тягового электроснабжения переменного тока (расчет, размещение и режимы работы): учеб. пособие. М.: РОАТ, 2009. 37 с

4. Оценка качества электроэнергии в распределительных сетях / В.Н. Тульский [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 6 (57). С. 118–123.

5. Дед А.В., Сикорский С.П. Смирнов П.С. Результаты измерений показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения предприятий и организаций // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 60–63.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Алимова А.Н.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aan-678@rambler.ru

Науч. рук. Грачева Е.И.

Исследована надежность функционирования оборудования электроснабжения относительно присоединений потребителей низковольтных распределительных устройств. Эффективность функционирования систем электроснабжения находится в зависимости от каждого отдельного элемента в ее составе. Для повышения надежности и качества работы систем электроснабжения необходимы новые решения: внедрение информационной системы о параметрах оборудования и текущем ресурсе с прогнозом возможных значений его предельных оценок, разработка компоновочных схем установки электротехнического и технологического оборудования.

**Ключевые слова:** электроэнергия, надежность, электроснабжение, интенсивность отказов, вероятность отказов, коэффициент отношения.

К системам электроснабжения (СЭС) предъявляются высокие требования обеспечения эффективности функционирования. В СЭС средняя продолжительность останова питания составляет 3–4 часа в год, что определяет коэффициент готовности  $K_T = 0,99971$ .

Уменьшение значений параметров надежности функционирования СЭС определяется изменением условий эксплуатации, которые определяются либо увеличением реального электропотребления, либо несвоевременным вводом в работу электрооборудования [1]. Воздействие условий, понижающих надежность оборудования, можно свести к минимуму, улучшив режимные параметры, выбрав оптимальную схему и обеспечив рациональный резерв [2, 3].

Исследуем параметры надежности системы на примере участка цеховой сети. Для первой и второй секций шин (I СШ и II СШ) схемы, изображенной на рис. 1, определим интенсивность отказов и среднюю вероятность отказа.

Проведем сравнительный анализ параметров надежности рассматриваемой схемы относительно распределительных устройств низкого напряжения, используя статистические данные отказов электрооборудования.

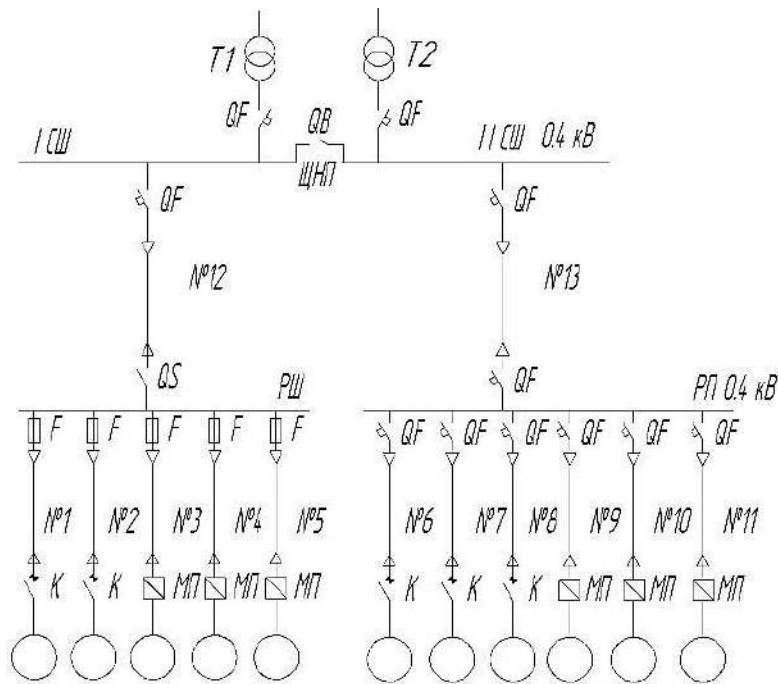


Рис. 1. Схема участка низковольтной цеховой сети

Определим вероятность  $P_C$  безотказной работы присоединений схемы относительно ШР в течение 7 лет эксплуатации:

$$P_C(t = 1\text{-й год}) = 0,957; P_C(t = 2\text{-й год}) = 0,913; P_C(t = 3\text{-й год}) = 0,798;$$

$$P_C(t = 4\text{-й год}) = 0,586; P_C(t = 5\text{-й год}) = 0,411; P_C(t = 6\text{-й год}) = 0,250;$$

$$P_C(t = 7\text{-й год}) = 0,110.$$

Вероятность безотказной работы присоединений схемы относительно ПР в течение 10 лет эксплуатации составит:

$$P_C(t = 1\text{-й год}) = 0,995; P_C(t = 2\text{-й год}) = 0,991; P_C(t = 3\text{-й год}) = 0,987;$$

$$P_C(t = 4\text{-й год}) = 0,969; P_C(t = 5\text{-й год}) = 0,948; P_C(t = 6\text{-й год}) = 0,938;$$

$$P_C(t = 7\text{-й год}) = 0,909; P_C(t = 8\text{-й год}) = 0,825; P_C(t = 9\text{-й год}) = 0,700;$$

$$P_C(t = 10\text{-й год}) = 0,435.$$

Построим графики зависимостей вероятности безотказной работы присоединений схемы относительно ШР и ПР по статистическим данным отказов электрооборудования и результатам расчетов параметров надежности аналитическим методом от времени эксплуатации (рис. 2).

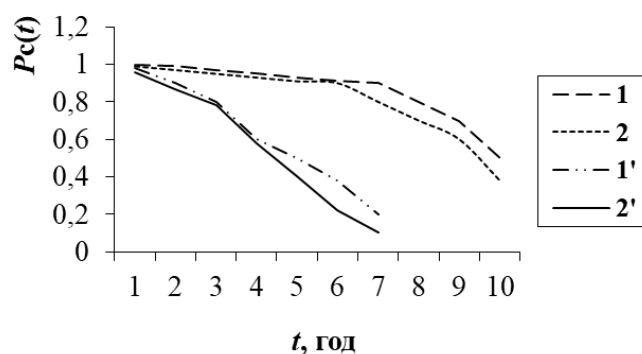


Рис. 2. Изменение вероятности безотказной работы присоединений схемы относительно ШР и ПР в течение 7 (кривые 1 и 2) и 10 лет (кривые 1' и 2') эксплуатации, соответственно

По результатам проведенного исследования получается, что наименьшее расхождение параметров (до 10 %) у схем с автоматическими выключателями на каждое присоединение в первые 7 лет, а наибольшее расхождение, начиная с 5-го года эксплуатации (20 %) для схем с установленными предохранителями.

Введем понятие «коэффициента отношения» в табл. 1, где  $P_1(t), \dots, P_5(t)$  – вероятность безотказной работы каждого из пяти присоединений нагрузки;  $k_1, \dots, k_4$  – коэффициенты отношения вероятностей указанных присоединений:

$$k_1(t) = \frac{P_2(t)}{P_1(t)}, \quad k_2(t) = \frac{P_3(t)}{P_1(t)}, \quad k_3(t) = \frac{P_4(t)}{P_1(t)}, \quad k_4(t) = \frac{P_5(t)}{P_1(t)}. \quad (5)$$

Таблица 1

Условия формирования коэффициента отношения

№ п/п	Условие	Формула
1	В схеме имеются два присоединения нагрузки	$P_2(t) = k_1 \cdot P_1(t)$
2	В схеме имеются три присоединения нагрузки	$P_3(t) = k_2 \cdot P_1(t)$
3	В схеме имеются четыре присоединения нагрузки	$P_4(t) = k_3 \cdot P_1(t)$
4	В схеме имеются пять присоединений нагрузки	$P_5(t) = k_4 \cdot P_1(t)$

Рассчитаем коэффициенты отношения по данным табл. 1, результаты вычислений представим в виде табл. 2. Смоделируем значения коэффициента  $k_5$  при возможных шести присоединениях нагрузки (табл. 2).



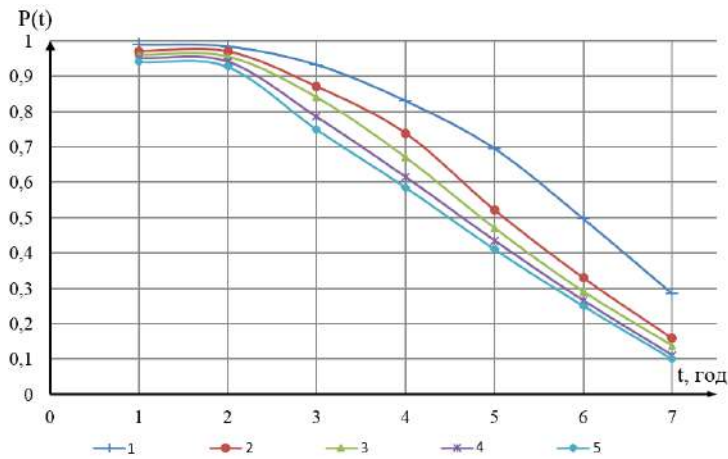


Рис. 3. Графики изменения вероятности безотказной работы в зависимости от числа присоединений

Таблица 2

Результаты вычислений коэффициентов отношения

Год наблюдения	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$
1-й	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95
2-й	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94
3-й	0,93	0,87	0,81	0,76	0,75
4-й	0,88	0,85	0,74	0,70	0,62
5-й	0,75	0,64	0,62	0,59	0,46
6-й	0,57	0,55	0,53	0,50	0,37
7-й	0,55	0,48	0,43	0,38	0,30

Построим графики изменения во времени значений коэффициентов  $k_1-k_5$  (рис. 4).

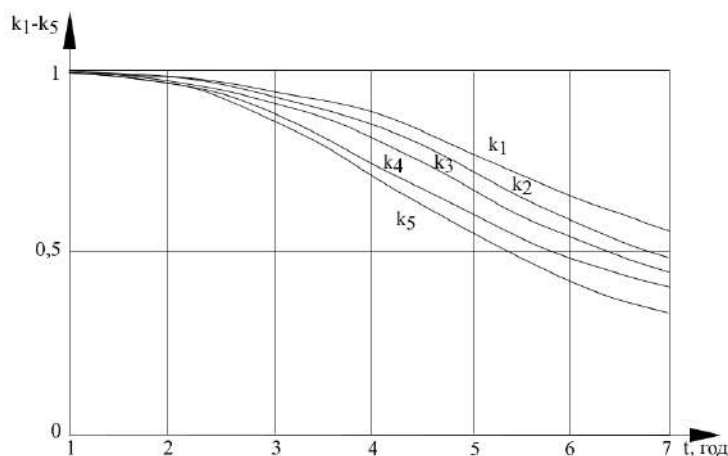


Рис. 4. Графики зависимостей изменения значений коэффициентов отношений от времени эксплуатации схемы

Графики, представленные на рис. 4, позволяют определять вероятность безотказной работы распределительных устройств низкого напряжения с предохранителями на отходящих линиях с учетом количества присоединений и фактора времени эксплуатации оборудования.

Исследования показали, что необходимо периодически проверять эксплуатационную надежность внутрицеховых систем электроснабжения. Для этого данные характеристик надежности оборудования нужно обновлять. Данная информация требуется для эффективного функционирования внутрицеховых систем и повышения качества электроснабжения потребителей.

### Литература

1. Вендин С.В., Мамонтов А.Ю., Шаршуков Н.О. Мероприятия повышения надежности оборудования автоматизированного технологического управления в электросетевом комплексе // Надежность. 2017. Т. 17, № 1 (60). С. 11–16.

2. Дынькин Б.Е., Тряпкин Е.Ю., Дынькин П.Б. Использование перегрузочной способности трансформаторов в условиях резко переменной нагрузки // Транспорт: наука, образование, производство: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2017. С. 97–101.

3. Мурахтин М.А. Надежность систем электроснабжения // Вестник научных конференций. 2015. № 4-2 (4). С. 101–102.

УДК 620.178.4

## ДИАГНОСТИКА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ 6–10 кВ

Артемов Д.Е.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

demonartemov@mail.ru

Науч. рук. Денисова Н. В.

В тезисе предложен комплекс взаимосвязанных мер по диагностики кабельной линии 6-10 кВ. Данный комплекс мер принимается для того, чтобы избежать перебои электроснабжения потребителей и выполнить необходимый полный перечень испытаний кабельной линии в зависимости от напряжения и назначении линии. Для оценки состояния изоляции силовых кабелей в условиях эксплуатации применяются следующие методы диагностики: разрушающие (традиционные) и неразрушающие.

**Ключевые слова:** кабельная линия (КЛ), разрушающий метод диагностики, неразрушающий метод диагностики.

Кабельные линии (КЛ) в процессе изготовления, сооружения цепей и во время эксплуатации подвергаются различными нагрузками, которые выявляют дефекты и слабые места непосредственно в них. Возникновение проблемных мест различны: ошибки в технологии производстве кабеля, некачественные выполнения монтажных работ, плохой прокладки кабельной линии. Ослабленные места – старение изоляции, коррозия, короткие замыкания – выявляются в процессе эксплуатации. Кабельные линии, находящиеся в земляной траншее, хоть и имеют защиту в виде кирпичных перекрытий, а также систематический своевременный осмотр подвержены внешним механическим повреждениям (при прокладке и ремонте других подземных сооружений и КЛ).

Для того чтобы избежать перебоев в электроснабжении потребителей, необходимо выполнять полный перечень испытаний КЛ в зависимости от напряжения и назначения линии, что регламентируется «Нормами испытаниями электрооборудования». Непрерывная работа систем электроснабжения всех отраслей деятельности человека полностью зависит от надежности силовых кабелей низких и средних классов напряжения [1].

Для оценки состояния изоляции силовых кабелей в условиях эксплуатации применяются следующие методы диагностики: разрушающие (традиционные) и неразрушающие.

Разрушающие методы диагностики состояния кабельных линий – это методы, позволяющие получить информацию о текущем состоянии изоляции кабелей, но в большинстве случаев приводящие к их повреждению либо сокращению срока службы.

Неразрушающие методы диагностики – это методы, основанные на периодическом измерении наиболее информативных характеристик изоляции, они позволяют не только получать информацию о текущем состоянии изоляции кабелей, не травмируя ее, но и могут быть использованы для прогнозирования остаточного срока службы длительно эксплуатируемых кабелей [2].

В большинстве случаев при диагностике используются неразрушающие методы, т. е. не ведущие к старению изоляции. Данные методы определяют техническое состояние и их локальное положение. Комплексная диагностика данными методами дает возможность оценить износ изоляции и примерно рассчитать остаточный ресурс кабеля.

Кроме того, применение диагностических методов позволяет:

- производить проверку качества монтажа при вводе в эксплуатацию и ремонтах;
- предотвратить перебои в подаче электроэнергии;

- экономить затраты на техническое обслуживание;
- экономить затраты за счет частичной замены элементов кабельных систем;
- осуществлять надежный контроль качества после ремонта [3].

## Литература

1. Электротехнический справочник: в 4-х т. / под общ. ред. И.Н. Орлова (гл. ред.) [и др.]. 9-е изд., стер. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 4 т.
2. Сергеев Н.С. Диагностика состояния кабельных линий напряжением 6–10 кв // Россия молодая: сб. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. мол. уч. с междунар. участием. Кемерово, 2016. С. 346.
3. ГОСТ 12.3.019-80 ССБТ. Испытания и электроизмерения. Общие требования безопасности. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. 7 с.

УДК 621.314

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Басенко В.Р.<sup>1</sup>, Манахов В.А.<sup>2</sup>, Григорьева М.О.<sup>3</sup>, Беляков К.Ю.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>vasiliybas123@mail.ru,

Науч. рук. Логачёва А.Г.

В тезисе рассмотрены преимущества и перспективы применения электро-механических накопителей энергии на основе маховиков в системах электроснабжения, как одного из способов запасаения энергии в виде кинетической энергии вращения. Большая выходная мощность таких накопителей позволяет использовать его в качестве источника пиковой мощности для электроснабжения потребителей.

**Ключевые слова:** электро-механический накопитель, маховик, системы электроснабжения, кинетическая энергия.

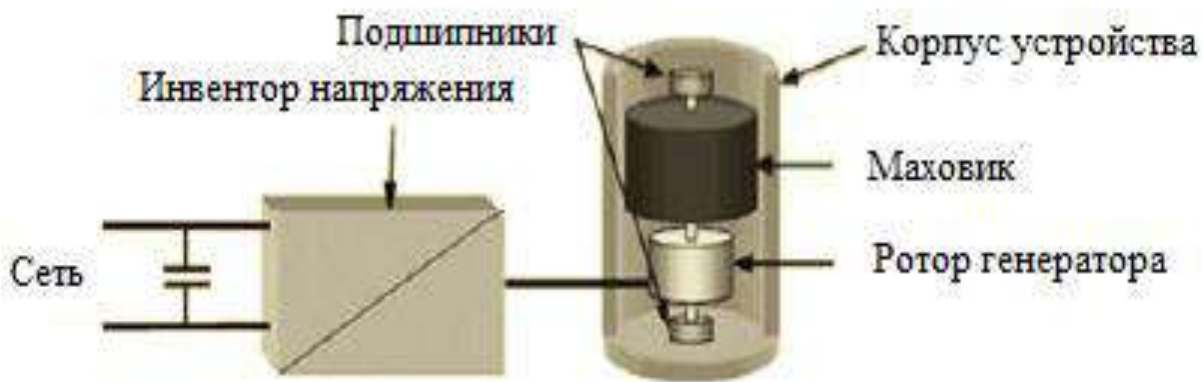
Электро-механическими накопителями энергии (ЭМН) являются устройства, которые запасают и хранят механическую энергию с последующим её использованием, но только уже в виде электрической энергии. К таким видам накопителей относят и инерционные накопители на основе маховиков.

Долгое время использование маховиков имело целью лишь обеспечение плавной работы машин и механизмов. Новейшие разработки последних лет позволили создать супермаховики – сложные высокотехнологичные устройства, главным назначением которых является запасание энергии. Супермаховики запасают энергию в виде кинетической энергии вращения. Количество энергии пропорционально инерции вращающегося тела  $J$  и квадрату угловой скорости вращения  $\omega$ , согласно формуле:

$$E_k = 0,5 J\omega^2.$$

Данная энергия передается на маховик и от маховика при помощи обратимой электрической машины, чаще всего встроенной в конструкцию маховика, возвращается в сеть. При работе в режиме двигателя электрическая энергия, подводимая к обмоткам статора, индуцирует вращающий момент и увеличивает скорость вращения маховика. В режиме генератора имеет место обратный процесс – превращение энергии вращения в электромагнитный момент на валу, а далее в электрическую энергию. Для двустороннего обмена энергией электрическая машина подключена с помощью специализированного преобразователя.

Общий вид типичной конструкции супермаховика со встроенным мотор-генератором, подключенного к звену постоянного тока через инвертор напряжения, представлен на рис. 1.



Общая схема устройства маховика

В связи с высоким удельным значением энергии и особенностями применения инерционные накопители на основе супермаховиков нашли применение для стабилизации частоты сети, также активно используются

на важных социальных объектах, а именно железных дорогах и метро. Уменьшение «пиков» нагрузки и рекуперация энергии при торможении эффективно используется с помощью накопления энергии в маховике. Если выдавать накопленную энергию в течение 30 с в 1 МВт уменьшает мощность двигателя на 10–15 %. Также инерционные накопители на основе маховика совместно с дизелем могут применяться как резервный источник энергии системы электроснабжения.

### Литература

1. Bolund B., Bernhoff H., Leijon M. Flywheel energy and power storage systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007. Vol. 11, No 2. Pp. 235–258.

2. On the development of flywheel storage systems for power system applications: a survey / M.I. Daoud [et al.] // Proc. 20<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines (ICEM 2012). Marseille, France, 2012. Pp. 2119–2125.

3. Kamf T. High speed flywheel design: using advanced composite materials. Uppsala universitet, 2012.

4. Pyrhonen J., Jokinen T., Hrabovcova V. Design of Rotating Electrical Machines. John Wiley & Sons, 2009. 538 p.

УДК 621.314

## КОНТРОЛЬ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Басенко В.Р.<sup>1</sup>, Низамиев М.Ф.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>vasiliybas123@mail.ru, <sup>2</sup>marat.nizamiev.90@mail.ru

Науч. рук. Ившин И.В.

В тезисе рассмотрены существующие методы контроля состояния обмоток силового трансформатора. Рассмотрен метод контроля вибрационных характеристик и его реализация с помощью лазерных технологий. Предложена структура контрольно-измерительного комплекса на основе лазерных виброметров с применением специализированного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** вибрационные характеристики, обмотки силового трансформатора, лазерный виброметр.

На сегодняшний день, большое число отказов силовых трансформаторов связано с деформациями обмоток, загрязнением и увлажнением изоляции.

При протекании по обмоткам трансформатора больших токов (токов перегрузки или токов короткого замыкания) возникают существенные электродинамические силы, вызывающие деформацию отдельных проводников или всей обмотки. Вероятность повреждений при таких воздействиях зависит не только от значения тока, но также и от числа внешних токов короткого замыкания, создавших броски тока через трансформатор. В результате этого возникает ослабление прессовки, что приводит к повышенным вибрациям, а затем и к витковым замыканиям внутри активной части трансформатора (обмоток и магнитопровода).

При деформации обмотки частично изменяют свою емкость и взаимные индуктивности между собой. При этом меняется и частотная характеристика обмоток. Изменения частотных характеристик связаны с осевыми деформациями. В связи с этим возникает повышенная вибрация обмоток. Вибрация обмотки создает повышенную вибрацию бака трансформатора.

Методами определения состояния обмоток силового трансформатора являются следующие:

- метод импульсов, основанный на осциллографировании тока переходного процесса в обмотках при приложении коротких импульсов низкого напряжения;

- метод частотных характеристик, заключающийся в подаче на вход трансформатора определенного напряжения, изменяемого по частоте, и измерении на выходе тока или напряжения;

- метод короткого замыкания, основанный на измерении тока через одну из обмоток трансформатора при замыкании выводов другой;

- метод контроля вибрационных характеристик, заключающийся в определении изменения во времени параметров вибрации бака трансформатора.

Среди вышеперечисленных методов метод контроля вибрационных характеристик обладает преимуществом проведения контроля обмоток силового трансформатора без вывода последнего из эксплуатации. Данное преимущество является важным, так как вывод из работы трансформатора приводит к техническим и экономическим проблемам. При этом контроль

по вибрационным характеристикам без отключения силового трансформатора позволяет узкий круг измерительных приборов. Одним из эффективных и современных решений является контрольно-измерительный комплекс на основе лазерных виброметров. Лазерные виброметры позволяют дистанционно измерять параметры вибрации в различных точках трансформатора в опасной для персонала зоне, в том числе при высоких напряжениях.

Для реализации контроля силовых трансформаторов по вибрационным параметрам предлагается контрольно-измерительный комплекс (КИК) на основе лазерных виброметров (см. рисунок).

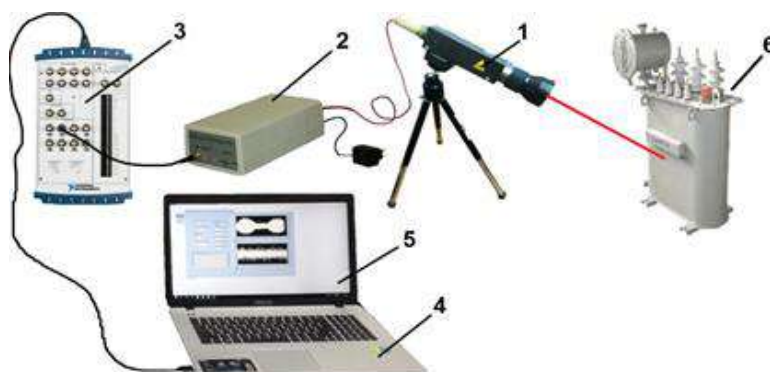


Схема контрольно-измерительного комплекса: 1 – лазерный виброметр; 2 – согласующее устройство; 3 – многофункциональный модуль ввода-вывода; 4 – персональный компьютер; 5 – программное обеспечение; 6 – силовой трансформатор

Данный КИК позволит измерять вибрационные параметры силовых трансформаторов, а именно виброскорость, виброперемещение и виброускорение, и анализировать состояние обмоток трансформатора с помощью программного обеспечения на основе LabVIEW. Данное программное обеспечение позволяет сравнивать спектры эталонного и контролируемого сигнала с помощью целевых функций сравнения на различных интервалах частот, выявлять различия и формировать характеристики сравнения.

## Литература

1. Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 3-4. С. 108–113.



2. Петрухин В.В., Петрухин С.В. Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации: учеб. пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 176 с.

3. Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния электротехнического оборудования / М.Ф. Низамиев [и др.] // Электрика. 2015. № 6. С. 18–25.

4. Прыгунов А.И., папуша А.Н. Вибрационная динамика машин и виброакустическая диагностика // Вестник МГТУ. 1998. Т. 1, № 1. С. 21–27.

УДК 621.31

## СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Бахауэтдинова И.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
bahauetdinov@mail.ru  
Науч. рук. Грачёва Е.И.

Рассмотрена проблема экономии электроэнергии, которая становится все более актуальной в мире, и поэтому предлагаемые в данной работе методы ее экономии имеют важное практическое и научное значение.

**Ключевые слова:** электропотребители, индуктивность, энергообмен, круговая циркуляция, самоиндукция, магнитопровод, линия фидера.

Существует множество электропотребителей переменного тока, которые содержат индуктивности, но они пока неэкономично расходуют потребляемую электроэнергию, так как происходит бесполезный обмен реактивными токами и реактивной энергией индуктивностей с питающей электросетью. Для экономии электроэнергии данный обмен можно устранить разными методами. В том числе методом конденсаторной компенсации реактивной мощности, резонансными методами настройки электроприемников на единичный входной коэффициент мощности и метод с использованием компенсирующий конденсаторов и электронным(ими) ключом(ами), включенными последовательно в цепи электропитания последовательно с индуктивной(ыми) обмоткой(ами).

Для расчёта потерь используется следующая формула:

$$\Delta W = \frac{9,3 \cdot W^2 \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \cdot K_{\phi}^2 \cdot K_L \cdot L}{D \cdot F};$$

где  $\Delta W$  – потери электроэнергии в кВт/ч;  $W$  – электроэнергия, отпущенная в линию электропередач за определенный период времени ( $D = 365$  дней), кВт/ч (в нашем примере 63000 кВт/ч или  $63 \cdot 10^6$  Вт/ч);  $K_{\phi}$  – коэффициент формы графика нагрузки;  $K_L$  – коэффициент, учитывающий распределённость нагрузки по линии (0,37 – для линии с распределённой нагрузкой, т.е. на каждую фазу из трёх подключены по 20 домов садоводов);  $L$  – длина линии в километрах,  $L = 2$  км;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности,  $\operatorname{tg} \varphi = 0,6$ ;  $F$  – сечение провода в мм<sup>2</sup>;  $K_{\phi}^2$  – коэффициент заполнения графика, рассчитываемый по формуле:

$$K_{\phi}^2 = \frac{(1 + 2 \cdot K_3)}{3 \cdot K_3},$$

где  $K_3$  – коэффициент заполнения графика:  $K_3 = 0,3$  – при отсутствии данных о форме графика нагрузки. Тогда  $K_{\phi}^2 = 1,78$ .

Расчёт потерь по формуле выполняется для одной линии фидера. Их 3 по 2 километра.

Считаем, что общая нагрузка равномерно распределена по линиям внутри фидера. Другими словами, годовое потребление по одной линии фидера равно 1/3 от общего потребления.

Тогда в линии  $W_{\text{сум}} = 3 \cdot \Delta W$ .

Отпущенная садоводам электроэнергия за год составляет 63000 кВт/ч, тогда по каждой линии фидера имеем: 21000 кВт/ч или  $21 \cdot 10^6$  Вт/ч (именно в таком виде значение присутствует в формуле).

$$\Delta W_{\text{линии}} = \frac{9,3 \cdot 21^2 \cdot 10^6 \cdot (1 + 0,6^2) \cdot 1,78 \cdot 0,37 \cdot 2}{365 \cdot 35} = 573,67 \text{ кВт/ч};$$

Тогда за год по трём линиям фидера:

$$W_{\text{сум}} = 3 \cdot 573,67 = 1721 \text{ кВт/ч.}$$

Потери за год в ЛЭП в процентах:

$$\Delta W_{\text{сум}} = \frac{\Delta W_{\text{сум}}}{W_{\text{сум}}} \cdot 100 \% = 2,73 \%$$

В результате отключения индуктивной нагрузки от сети переменного тока в данные «реактивные» интервалы времени бесполезный переток реактивных токов устраняется. Запасенная ранее реактивная энергия индуктивности длительное время сохраняется внутри многофазных электроприемников благодаря явлению круговой циркуляции ее по фазам индуктивной нагрузки, что и приводит к существенной экономии электроэнергии.

Эффективность этого метода экономии электроэнергии заключается в полезном использовании возникающей при разрыве тока в индуктивности явления электромагнитной самоиндукции. Для его реализации индуктивные электрические нагрузки (потребители) должны иметь замкнутые вторичные электрические и электромагнитные контура. В асинхронных электрических машинах вторичным электрическим и электромагнитным контурами служит ее статорный магнитопровод и ротор, в трансформаторах – их магнитопроводы и вторичные обмотки.

### Литература

1. Бохмат И.С., Воротницкий В.Э., Татаринев Е.П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах // Электрические станции. 1998. № 9.

2. РД 34.09.254-86. Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений [Электронный ресурс]. М.: СПО Союзтехэнерго, 1987. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294816/4294816579.htm> (дата обращения: 23.01.2020).

3. РД 34.09.101-94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 46 с.

4. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности. М.: НЦ ЭНАС, 2001. 344 с.

## НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Бахауэтдинова И.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

bahauetdinov@mail.ru

Науч. рук. Грачёва Е.И.

Рассмотрены основные пути и организационно-технические мероприятия по повышению надежности работы электрических сетей.

**Ключевые слова:** электроснабжение, линии электропередачи, воздушные линии, надежность электроснабжения.

Показатели надежности характеризуют такие важнейшие свойства систем, как безотказность, живучесть, отказоустойчивость, ремонтно-пригодность, сохраняемость, долговечность, и являются количественной оценкой их технического состояния и среды, в которой они функционируют и эксплуатируются. Оценка показателей надежности сложных технических систем на различных этапах жизненного цикла используется для выбора структуры системы из множества альтернативных вариантов, назначения гарантийных сроков эксплуатации, выбора стратегии и тактики технического обслуживания, анализа последствий отказов элементов системы. Аналитические методы оценки показателей надежности сложных технических систем управления и принятия решения базируются на положениях теории вероятности. В силу вероятностной природы отказов оценка показателей основана на использовании методов математической статистики. При этом статистический анализ проводится, как правило, в условиях априорной неопределенности относительно законов распределения случайных значений наработки системы, а также по выборкам ограниченного объема, содержащих данные о моментах отказа элементов системы при их испытаниях или в условиях эксплуатации.

Вероятность безотказной работы (ВБР) – это вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени не произойдет ни одного отказа. Вероятность  $P(t)$  – убывающая функция, обладающая следующими свойствами:  $0 \leq P(t) \leq 1$ ,  $P(0) = 1$ ,  $P(\infty) = 0$ .

ВБР по статистическим данным об отказах оценивается следующим образом:

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где  $P^*(t)$  – статистическая оценка ВБР;  $N_0$  – число изделий в начале испытаний, при большом числе изделий статистическая оценка практически совпадает с вероятностью  $P(t)$ ;  $n(t)$  – число отказавших изделий за время  $t$ .

Обычно определение показателей надежности формулируется как задача анализа, т. е. нахождение показателей для заданного объекта, хотя в конечном итоге, как правило, решается задача выбора решения. В этом случае определение надежности рассматривается для конкретных задач, когда сформулированы критерии, заданы средства, ресурсы.

Основными путями повышения надежности электроснабжения потребителей при проектировании электрических сетей являются:

1) совершенствование методик расчета на механическую прочность проводов и опор воздушных линий, учет расчетных климатических условий;

2) совершенствование конструктивного исполнения линий электропередачи (ЛЭП), конструкций опор воздушных линий, проводов и их изолирующей подвески;

3) внедрение новых технических решений, применение на воздушных линиях 0,4 кВ самонесущих изолированных проводов.

Основными мероприятиями по повышению надежности работы и снижению аварийности электрических сетей при их эксплуатации являются:

1) систематический надзор и контроль за техническим состоянием ЛЭП и оборудования подстанций, периодический обзор всех сетевых сооружений с целью выявления возможных механических повреждений, надзор за производством строительных работ вблизи трасс прохождения ЛЭП и т. п.;

2) повышение культуры эксплуатации электрических сетей, совершенствование работы эксплуатационных и диспетчерских служб, подготовка высококвалифицированного эксплуатационного и оперативного персонала;

3) своевременное и систематическое проведение диагностики, контроля и профилактических испытаний изоляции оборудования.

Таким образом, для снижения аварийности и повышения надежности работы электрических сетей при их проектировании и эксплуатации принимают специальные меры для улучшения работы всех их элементов и повышения надежности электроснабжения потребителей.

### Литература

1. Солдаткина Л.А. Электрические сети и системы: учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 1978. 216 с.
2. Разработка новых конструкций опор ВЛ из гнутых металлических профилей нетрадиционных форм / Ю.Р. Гунгер [и др.] //Электрические станции. 2003. № 3. С. 48–50.
3. Файбисович Д.Л. Использование изолированных проводов при строительстве ВЛ распределительной сети // Электрические станции. 2003. № 8. С. 78.

УДК 621.316.722.076.12

## КОМПЕНСАТОР ТОКОВ НЕСИММЕТРИИ В ТРЁХФАЗНЫХ СЕТЯХ

Васинкин К.А.<sup>1</sup>, Долломанюк Л.В.<sup>2</sup>, Степанова Е.М.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

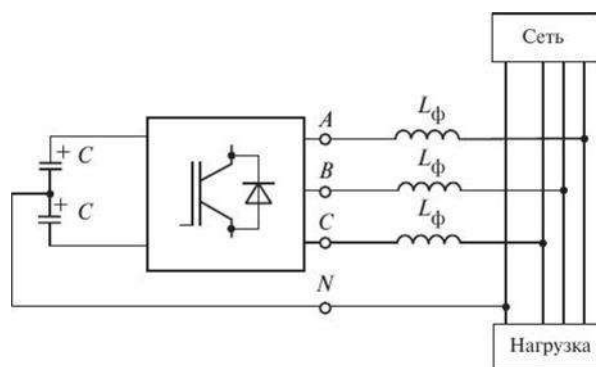
<sup>1</sup>kirillvasinkin1999.@gmail.com; <sup>2</sup>Leonid-888@mail.ru; <sup>3</sup>EkatStepanova@mail.ru

В трёхфазных сетях несимметричное распределение нагрузки по фазам отрицательно сказывается на работе сетей электроснабжения. Несимметричная токовая нагрузка приводит к нарушению работы электрических двигателей, росту потерь мощности, сокращается срок службы изоляции трансформаторов. Для предотвращения этих факторов, влияющих на состояние и работу приборов, систем, машин, используют компенсаторы. Компенсация токов не симметрии – вот ключ к решению вопросов о рациональном использовании электроэнергии.

**Ключевые слова:** компенсатор, ток, трехфазная сеть, несимметричная нагрузка.

Влияние несимметрии токов в трехфазной сети приводит к возникновению несимметричных напряжений, увеличению потерь в распределительном оборудовании, снижению эффективности передачи мощности, увеличению тока в нейтральном проводе и возникновению аварийных режимов.

Устранение несимметрии осуществляется путём включения приборов, значения которых позволяют уменьшить несимметрию токов нагрузки. Одним из таких является компенсатор тока несимметрии. Он может быть выполнен на основе статического компенсатора реактивной мощности, который подключается параллельно к трехфазной сети. Для наибольшей эффективности компенсатор необходимо размещать как можно ближе к компенсируемой нагрузке (см. рисунок).



Структурная схема компенсатора тока несимметрии с нулевым проводом

Компенсаторы токов не генерируют токи обратной и нулевой последовательности, которые расположены в противофазе соответствующим токам сети. Протекание симметричных токов сети и их устранение в нейтральном проводнике используется только при условии несимметричного распределения нагрузки.

Таким образом, несимметрия тока не только вызывает дополнительные потери энергии, но также создает проблемы безопасности для системы. Чтобы предотвратить проблему несимметрии, она должна быть учтена на всех этапах планирования, проектирования, монтажа и эксплуатации. Но если на каком-то из этапов произошёл сбой, то одним из решений этой проблемы является компенсатор токов несимметрии.

## Литература

1. Несимметрия токов [Электронный ресурс]. URL: [https://ozlib.com/848542/tehnika/nesimmetriya\\_tokov](https://ozlib.com/848542/tehnika/nesimmetriya_tokov) (дата обращения: 28.02.2019).

2. Система привода и нагружения испытательного стенда для электрических машин возвратно-поступательного действия / Р.Р. Гибадуллин [и др.] // Энергетика Татарстана. 2016. № 1 (41). С. 22–25.

3. Грачева Е.И., Садыков Р.Р. Оптимизация проектирования систем электроснабжения с учетом возможных ситуаций и вероятностных параметров надежности // Вести ВУЗов Черноземья. 2017. № 2 (48). С. 22–26.

4. Исследования воздействия несимметрии напряжения на распределительные системы и оборудование [Электронный ресурс]. URL: <https://moluch.ru/archive/190/48074/> (дата обращения: 27.02.2019).

5. Причины возникновения несимметричных режимов в электрических сетях [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/468-prichiny-vozniknovenija.html> (дата обращения: 27.02.2019).

УДК 621.876

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ РЕКУПЕРАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ

Гарунов А.Т.<sup>1</sup>, Азизов К.Р.<sup>2</sup>, Петров Т.И.<sup>3</sup>, Холикова А.Р.<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup> СГУ (Сумгаитский Государственный Университет), г. Сумгаит, Азербайджан

<sup>3,4</sup> ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>asim.garun.2017@mail.ru, <sup>3</sup>tobac15@mail.ru

На сегодняшний день энергосбережение является одной из самых обсуждаемых тем, и повышение энергоэффективности в обычных зданиях также является важной задачей. Эффективным решением может быть снижение потребления системы электропривода лифтов (как пассажирских, так и грузовых) за счет использования энергии рекуперации. Уже существуют разработанные системы, использующие данную энергию, однако в большинстве они используют аккумуляторы или суперконденсаторы. Важно рассмотреть все типы накопителей энергии или возможную параллельную работу, сочетая преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** асинхронный электропривод, лифт, энергопотребление, энергия рекуперации, маховик.

Повышение эффективности энергосистемы жилого дома – приоритетная задача в области ресурсосбережения. Перспективным вариантом является использование энергии рекуперации, то есть возможность первоначальной переработки израсходованного электричества и последующего повторного использования в энергосистеме дома [1].



Энергию рекуперации в жилом доме можно использовать для системы электропривода лифта (будет рассматриваться система только для пассажирского, но все тезисы можно считать аналогичными и для грузового), учитывая, что потребление лифта составляет до 20–25 % потребления электроэнергии [2].

Таким образом, рассматриваемую энергию рекуперации, получаемую в ходе некоторых процессов движения (торможение, вверх при пустой кабине и вниз – при заполненной), можно просчитать по формуле [3]:

$$E_{\text{рек}} = E_{\text{потр}} \cdot (1 - \text{КПД}) \cdot k_{\text{п}}, \quad (1)$$

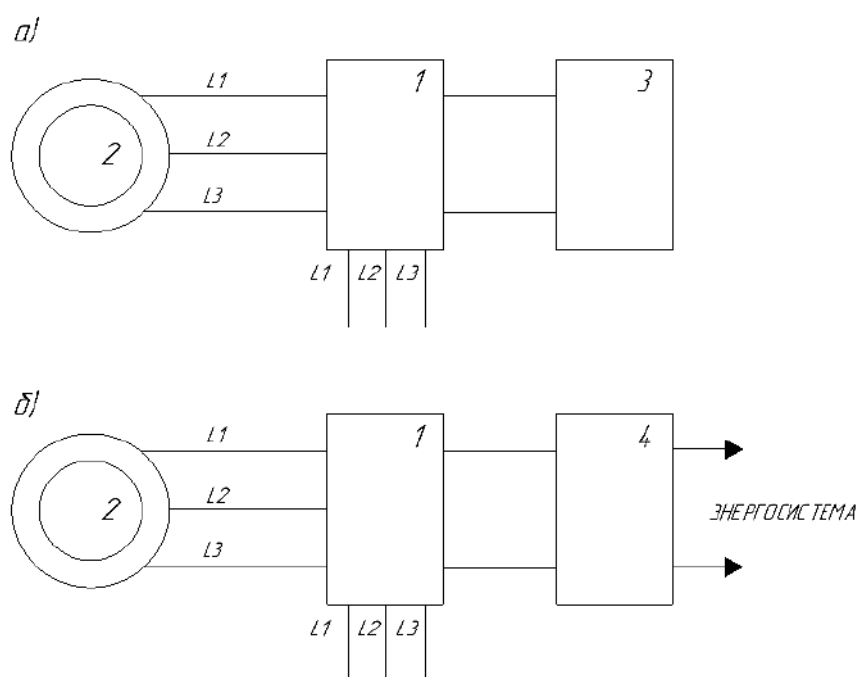
где  $E_{\text{рек}}$  – энергия, которую мы можем использовать в ходе рекуперации;  $E_{\text{потр}}$  – энергия, получаемая из внешней энергосистемы;  $k_{\text{п}}$  – потери в системе, использующие энергию рекуперации.

Система для использования рекуперационной энергии должна использовать накопители энергии вместо тормозного резистора [4]. На рисунке представлено два варианта схем электропривода для лифта. В первом случае двигатель 2 через частотный преобразователь 1 и шину постоянного тока подключается к тормозным резисторам 3. Таким образом энергия рекуперации в данном случае уходит через резистор. Во втором случае энергию рекуперации через систему накопителя энергии и преобразователи 4 можно отдать в энергосистему для других нужд или запитать собственный двигатель, что даст возможность сэкономить до 20 % энергии [5].

Использование преобразователя частоты дает следующие преимущества:

- экономия рабочего места: отсутствие вспомогательного оборудования (система тормозных резисторов);
- возможность использования энергии рекуперации;
- отсутствие выделения тепла.

Преобразователи частоты с рекуперацией электричества в систему больше применяют для лифтов, работающих в циклических режимах (торможение, ускорение).



Варианты электропривода: *а* – с тормозным резистором; *б* – с накопителем энергии

Система накопителей энергии и преобразователей является основным звеном в рассматриваемой схеме. Поэтому оптимальная работа данного звена приведет к наиболее эффективной работе всей системы, поэтому необходимо рассмотреть все возможные накопители энергии с точки зрения преимуществ и недостатков (в нашем случае необходимо быстроедействие, малый процент потерь при процессе разряда-заряда и т. д.), а также параллельная работа. К примеру, небольшие объемы энергии рекуперации берет на себя суперконденсатор, большое количество энергии сохраняется в аккумуляторах.

Данная тема актуальна, но необходима детальная проработка, как с теоретической, так и с практической точки зрения, чтобы доказать экономическую эффективность рассмотренных систем.

## Литература

1. Коваль А.С., Артеменко А.И. К вопросу энергосбережения в электроприводе пассажирских лифтов при регулируемой номинальной скорости движения кабины лифта // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 4 (61). С. 49–55.

2. Степанов В.М., Кузьмина С.В. Система рекуперации многодвигательных подъёмно-транспортных механизмов и машин // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. № 3-4. С. 175–177.

3. Сат М.М. Использование энергии рекуперации для снижения электропотребления лифтовым оборудованием // Молодой ученый. 2019. № 9. С. 103–106.

4. Хайруллин И.Х., Шакиров Т.И. Принципы энергоемкости при проектировании подъемных механизмов лифтовых сооружений // Молодой ученый. 2017. № 22. С. 89–93.

5. Степанов В.М., Котеленко С.В. Анализ технических решений по рекуперации электрической энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. № 6-1. С. 169–172.

6. Степанов В.М., Кузьмина С.В. Устройство рекуперации электроэнергии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. № 3-5. С. 79–80.

7. Усовершенствованный электропривод шахтных установок с возможностью рекуперации электроэнергии / Э.Е. Пугачёва [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. № 6. С. 412–418.

УДК 621.313.2

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Гильмутдинов И.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ilfat-1996@mail.ru  
Науч. рук. Владимиров О.В.

Проведен анализ методов определения технического состояния электрических машин. Изучены существующие методы и способы определения технического состояния электрических машин, на базе которых разработан алгоритм. Это обеспечит непрерывную работу электрических машин, предотвратит серьезные поломки и выход оборудования из строя.

**Ключевые слова:** электрические машины, оценка технического состояния, алгоритм определения технического состояния, диагностика.

Своевременная проверка технического состояния электрических машин позволяет выявлять и устранить неисправности на ранних стадиях, что, в свою очередь, обеспечивает бесперебойную работу электрических машин, предотвращая серьезные поломки и выход оборудования из строя, и снижает расходы на ремонт и монтаж оборудования [2].

Методы и способы определения технического состояния электрических машин изучались многими авторами, такими как А.А. Марченко, С.Ю. Труднев, И.В. Петров, Д.А. Ахунов [2, 3].

Также имеются стандарты, определяющие критерии оценки технического состояния электрических машин [1, 4–8].

После изучения существующих методов оценки технического состояния электрических машин и соответствующих нормативных документов разработали алгоритм определения технического состояния электрических машин.

На первом этапе работы были определены показатели для определения технического состояния электрических машин, а именно асинхронных двигателей до 1000В. Перечень показателей представлен в таблице.

#### Перечень показателей

Наименование показателя	Предельные отклон.
Измерение сопротивления изоляции, МОм	$\geq 1,0$
Измерение коэффициента абсорбции, у.е	$\geq 1,3$
Измерение коэффициента поляризации, у.е	$\geq 1,0$
Сопротивление обмоток постоянному току, Ом	$\pm 2 \%$
Ток электродвигателя на холостом ходу, А	$\pm 1 \%$
Напряжение электродвигателя на холостом ходу, В	$\pm 1 \%$
Температура статора, °С	65
Температура переднего, заднего подшипников, °С	65
Вибрация электродвигателя, мм/с	1,8

Был разработан следующий алгоритм определения технического состояния электрического двигателя:

1. Измеряются сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса двигателя и между обмотками. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если сопротивление изоляции не менее 1 Мом.

2. Измеряется коэффициент абсорбции для определения увлажненности изоляции. При этом на обмотки двигателя подается высокое напряжение и производится два измерения сопротивления: через 10 и 60 с.

Отношение измеренных величин дает значение коэффициента абсорбции. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если коэффициент абсорбции не менее 1,3.

3. Измеряется коэффициент поляризации для определения степени старения межвитковой изоляции и проверки ее степени старения. При этом на обмотки двигателя подается высокое напряжение и производится два измерения сопротивления: через 1 и 10 мин. Отношение измеренных величин дает значение коэффициента поляризации. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если коэффициент поляризации больше или равен 1.

4. Измеряются сопротивления обмоток при постоянном токе. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если разброс значений сопротивлений обмоток двигателя каждой фазы, вычисленный по методике определения среднеквадратичного отклонения, не превышает 2 %.

5. Проверяется работа электродвигателя на холостом ходу, определяется ток холостого хода. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если ток холостого хода двигателя соответствует паспортной с отклонением не более чем на 1 %.

6. Проверяется работа электродвигателя на холостом ходу, определяется напряжение холостого хода. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если напряжение холостого хода двигателя соответствует паспортной с отклонением не более чем на 1 %.

7. Определяется температура статора при работе двигателя на холостом ходу. Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если температура статора при работе на холостом ходу не превысила 65 °С.

8. Определяется температура переднего и заднего подшипников при работе двигателя на холостом ходу.

9. Измерение вибрации подшипников электродвигателей проводится в контрольных точках, датчики крепятся с помощью резьбового соединения или магнита. Измерение вибрации электродвигателей заключается в определении значений СКЗ виброскорости (мм/с) по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

Объект испытаний считается выдержавшим проверку, если предельное значение СКЗ виброскорости не превышает величину, соответствующую высоте оси вращения двигателя (1,8 мм/с при высоте вращения от 80 до 132 мм).

Данный алгоритм диагностирования может быть реализован автоматизированным стендом, основой которого станет отечественное оборудование, работающее на основе алгоритмов, написанных в среде программирования CoDeSys и использующих для обмена данными между отдельными элементами протокол связи ModBus.

После апробации алгоритма на практике определим направления дальнейшего исследования по теме, выделим проблемные моменты по разработанному алгоритму и сформулируем возможные перспективы дальнейшего улучшения алгоритма.

### Литература

1. ГОСТ 7217-87. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 39 с.

1. Ахунов Д.А. Совершенствование методов оценки технического состояния коллектора электрических машин постоянного тока: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2013. 133 с.

3. Марченко А.А., Труднев С.Ю. Методы диагностики технического состояния электрических машин после ремонта // Наука, образование, инновации: пути развития. 2016. С. 147–149.

4. ГОСТ 11828-86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 31 с.

5. ГОСТ ISO 20958-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Сигнатурный анализ электрических сигналов трехфазного асинхронного двигателя. М.: Стандартиформ, 2016. 22 с.

6. ГОСТ Р 53472-2009. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2011. 42 с.

7. ГОСТ ИЕС 60034-14-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 14. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотой оси вращения 56 мм и более. Измерения, оценка и пределы вибрации. М.: Стандартиформ, 2015. 12 с.

8. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. 6-е изд. с изм. и доп. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 256 с.

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Доан Нгок Ши<sup>1</sup>, Нгуен Тхи Хоа<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>«NUTE», г. НамДинь, Вьетнам

<sup>1</sup>ngocsynd@gmail.com, <sup>2</sup>hoaktnd@gmail.com

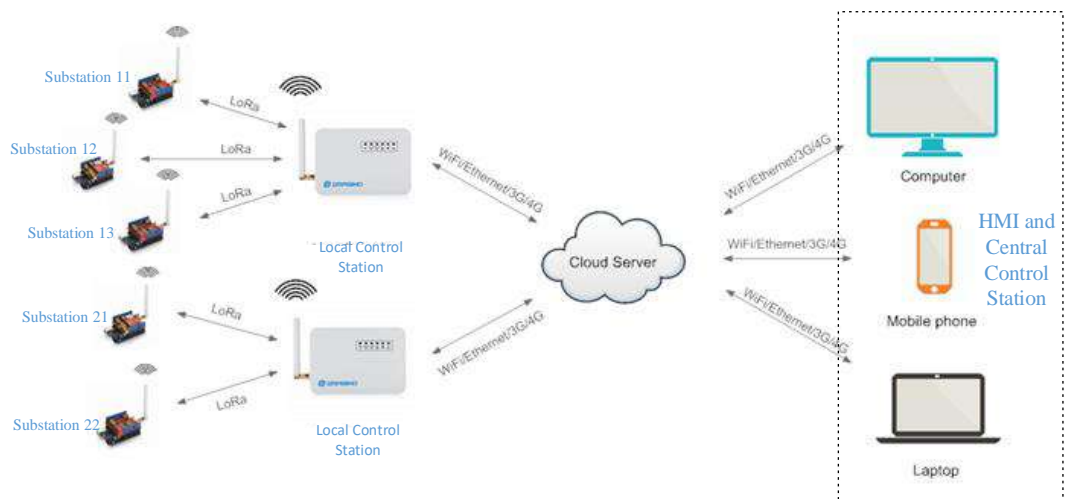
Науч. рук. Цветков А.Н.

Представлен экспериментальный проект и реализация устройства сбора данных мониторинга и управления для низковольтных систем электроснабжения. Устройство предназначено для проведения исследований и применения в качестве учебного пособия для преподавателей и студентов, а также для применения в системах электроснабжения предприятий во Вьетнаме.

**Ключевые слова:** модель, контроль, дистанционное управление, мониторинг данных, системы электроснабжения.

Обеспечение потребителей качественной и безопасной энергией является основной функцией любой системы электроснабжения. Чтобы заменить устаревшие способы, которые все еще существуют в системе электроснабжения, возникает необходимость в создании передовых автоматизированных систем управления.

Система контроля и сбора данных относится к комбинации телеметрии и сбора данных. Чтобы увеличить количество объектов управления, контролировать, подстанции собраны в группы, которые подключены к локальной станции управления. Поскольку максимальное расстояние между локальной станцией управления и подстанцией составляет 3 км, был выбран план связи с использованием сети LORA. Это новая технология беспроводной связи, позволяющая передавать данные на расстояние до 15 км, отличающаяся стабильной работой, низким энергопотреблением, низкой стоимостью, простотой расширения количества подключаемых станций. Данные с промежуточной станции передаются на компьютер, ноутбук или смартфон для отображения параметров, состояния, а также для получения команд управления от оператора через сервисы облачных вычислений через Wi-Fi, Ethernet или сеть 3G, 4G. Модель системы построена так, как показано на рисунке.



### Система мониторинга и управления электроснабжением

Помимо компьютеров и смартфонов структура системы состоит из двух основных частей: модуля подстанции и локальной станции управления.

Модуль подстанции отвечает за управление электрооборудованием в соответствии с командой, полученной от блока обработки и центрального управления, считывания и обработки данных с измерительного датчика, отправленных на блок обработки и центрального управления, также отображает время на LCD-дисплее для пользователей, чтобы контролировать процесс на месте. Основным компонентом является набор микроконтроллеров Arduino Nano. Для измерения электрических параметров объекта мониторинга здесь используется общий модуль измерения мощности PZEM004T. Он используется для измерения параметров мощности переменного тока электрической цепи, таких как рабочее напряжение, ток, мощность, потребляемая мощность и т. д. Функция управления подстанцией осуществляется с помощью 4-х комплектов управляющих драйверов, изолированных через промежуточные реле, которые воздействуют на переключающие элементы системы электропитания. Данные отправляются с подстанции на локальную станцию управления, и наоборот, используются методы радиомодуляции LoRa. В рассматриваемой системе используется приемопередающий модуль RF UART Lora SX1278 433 МГц 3000 м (E32-TTL-100) с использованием микросхемы SEMTECH SX1278. Модуль подстанции питается от источника переменного тока 220 В и резервного источника питания, который позволяет работать даже при сбое системы электропитания. Светодиоды и символьный дисплей 16×2 для отображения рабочего состояния и контролируемых электрических параметров.



Локальная станция управления – это промежуточная станция, которая контролирует процесс передачи и приема команд от оператора на полевое оборудование и получения информации от подстанции для обработки, отображения и хранения данных на центральной станции управления и НМІ. Кроме того, локальная станция управления также имеет функцию подстанции. Основным компонентом локальной станции управления является микроконтроллер ARM Cortex M3 STM32F103. Для связи с подстанцией здесь также используйте трансивер Lora, как указано выше. С другой стороны, для соединения данных с центральной станцией управления локальная станция управления использует модуль Wi-Fi ESP8266.

На компьютерах, использующих программное обеспечение Microsoft Visual Studio, это позволяет немедленно отображать параметры напряжения, тока, эффективного напряжения, производительности и т. д.

Первоначально устройство было протестировано в лаборатории с системой, включающей две подстанции, одну локальную станцию управления, один ноутбук и смартфон. Результаты показывают, что система может выполнять все функции, требуемые проектом, в условиях внутреннего и наружного тестирования. Измерения дают относительно точные результаты с погрешностью менее 1 %. Управляющие команды на НМІ бывают быстрыми, стабильными и точными. При потере питания резервное питание позволяет подстанции и локальной станции управления работать непрерывно в течение 24 ч. Однако при испытаниях с плохой погодой (дождем) и интенсивным шумом система была нестабильной, иногда не получала данные от подстанции. Система должна быть откалибрована для более стабильной работы в различных условиях окружающей среды и повышения скорости передачи данных между станциями.

## Литература

1. Батенина В.М., Бушуева В.В., Воропая Н.И. Инновационная электроэнергетика. М: ИЦ Энергия, 2017. 584 с.

2. Доан Нгок Ши. Исследования по созданию модели системы сбора, контроля и мониторинга данных для систем электроснабжения / Тинчуруинские чтения: матер. XIV Междунар. молодежной науч. конф. Казань, 2019. Т. 1. С. 195–199.

3. McDonald J.D. Substation automation IED, integration & availability of information // IEEE Power Energy Mag. 2003. Vol. 1, No. 2. Pp. 22–31.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТОВ

Загидуллина А.Ш.<sup>1</sup>, Логачева А.Г.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>phil.1997@mail.ru, <sup>2</sup>logacheva.ag@kgeu.ru

В современном мире преобразователи частоты являются неотъемлемой частью лифтовых механизмов. В тезисе рассмотрены несколько современных производителей частотных преобразователей, способных удовлетворить требованиям комфорта и экономичности.

**Ключевые слова:** преобразователь частоты, рекуперация энергии, энергосбережение, электрический привод, лифт.

В последнее десятилетие наблюдается активное развитие жилищного строительства. Современные здания становятся выше и нуждаются в оснащении высокоскоростными и безопасными лифтами для быстрого перемещения между этажами. Основным требованием для лифта в жилом доме становится соблюдение максимально комфортных условий для жильцов. А именно – отсутствие шума при перемещении, резких рывков во время отправки и торможения.

В требования к современным лифтам включают обеспечение как можно большей энергоэффективности и экономичности. Поскольку пассажирские лифты являются одними из наиболее распространенных подъемно-транспортных средств из-за их повсеместного использования, необходимость в снижении затрат на электроэнергию как никогда актуальна. Так энергопотребление среднестатистического лифта составляет около 15 % от общих энергозатрат многоквартирного дома [1].

В приводах лифтов используются асинхронные электрические двигатели, питаемые от преобразователей частоты. Их использование обусловлено возможностью плавно регулировать частоту вращения вала двигателя, а, следовательно, скорость перемещения кабины лифта с пассажирами. Также при регулировании частоты снижается энергопотребление.

Частотный преобразователь является одним из основных компонентов в приводе лифта, на него возлагается задача по изменению частоты переменного напряжения, которое подается на обмотки двигателя. Частотный преобразователь позволяет не использовать дополнительное

оборудование в лифтовом механизме, которое уменьшает надежность конструкции и повышает расходы на эксплуатацию. Преобразователь частоты способен экономить до 30–40 % электроэнергии потребляемой лифтом с использованием устаревшей техники за день.

На рынке преобразователей частоты существует множество поставщиков, способных удовлетворить требования, предъявляемые к лифтам. Рассмотрим наиболее зарекомендовавшие себя марки производителей.

Частотные преобразователи DANFOSS VLT lift drive LD 302 [2] и INVT CHV180A-045G-4 CANOPEN [3] успешно устанавливаются и используются в высотных домах и офисных зданиях. Обе марки были специально разработаны и предназначены для использования в лифтах и других подъемно-транспортных механизмах. Характеристики каждого из преобразователей частоты представлены в таблице.

#### Технические характеристики частотных преобразователей

Технические характеристики	DANFOSS VLT lift drive LD 302	CANOPEN INVT CHV180A-045G-4
Диапазон номинальной мощности	4...55 кВт	4...45 кВт
Входные параметры	380...400 В ±10% 50 Гц	
Выходные параметры	0...100 % от напряжения питания 0...300 Гц	0...100 % от напряжения питания 0...400 Гц
Время разгона/замедления	0,01...3600 с	
Частота коммутации	до 16 кГц	
Способ управления	местный/ дистанционный	местный
Наличие систем защиты	есть	
Наличие функции рекуперации энергии	есть	
Совместимость с ИБП	есть	нет
Цена	до 200 тыс. руб	

Очень важным показателем является наличие функции рекуперации энергии, когда в результате торможения энергия преобразуется и возвращается в сеть. Цена такого оборудования гораздо больше, чем у аналогов без рекуперации, но данные модели окупаются не более чем за 1,5 года.

## Литература

1. Хайруллин И.Х., Шакиров Т.И. Принципы энергоемкости при проектировании подъемных механизмов лифтовых сооружений [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2017. № 22. С. 89–93. URL: <https://moluch.ru/archive/156/44154/> (дата обращения: 26.02.2020).
2. Преобразователь частоты VLT Lift Drive LD302 [Электронный ресурс]. URL: <https://drives.ru/produkcija/preobrazovateli-chastoty-vlt/preobrazovateli-chastoty-lift-drive/> (дата обращения: 26.02.2020).
3. Преобразователь частоты INVT CHV180A-045G-4 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.invt.su/katalog/chastotnye-preobrazovateli/liftovye-serii/dlja-liftov-seriya-chv180/preobrazovatel-chastoty-invt-chv180a-045g-4.html> (дата обращения: 26.02.2020).

УДК 628.92

## ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫМ СВЕТОМ

Зиганшин А.З.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[zaz19972015@mail.ru](mailto:zaz19972015@mail.ru)

Науч. рук. Денисова Н.В.

Рассматривается проблема недостатка естественного освещения в зданиях, что в свою очередь ведет к увеличению энергопотребления при искусственном освещении. Предложены наиболее выгодные варианты световой среды помещений, а также новые возможности и методы увеличения количества дневного света, поступающего в здание.

**Ключевые слова:** естественное освещение, энергосбережение, световоды.

Нормированной характеристикой естественного (дневного) света является коэффициент естественной освещенности (КЕО), который равен отношению освещенности в данной точке внутри помещения ( $E$ ) к наружной освещенности горизонтальной плоскости в процентах. Естественное освещение комнаты может быть представлено как сумма освещений, создаваемых прямым небесным светом ( $E_H$ ) и светом, отраженным от внутренних поверхностей комнаты [1].

Окна являются одной из самых важных частей наружных стен. Количество естественного (дневного) света, который попадает в комнату, напрямую зависит от его размера, формы и заполнения световых проемов. Совместное увеличение площади остекления и дневного освещения приводит к расширению потерь тепла в холодные периоды и способствует повышению теплоснабжения солнечной радиацией в летнее время. Для того чтобы обеспечить комфортную тепловую среду, может потребоваться дополнительная энергия. Используя энергосберегающие светопрозрачные конструкции, существует возможность увеличения площади окон. Рекомендуется делать это для наиболее затененных квартир, находящихся на нижних этажах зданий. Не рекомендуется устанавливать балконы и лоджии на нижних этажах, так как они значительно уменьшают естественное освещение. Необычным и нестандартным способом увеличения естественного света в помещении является наклонное положение плоскости остекления под углом 15–20° к вертикали. Дневной свет больше попадает в такое окно, нежели в вертикальное [2].

Традиционные способы увеличения освещенности помещения включают использование световой отделки внутренних поверхностей с высокими коэффициентами отражения. Это приводит к увеличению доли естественного света. Плоскости оконных откосов также должны иметь высокую отражательную способность света [3].

Одним из современных способов повышения уровня естественного освещения в квартирах являются специальные экраны, обеспечивающие направленное отражение дневного света на затененных участках фасадов зданий. Они могут быть установлены на стенах или карнизах многоэтажных зданий, а также на элементах инфраструктуры двора – трансформаторных подстанциях, гаражах, хозяйственных постройках и т. д. Конструкция экранов может быть различной: гофрированные металлические листы, граненые панели, зеркала и другие призматические устройства. Уровень освещенности определенных объектов увеличивается примерно на треть в солнечную погоду, а в облачную – на 10–15%. Дополнительным преимуществом ограненных зеркал, является яркая подсветка фасада здания при отсутствии бликов (рассеивается прямой свет). Более эффективная система экранов установлена с учетом движения солнца и дает относительно постоянный поток отраженного света на затененную часть фасада здания.

Можно обеспечить проникновение дневного света в помещение с недостаточным естественным освещением, используя рефлекторную систему дневного света. Он устанавливается непосредственно на фасаде самого здания и направляет рассеянное излучение неба с помощью

отражающего элемента на потолок с большим коэффициентом отражения. В солнечный день этот световодный элемент также является солнцезащитным козырьком [4].

Известен зарубежный и отечественный опыт использования различных устройств для введения естественного света в жилые и общественные здания: световые полки в сочетании с отражающими потолками, устройства навесной оконной призмы, волокна из горизонтальных и вертикальных полых труб (ПТС).

Полый световод – это система естественного освещения, которая принимает солнечный и рассеянный свет через купола различной формы и сечения, расположенные на крыше или фасаде зданий, и транспортирует его по трубчатому каналу внутрь здания. Внутренние поверхности трубы имеют очень высокий коэффициент отражения света. Светорассеивающее выходное окно установлено на потолке освещаемой комнаты. Световоды позволяют освещать помещения в глубине широких зданий, на нижних этажах и в подвалах. Такие световодные системы можно устроить для освещения любых помещений старых жилых и общественных зданий с фиксированной планировкой

Естественный свет вглубь здания может осуществляться не только по трубам диаметром от 200 мм до 1,5 м, но и по тонким оптическим волокнам. Новшеством в естественном освещении зданий стала система, пропускающая солнечный свет через оптоволокно, разработанная шведской компанией RagaiB. Детектор света состоит из 36 линз Френеля, которые равномерно вращаются вокруг своей оси внутри блока, следуя за солнцем в течение дня. Солнечный свет, собранный в течение дня, попадает в здание через оптоволоконные световоды, где они распределяются в разных комнатах. Область применения таких волоконно-оптических систем шире, чем при использовании ТСП, для работы которых необходимо иметь внутреннее свободное пространство для трубы, более громоздкое, чем тонкие и незаметные оптоволоконные кабели. Оптическое волокно солнечного света можно и включать или выключать с помощью простого переключателя [5].

Таким образом, при проектировании нужно учитывать как улучшение традиционных факторов, которые определяют освещенность помещения, так и возможности новых систем и устройств освещения. Использование инновационных методов не только компенсирует недостаток освещения в соответствии с нормативными показателями, но также может создать наиболее комфортные условия освещения для человека и поспособствовать энергосбережению существующих зданий и сооружений.

## Литература

1. Осветительные установки промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. 206 с.
2. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. Москва: Знак, 2006. 528 с.
3. Бартенбах К., Бартенбах В. Как правильно осветить рабочее место в офисе // Современная светотехника. 2010. № 1. С. 70–72.
4. Блинов В.А., Смирнов Л.Н., Блинов В.В. Совершенствование естественного освещения в жилых и офисных зданиях // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2012. № 2. С. 30–33.
5. Слукин В.М., Смирнов Л.Н. Обеспечение нормированных условий естественного освещения жилых зданий // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2011. № 4. С. 75–77.

УДК 621.316.925

## СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Исмоилов И.И.

ГОУ «Худжандский политехнический институт Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими», г. Худжанд, Республика Таджикистан

ismoiljon.0057@mail.ru

Науч. рук. Каландаров Х.У.

Рассмотрено влияние потерь напряжения на качество электроэнергии потребителей промышленных сетей, методика расчёта потерь напряжения в различных элементах системы электроснабжения цеха. На модели схем замещения цеховой сети, построенных на базе программы MultiSim, получены результаты реального снижения потерь напряжения в участках кабельных линий сечением 70, 95 и 150 мм<sup>2</sup>. Результаты расчётов суммарных потерь напряжения во всех участках кабельной линии промышленной электрической сети 0,4 кВ получились 1,64 %, что меньше допустимого значения.

**Ключевые слова:** напряжение, потери напряжения, электрические сети, промышленные сети, кабельная линия, кабельная питающая сеть, электродвигатели.

Потери напряжения в электрической сети, присоединенной к пункту контроля, могут быть определены расчетом на основе данных о нагрузках трансформаторов ТП и линиях 0,38–35 кВ или путем непосредственного их измерения [1–3].

В режиме наибольших нагрузок следует определять следующие потери напряжения:

– во внутрицеховой сети – от ВРУ до ближайшего и наиболее удаленного электроприемников  $\Delta U_{вц}$  и  $\Delta U_{ЭП.б}$ ;

– в сети 0,4 кВ ТП – суммарные потери напряжения до наиболее близкого и наиболее удаленного электроприемника,  $\Delta U_{нн.б}$  и  $\Delta U_{нн.у}$ ;

– в сети 6–10 кВ РП (ЦП) – потери напряжения до наиболее близкой и наиболее удаленной ТП –  $\Delta U_{сн.бб}$  и  $\Delta U_{сн.уу}$ , а также потери до ближайшей ТП наиболее удаленного участка сети, трансформаторы которого имеют наибольший номер ответвления ПБВ –  $\Delta U_{сн.уб}$ , и потери напряжения до наиболее удаленной ТП ближайшего участка сети, трансформаторы которого имеют ответвление ПБВ, установленное на № 1 –  $\Delta U_{сн.бу}$ ;

– в трансформаторах  $\Delta U_T$  и добавку напряжения  $E_T$ , соответствующую установленному регулировочному ответвлению.

С достаточной для практических расчетов точностью потери напряжения в элементах сети в режиме наименьших нагрузок ЦП могут быть определены по формуле:

$$\Delta U^{\text{II}} = \beta \Delta U^{\text{I}}; \quad (1)$$

$$\beta = I^{\text{II}} / I^{\text{I}}, \quad (2)$$

где  $I^{\text{I}}$  и  $I^{\text{II}}$  – нагрузка элемента сети соответственно в режиме наибольших и наименьших нагрузок ЦП;  $\Delta U^{\text{I}}$  и  $\Delta U^{\text{II}}$  – потери напряжения на элементе сети соответственно в режиме наибольших и наименьших нагрузок ЦП.

На рис. 1 приведена однолинейная расчётная схема для определения потерь напряжения в электрической сети СП «Джавони».

Результаты потерь напряжения на участках кабельных линий, полученные на моделях схем замещения [4], построенных на базе программы MultiSim, приведены на рис. 2.

В рассматриваемой схеме цеховой электрической сети проложены 3-х и 4-х проводные кабельные линии. Для питающей линии цеховой подстанции (ЦТП) проложены 3-х проводные кабели марки ААБЛУ 3×240, а для питания электродвигателей станков проложены кабели марок АВВГ 4×70, АВВГ 4×95 и АВВГ 4×150. В таблице приведены значения потерь напряжения в трёхфазных алюминиевых кабельных линиях, проложенных в цеховой сети [5].



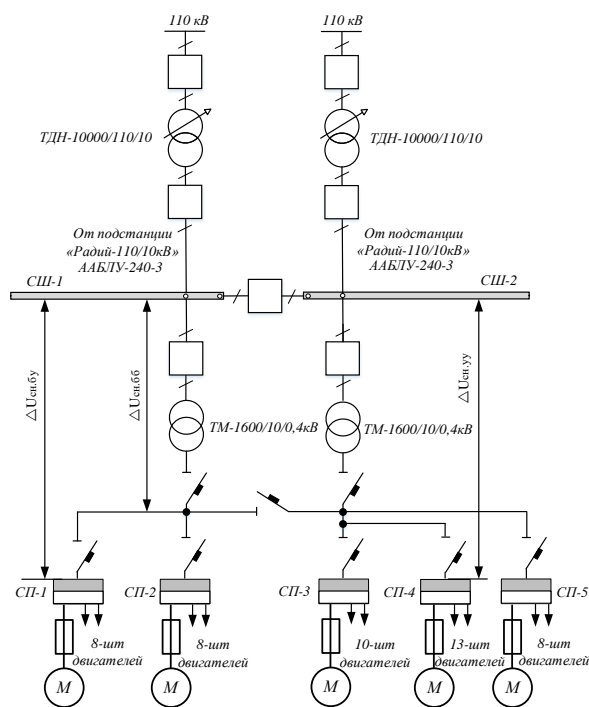


Рис. 1. Расчётная схема для определения потерь напряжения в электрической сети промышленного предприятия

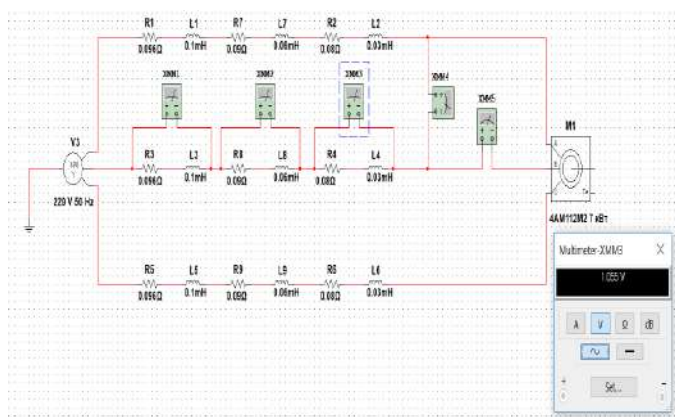


Рис. 2. Модель определения показателя потерь напряжения на участке кабельной линии марки АВВГ 4×70 построенный на программе MultiSim

Потери напряжения в трёхфазных алюминиевых кабельных линиях 380 В на 1 А·км линейного напряжения сети, %

Сечение, мм <sup>2</sup>	Значения коэффициента активной мощности, cosφ					
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
70	0,141	0,160	0,179	0,195	0,211	0,217
95	0,112	0,126	0,138	0,151	0,159	0,160
150	0,082	0,090	0,097	0,103	0,107	0,102
240	0,062	0,066	0,069	0,073	0,072	0,063

На основе данных таблицы производим расчёт потерь напряжения в условных участках схемы электрической сети промышленного предприятия.

Потери напряжения на участках электрической сети проверим на модели с применением программы MultiSim. Для этого на базе программы сначала построена однолинейная схема электроснабжения цеха, т. е. станков цеха с электродвигателями. Программой MultiSim можно достичь реальную картину потерь напряжения на питающих кабелях. Из-за разновидности кабельных линий различны их сопротивление и потери напряжения на участках кабельных линий.

Значение общих потерь на участках цепи определим по выражению:

$$\sum \Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3, \quad (3)$$

где  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  и  $\Delta U_3$  – потери напряжения на участке кабельной линии сечением соответственно 120, 95 и 70 мм<sup>2</sup>.

После подстановки в выражение (3) числовых значений получим:

$$\sum \Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 1,344 + 1,204 + 1,055 = 3,603 \text{ В.}$$

$$\Delta U = \frac{\sum \Delta U}{U_{ном}} \cdot 100\% = \frac{3,603}{220} \cdot 100\% = 1,64 \%$$

Суммарные потери напряжения на кабельных линиях составили 1,64 %, что меньше допустимого значения 5 %.

### **Выводы**

1. По проделанному расчёту потерь напряжения на модели, построенной на базе программы MultiSim, на участках кабельных линий питающей сети видно, что значение суммарных потерь напряжения меньше нормативного, т. е. 5 %. В случае применения прикладных программ для моделирования различных электрических сетей можно достичь результат близкий к реальному.

2. С целью равномерного распределения нагрузок на СП между электродвигателями других цехов предлагается установка однотипных двигателей с одинаковой номинальной мощностью. Следовательно, суммарные потери напряжения на всех участках промышленной сети может не превышать предельно-допустимого значения.

## Литература

1. Бондарь В.В., Полунин А.А. Снижение потерь напряжения в распределительных сетях 0,4 кВ // Образование, наука, производство: сб. матер. VII Междунар. мол. фор. Белгород, 2015. С. 1188–1195.
2. Электрические системы. Режимы работы электрических систем и сетей / под ред. В.А. Веникова. М.: Высшая школа, 1975. 344 с.
3. Блок В.Н. Электрические сети и системы. М.: Высшая школа. 1986. 430 с.
4. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Схемы замещения и установившиеся режимы электрических сетей: учеб. пособие. 6-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 80 с.
5. Справочник энергетика промышленных предприятий. В 4 т. Т. 1. Электроснабжение / под общ. ред. А.А. Федорова, Г.В. Сербиновского и Я.М. Большама. М.: Госэнергоиздат, 1961. 840 с.

УДК 658.514

## ОРГАНИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Калайджян А.Х.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
230997TEMA@mail.ru  
Науч. рук. Цветков А.Н.

Рассмотрен вопрос организации диспетчеризации в системах электроснабжения. Описаны функции системы диспетчеризации электроснабжения, принцип организации диспетчеризации на предприятии. Рассмотрены проблемы организации диспетчеризации и пути решения проблем благодаря внедрению новых систем диспетчеризации.

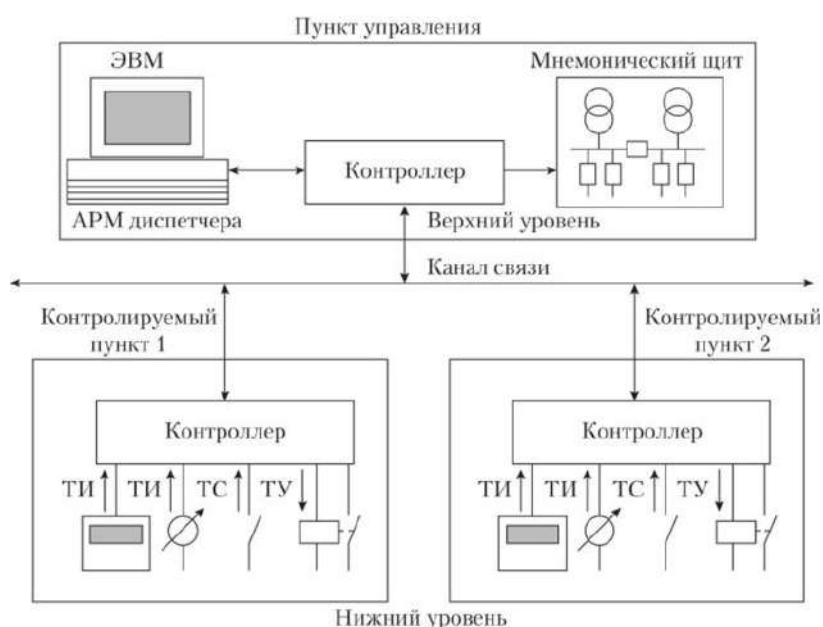
**Ключевые слова:** система диспетчеризации, SCADA-система, контроллер, данные

Внедрение систем диспетчеризации является одним из способов повышения надёжности электроснабжения предприятия. Основными функциями системы на предприятии являются:

- контроль качества электроэнергии, уровня токов, напряжений, мощностей, состояния коммутационного оборудования;
- отслеживание режима работы системы и фиксирование его изменения.

Современные системы диспетчеризации также имеют функции учёта электроэнергии и аналитическое информирование, позволяющее своевременно планировать ремонт оборудования и проводить оптимизацию системы.

Система диспетчеризации условно подразделяется на верхний и нижний уровни. На верхнем уровне контроль и управление системой осуществляется диспетчерским пунктом управления, где расположены автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера, контроллер и мнемощит. Взаимодействие между верхним и нижним уровнями осуществляется по каналам связи. Для связи с контролируемыми объектами используются программируемые контроллеры. Они собирают информацию с объекта с помощью датчиков и преобразователей и передают информацию в диспетчерский пункт.



Система диспетчеризации

Основными проблемами организации диспетчеризации являются:

- быстрота реагирования на аварийную ситуацию;
- высокая вероятность получения недостоверной информации (при диспетчеризации посредством телефонной связи);
- отсутствие возможности автоматически привязать все устройства к общему времени (что затрудняет определение последовательности возникновения аварии);
- сложность сбора информации о режимах работы (производится вручную).

Данные проблемы решаются путём создания SCADA-системы. Эта система включает в себя внедрение регистраторов аварийных событий, преобразователей интерфейсов, создание сервера точного времени и сервера обработки и хранения данных.

Регистраторы аварийных событий устанавливаются на трансформаторные подстанции. Они собирают информацию о состоянии ТП, записывают осциллограммы и передают данные в диспетчерский пункт. С помощью осциллограмм можно рассмотреть момент аварии, 5-секундный интервал до возникновения аварии и 60-секундный интервал после аварии. Благодаря этому определяются причина и последствия аварии, время срабатывания устройств релейной защиты.

Преобразователи интерфейсов используются для подключения терминалов защит к общей сети. Команды управления осуществляются через выходные реле телеуправления. Данный способ позволяет управлять любыми механизмами, в том числе не снабжёнными микропроцессорными устройствами.

Сервер точного времени обеспечивает синхронизацию времени всех компонентов системы от единого источника времени. Вся собранная информация поступает на сервера обработки и хранения данных. Сервера работают параллельно, что обеспечивает бесперебойную работу в случае отказа одного из серверов.

Новая система диспетчеризации отслеживает состояние текущих нагрузок, ведёт технический учёт электроэнергии, ведёт подробную запись аварий, оптимизирует сбор сигналов и уменьшает количество устройств в системе за счёт многофункционального контроллера.

Проблемой создания новых систем диспетчеризации является наибольшая информационная взаимосвязь используемого оборудования. Это требует сбора множества дискретных сигналов и использования большого количества преобразователей. Также сложности вызывает большое разнообразие устройств, необходимых для решения задач диспетчеризации. Для освоения данного оборудования нужны высококвалифицированные специалисты. Всё это в совокупности приводит к большим затратам как при вводе системы в работу, так и при её эксплуатации.

Однако функционал новой системы позволяет своевременно производить ремонт оборудования, предупредить возникновение аварийной ситуации, что обезопасит от выхода из строя оборудования.

## Литература

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая Линия – Телеком, 2009. 608 с.
2. Клюев А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 464 с.
3. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / под общ. ред. Ю.Н. Руденко, В.А. Семенова. М.: Изд-во МЭИ, 2000. 648 с.

УДК 621.3

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Крылова Д.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

krylova.diana@inbox.ru

Науч. рук. Грачева Е.И.

Рассмотрены основные тенденции развития конструкции силовых трансформаторов. Выявлены достоинства и недостатки элегазовых и аморфных трансформаторов. Выявлены отличия процесса изготовления трансформатора с аморфным сердечником от производства трансформаторов по традиционной технологии.

**Ключевые слова:** высокотемпературные сверхпроводники, высокотемпературные сверхпроводниковые трансформаторы, нанокристаллический сплав, аморфные трансформаторы, элегазовые трансформаторы, элегаз, трансформаторное масло, аморфная сталь, аморфная лента.

Процесс совершенствования конструктивного исполнения трансформаторов в настоящее время заключается в создании новых и улучшении используемых проводниковых, магнитных и изоляционных материалов [1]. К новым проводниковым материалам относятся высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП). Они применяются в ВТСП трансформаторах.

Среди новых магнитных материалов важная роль отводится нанокристаллическому сплаву. На основе особенностей этого сплава создаются новые типы аморфных трансформаторов. В настоящий момент

разрабатываются ленты из аморфных сплавов, которые обладают улучшенными магнитными свойствами и дешевизной [2]. Аморфный сплав – это некоторый вид прецизионного сплава. Металл приходит в аморфное состояние посредством химического подбора и метода охлаждения, которое проводится со скоростью, превышающей скорость кристаллизации [3]. К усовершенствованным изоляционным материалам относится элегаз. Его применяют в трансформаторах вместо трансформаторного масла.

Преимуществами элегазовых трансформаторов являются экологичность и пожаробезопасность. Недостатки элегазовых трансформаторов: значительно большая стоимость сравнительно с масляными трансформаторами; при достаточно высокой температуре и повышенном давлении элегаз может перейти в жидкое состояние [4].

Для аморфных трансформаторов характерны: высокая энергоэффективность (использование аморфной стали в процессе изготовления магнитопровода дает возможность на 75 % уменьшить потери холостого хода), усовершенствованные магнитные характеристики (у магнитопровода из аморфных сплавов гораздо меньше удельные магнитные потери, чем у магнитопровода из электротехнической стали, у него высокая магнитная проницаемость и индукция насыщения на высоких частотах), доступная стоимость (на данный момент зарубежные производители изготавливают аморфную ленту, которой достаточно для создания трансформаторов мощностью 32–1600 кВА, серийно; уменьшение стоимости материала дало возможность предложить потребителям силовые трансформаторы с аморфным сердечником по доступным ценам), экономическая целесообразность (опыт применения трансформаторов с аморфным сердечником за границей показал, что повышенная на 30–35 % стоимость «аморфных» трансформаторов ТМГ, мощность которых составляет 32–1250 кВА, окупается на протяжении 3–5 лет. Точное число лет зависит от тарифов на электроэнергию в регионах) [5].

Перегрузочная способность и срок службы аморфных трансформаторов аналогичны значениям трансформаторов с сердечником из электротехнической стали.

Недостаток материала сердечников аморфных трансформаторов заключается в том, что его стоимость выше стоимости традиционного материала [6]. У японской фирмы Hitachi эта разница составляет 15–20 %. На данный момент цена реализации аморфной стали зарубежными производителями составляет примерно 3 долл. США за килограмм.

Это делает использование аморфной стали в силовых трансформаторах экономически оправданным. Срок окупаемости аморфных трансформаторов составляет от 4 до 6 лет [3].

У стандартного ТМГ (масляного герметичного трансформатора) мощностью 1000 кВА потери холостого хода составляют 1600 Вт, у его аналога с усовершенствованными характеристиками – 1300 Вт. Мощность, которую сохранит энергосберегающий трансформатор за год работы, составляет 2628 кВт. Еще большей экономии можно достичь за счет применения трансформатора с аморфным сердечником. АТМГ на 1000 кВА имеет потери холостого хода 450 Вт. За час работы стандартный ТМГ потребляет на 1,15 кВт больше по сравнению с «аморфным» ТМГ такой же мощности. Следовательно, за год экономия 10074 кВт. Учитывая, что тариф составляет 3 рубля за киловатт, экономия составит примерно 30000 руб. в год [7].

Так как в настоящее время существует мировой дефицит энерго мощностей, энергопотребление постоянно растет, а энергоресурсы дорожают, вопрос об экономии электрической энергии становится все более актуальным. Совершенствование конструкции трансформаторов позволяет в значительной мере сократить потери электроэнергии.

## Литература

1. Серебряков А.С. Трансформаторы: учеб. пособие. Княгинино: НГИЭИ, 2010. 300 с.
2. Костинский С.С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 1-2. С. 14–32.
3. Гуринович Е.А. Конструктивные особенности, характеристики, достоинства и недостатки трансформаторов с сердечниками из аморфных сплавов // Актуальные проблемы энергетики: матер. 69-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Минск, 2014. С. 112.
4. Силовые элегазовые трансформаторы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.electrician.com.ua/posts/1393> (дата обращения: 04.03.2020).
5. ТМГ аморфные [Электронный ресурс]. URL: <http://transformator.ru/production/transformatory-tmg/tmg-amorfnye/> (дата обращения: 04.03.2020).



6. Грачева Е.И., Наумов О.В. Некоторые особенности электрических трансформаторов: учебник. М.: Русайнс, 2016. 184 с.

7. Силовые «аморфные» трансформаторы. Будущее в настоящем [Электронный ресурс]. URL: [https://market.elec.ru/nomer/44/silovye-amorfnye-transformatory-budushee-v-nastoyem/](https://market.elec.ru/nomer/44/silovye-amorfnye-transformatory-budushee-v-nastoyem) (дата обращения: 04.03.2020).

УДК 621.311

## ДОМИНИРУЮЩИЙ ФАКТОР В ЦЕНЕ МОЩНОСТИ ДЛЯ КОНЕЧНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ

Лосюгина Р.С.<sup>1</sup>, Галеева Р.У.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>regina\_losyugina@mail.ru, <sup>2</sup>raisa\_gal.52@mail.ru

Проведен анализ влияния третьей ценовой категории цены мощности по ДПМ (договор на поставку мощности) на структуру тарифа и мощность для конечного промышленного потребителя.

**Ключевые слова:** оптовый рынок, договор на поставку мощности, тариф, конкурентный отбор мощности, ценовая зона.

Важным аспектом электропотребления является его ценовая составляющая. При анализе тарифных цен, предлагаемых гарантирующим поставщиком (ГП), возникают два аспекта: первый – учет воздействия тарифа, соотношения между переменной и постоянной составляющих структуры цены на режим электропотребления предприятия и второй – влияние профиля нагрузки на выбор ценовой категории [1].

В работе проведен анализ учета воздействия на тарифную цену составляющей мощности по «договорам о предоставлении мощности» (ДПМ). Также ставится вопрос обоснованности инвестиционной ДПМ-составляющей в современных условиях, когда коэффициент загрузки генерирующих мощностей станций в первой ценовой зоне снизился до 50–70 % [2].

В общем виде конечная отпускная цена на электроэнергию для потребителя получается как сумма средневзвешенной цены закупки электрической энергии  $C_{OW}$  и мощности  $C_{OP}$  на оптовом рынке (ОР),

цены услуг по передаче этой энергии до точек поставки потребителя  $C_T$ , цены на содержание инфраструктуры оптового рынка  $C_{и}$  и сбытовой надбавки энергосбытовой компании  $C_{сб}$  (гарантирующего поставщика):

$$C_{пот} = C_{OW} + C_{OP} + C_T + C_{и} + C_{сб}.$$

Цена мощности  $C_{OP}$  формирует конечную отпускную цену на электроэнергию предприятия на 45–50 % [3]. Таким образом, стоимость мощности оказывает немаловажное влияние на формирование цены на электроэнергию для промышленного потребителя.

Окончательное ценообразование мощности для промышленных потребителей покупаемой на ОР формируют цены на мощность, отобранной в рамках рынка КОМ (конкурентный отбор мощности)  $C_{КОМ}$ ; в рамках свободных договоров купли-продажи (СДМ)  $C_{СДМ}$ ; мощность, поставляемой по тарифам (вынужденная генерация)  $C_{ВГ}$ ; мощность поставляемой на ОР по «договорам о предоставлении мощности» (ДПМ)  $C_{ДПМ}$ :

$$C_{OP} = C_{КОМ} + C_{СДМ} + C_{ВГ} + C_{ДПМ}.$$

Таким образом, средневзвешенную цену электроэнергии без учета цены надбавки и стоимость инфраструктуры ОР можно выразить как:

$$C_{ср} = C_{ээср} + C_{OP} = C_{оср} P_n + (C_{КОМ} + C_{СДМ} + C_{ВГ} + C_{ДПМ})/744,$$

где  $C_{ээср}$  – средняя стоимость электроэнергии, руб./МВт·ч;  $744 = 31 \cdot 24$  – количество часо за месяц.

Мощность тестируемого предприятия, оплачиваемая на ОР первой ценовой зоны (ЦЗ) и определенная по указанному ниже порядку, составила  $P = 20$  МВт при средневзвешенной прогнозной стоимости электроэнергии  $C_{оср} = 1221$  руб./МВт·ч;  $C_{КОМ} = 203506$  руб./МВт;  $C_{ВГ} = 2006$  руб./МВт;  $C_{ДПМ} = 551736$  руб./МВт.

Проведенные исследования показали, что ДПМ-составляющая в оплачиваемом рынке мощности для потребителей Республики Татарстан по стоимости выросла за последние семь лет в 8 раз, при этом КОМ-составляющая практически осталась неизменной, что привело к повышению совокупной цены на электроэнергию и переход крупных

потребителей в условиях котлового расчета тарифов к собственной генерации (см. рисунок). Пик ввода ДПМ в 2014–2017 гг. не привел к снижению нагрузки на цену мощности.

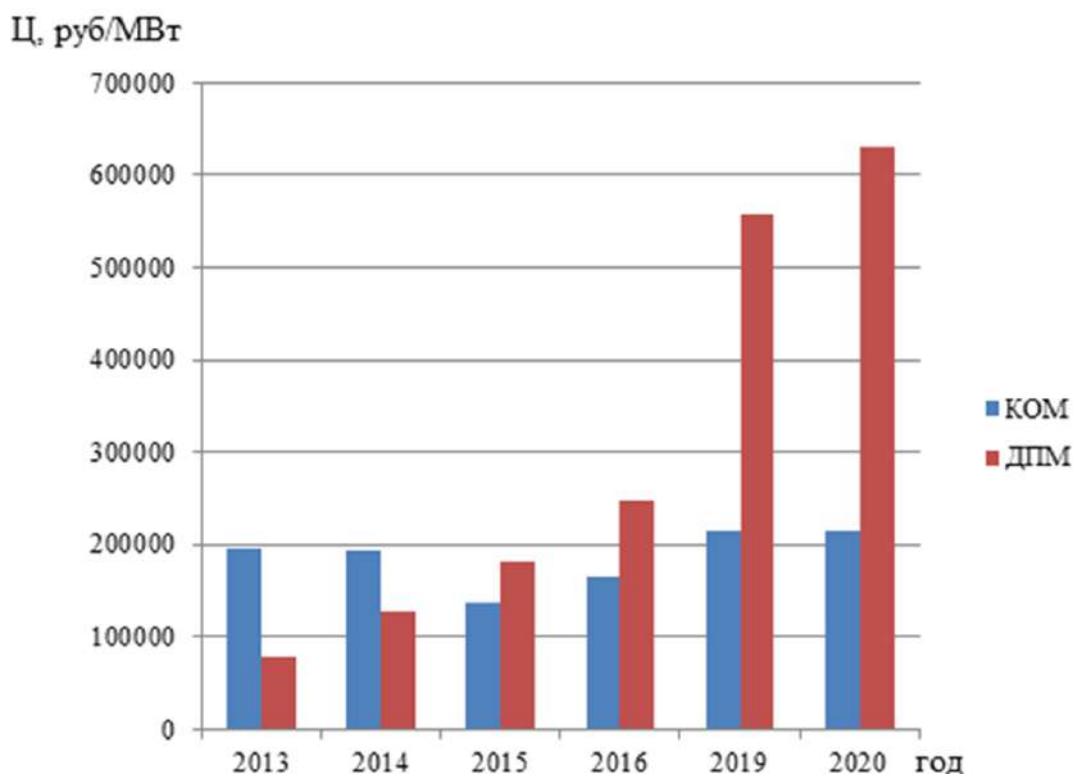


График цен на КОМ и ДПМ-составляющие

Источниками формирования исходных данных для построения свободных (нерегулируемых) цен на мощность за 1 МВт пикового потребления по субъектам Российской Федерации являются данные Росстата, АО «СО ЕЭС», результаты КОМ, постановления Правительства Российской Федерации, оценки Ассоциации «НП Совет рынка» и правилами оптового рынка [3, 4].

### Литература

1. Галеева Р.У., Ладик Я.С. Влияние доминирующих факторов в третьей и четвертой ценовых категориях на конечную отпускную цену электропотребления // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: сб. матер. XIII Всерос. отк. мол. конф. 2018. С. 31–35.

2. Электроэнергетика России: основные показатели функционирования и тенденции развития: доклад [Электронный ресурс]. URL: <https://ur.hse.ru/news/147589655.html> (дата обращения: 16.02.2020).

3. Ассоциация НП Совет рынка [Электронный ресурс]. URL: [http://np-sr.ru/sites/default/files/20191227\\_ishodnye\\_dannye\\_i\\_prognoz\\_na\\_2020.pdf](http://np-sr.ru/sites/default/files/20191227_ishodnye_dannye_i_prognoz_na_2020.pdf) (дата обращения: 16.02.2020).

4. Рудаков Е. Анализ результатов реформы электроэнергетики и предложений по изменению подходов к ее регулированию [Электронный ресурс]: доклад // Реформа и эффективность электроэнергетики: конструктивный компромисс: круглый стол. Москва, 2013. URL: [http://ipem.ru/research/power/power\\_presentations/82.html](http://ipem.ru/research/power/power_presentations/82.html) (дата обращения: 16.02.2020).

УДК 621-316.3

## **ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Майоров А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

mayorov19977@mail.ru

Науч. рук. Низамиев М.Ф.

Разработан способ, позволяющий уменьшить потери электроэнергии на трансформаторах в нерабочее время с помощью отдельного питания потребителей с равномерным графиком и технологической нагрузки. Разработана методика для выбора рациональной системы электроснабжения промышленных предприятий.

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, электроснабжение, промышленные предприятия.

В современном мире остро стоит вопрос потери электроэнергии и рациональном использовании природных ресурсов. Это связано как с увеличением цен на электричество и природные ресурсы, так и вредными выбросами при сжигании природных ресурсов.

В нашей стране около 70 % вырабатываемой электроэнергии (ЭЭ) потребляются промышленными предприятиями средней мощности (ПП). Вследствие того, что цены на ЭЭ постоянно растут, ПП используют различные способы экономии ЭЭ. Наиболее эффективным методом по экономии ЭЭ на ПП является использование для внешних расчетов автоматизированной системы коммерческого учета ЭЭ (АСКУЭ). Такой способ дает экономию ЭЭ около 5–10 %.

Так же на этих ПП используются следующие методы экономии ЭЭ:

- окрашивание стен в помещении светлые тона – экономия до 2 %;
- содержать в чистоте окна, светильники – экономия до 3 %;
- замена осветительных приборов с лампами накаливания на лампы дневного света – экономия до 5 %;
- установка датчиков движения – экономия до 10 %;
- отключение на ПП все не работающие приборы – экономия до 5 %;
- замена старого электрооборудования на современное, более экономичное – экономия до 10 %.

Все эти способы экономии не позволяют достичь желаемой величины энергосбережения ЭЭ [1].

В настоящее время ПП переходят на двухсменный или даже на односменный график работы. Такой режим работы ПП требует возможности отключения неработающего оборудования и части силовых трансформаторов в нерабочее время. При малых нагрузках трансформатора в системе электроснабжения (СЭС) возникают дополнительные потери ЭЭ в промежутки времени между нерабочими сменами на ПП. В связи с быстрым ростом цен на ЭЭ экономия ЭЭ в нерабочее время оборудования встает еще острее [2].

По правилам проектирования все потребители ЭЭ должны получать питание от одного трансформатора. Именно поэтому трансформаторы должны быть круглосуточно включены. В 90-ых годах цены ЭЭ стоило очень дешево, а электрооборудование стоило значительно дороже, поэтому такая схема считалась наиболее экономной. В настоящее же время цены на ЭЭ резко возросли, а цены на электрооборудование снизилось. Поэтому можно рассмотреть вариант отдельного питания технологической нагрузки от потребителей с равномерным графиком нагрузки [3].

Такой способ экономии ЭЭ пытались применить в 50–60-х гг., но в то время пришли к выводу о том, что схема с отдельным питанием является более затратной, чем схема совместным питанием. Это связано с тем, что раньше преобладали ПП с трехсменным графиком работы.

Уменьшить потери ЭЭ на ПП можно путем отключения трансформаторов в нерабочее время. Согласно проведенным расчетам такой способ поможет сэкономить примерно 15–30 % ЭЭ. На ПП работающих в две или одну смены (большинство современных ПП работают в одну или в две смены), требуется возможность отключения неработающего оборудования и части силовых трансформаторов цеховых подстанций в нерабочее время. При малой загрузке цеховых трансформаторов в СЭС возникают дополнительные потери ЭЭ в период

между рабочими сменами. Но для этого нужно выделить потребители с равномерным графиком нагрузки на отдельный источник питания, т. е. необходимо пересмотреть систему электроснабжения СЭС цехов ПП с точки зрения режимов работы потребителей в цехах. К потребителям с равномерным графиком нагрузки относятся потребители ЭЭ, которые работают круглые сутки, потребители, требующие постоянного наличия напряжения. К технологической нагрузке относятся приемники ЭЭ, работающие только в период рабочих смен. При частых включениях и отключениях трансформаторов возникают большие токи, необходимо предусмотреть средства для защиты трансформатора от этих токов. Кроме того, это может привести к уменьшению срока службы трансформатора. Кроме того, необходимо, чтобы надежность модернизированной схемы была не хуже, чем до внесения изменений в СЭС ПП. При этом затраты на установку дополнительного оборудования были минимальными [4].

Вследствие предложенных решений разработана методика и программа выбора рациональной СЭС, на основании которой можно разработать СЭС, удовлетворяющую требованиям надежности, качества ЭЭ и минимума потерь ЭЭ в СЭС ПП средней мощности. При этом автоматизация расчетно-экспериментальных исследований по определению расчета потерь ЭЭ в СЭС ПП позволяет снизить трудоемкость расчетов, повысить обоснованность принимаемых решений за счет углубленных расчетов структурной надежности СЭС ПП на ЭВМ.

Разработаны рекомендации по возможности применения тех или иных СЭС в зависимости от особенностей ПП (расположения цехов, режима работы, назначение ПП и др.), которые позволяют точнее и быстрее определить конфигурацию и структуру СЭС для дальнейшего ее технико-экономического обоснования к применению

## Литература

1. Поспелов Г.Е. Потери мощности и энергии в электрических сетях, М.: Энергоиздат, 1981. 261 с.
2. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие. Томск: ТПУ, 2000. 144 с.
3. Федорова А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. М.: Энергоатомиздат, 1986. 568 с.
4. Электротехнический справочник. В 3 т. Т. 1: Производство и распределение электрической энергии / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.], И.Н. Орлова (гл. ред.). 7-е изд., испр. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1988. 878 с.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ ПРОНИКНОВЕНИЯ В РАБОЧУЮ ЗОНУ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИСПЫТАНИЯМ И ДИАГНОСТИКЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ**

Николаев К.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mr.nikolaev.2000@mail.ru

Науч. рук. доц. Аскарлов Р.Р.

При проведении или выполнении каких-либо работ особое внимание следует уделять технике безопасности, особенно если речь идет о работе в электротехнической лаборатории во время учебного процесса и задействованы люди. Рассматриваются различные способы обеспечения безопасности обучающихся в учебно-исследовательской лаборатории при проведении испытаний и диагностике кабельных линий в КГЭУ.

**Ключевые слова:** frida TD, технологическая защита, высокое напряжение, электротехническая лаборатория.

В настоящее время в высших учебных заведениях создаётся множество различных лабораторий, в которых студенты обретают практический опыт работы с установками. При создании лабораторий необходимо уделять огромное внимание безопасности во избежание несчастных случаев, так как зачастую студенты не обладают достаточными знаниями. В данной статье рассматривается учебно-исследовательская лаборатория по испытаниям и диагностике кабельных линий (УИЛ ИДКЛ) в Казанском государственном энергетическом университете. Эта лаборатория оснащена портативной электроустановкой компании VAUR – генератором напряжения сверхнизкой частоты (СНЧ) и рабочей зоной, где установлены ячейки КСО с выведенными концами кабелей на напряжение 10 кВ. Кабели проложены в грунте, прилежащих к университету территорий, общая протяжённость КЛ более 500 м.

Используемая в лаборатории электроустановка frida TD способна генерировать напряжение  $1\text{--}24\text{ кВ}_{\text{дейст}}$  ( $34\text{ кВ}_{\text{пик}}$ ). Такое высокое напряжение является опасным для жизни. Для защиты от случайных прикосновений к опасным частям электроустановки была установлена стеклянная перегородка, ограничивающая рабочую зону, металлический каркас которой заземлён (рис. 1).



Рис. 1. Рабочая зона УИЛ ИДКЛ

Но по требованиям техники безопасности (ТБ), которые необходимо соблюдать в ЭТЛ [1], такая степень защиты является недостаточной, так как человек, проводящий опыт под влиянием «человеческого фактора», может войти в рабочую зону во время поданного высокого напряжения.

Согласно требованиям ТБ необходимо установить технологическую защиту по следующему техническому заданию:

1. В схеме питания установки должно быть устройство, обеспечивающее видимый разрыв.

2. Защита должна обладать звуковой и двухцветной световой сигнализацией (красная и зелёная лампы).

3. В схеме питания должна быть аварийная кнопка отключения типа «Гриб».

4. Условные обозначения сигналов:

4.1. Во время подачи питающего напряжения к установке горит зелёная лампа – «ГОТОВ».

4.2. Во время введения установки в работу и подачи высокого напряжения загорается красная лампа – «В РАБОТЕ» и подаётся кратковременный звуковой сигнал.

4.3. Если в момент подачи высокого напряжения дверь перегородки оказывается открытой, то с генератора снимается напряжение и работает звуковая сигнализация.

В целях обеспечения быстрого доступа к элементам технологической защиты, она выполнена с помощью модульных устройств размещённых на DIN-рейке (рис. 2).



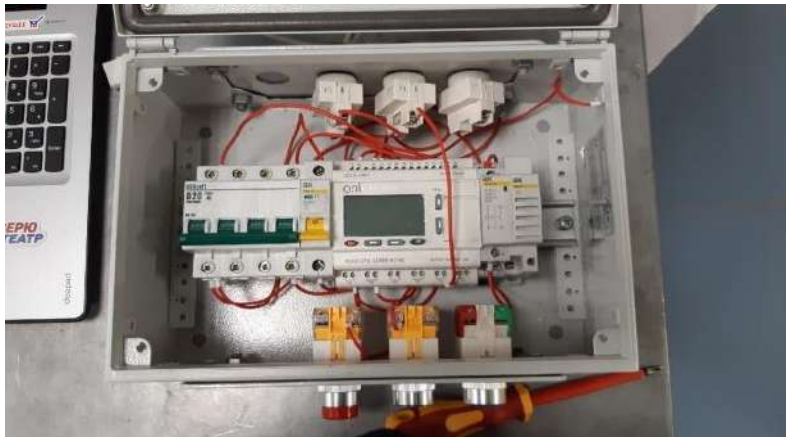


Рис. 2. Устройства, используемые для организации защиты

Рассмотрим главную особенность нашей защиты. Заметим, что в установке frida TD имеется «ключ блокировки», который в изначальном положении является простой перемычкой. Мы можем использовать это устройство для организации двойной защиты. Монтажная схема устройств защиты и логика ПЛК Oni, спроектированной защиты представлены на рис. 3.

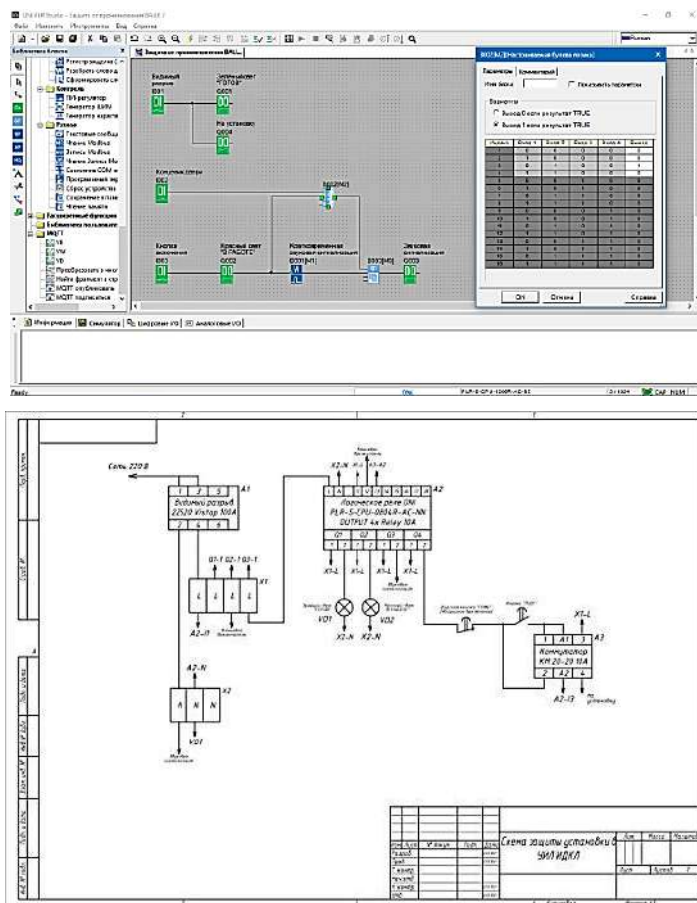


Рис. 3. Монтажная схема устройств защиты и логическая схема ПЛК Oni

Защита организована так, что при попытке проникновения в рабочую зону во время проведения измерений разрывается цепь «ключа блокировки», включённого последовательно с концевым выключателем двери – установка прекращает подачу напряжения, а так же при помощи ПЛК Oni мы прекращаем подачу питающего напряжения к СНЧ-генератору.

Стоит отметить, что одним из элементов защиты является ПЛК, такое решение позволяет сделать нашу защиту более гибкой к изменениям. Так же учитывая данное техническое задание, использование ПЛК Oni снижает стоимость установки технологической защиты.

По результату проведённых работ мы получаем такие показатели безопасности ЭТЛ, которые удовлетворяют требованиям.

### Литература

1. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-прав. системы «КосультантПлюс» (дата обращения: 23.01.2020).

УДК 537-73

## ПЕРСПЕКТИВА НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СРЕДНЕГО КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ

Николаев К.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mr.nikolaev.2000@mail.ru

Науч. рук. Аскарлов Р.Р.

Рассматриваются действующие и новые методы исследования и диагностики кабельных линий. Оцениваются перспективы развития новых неразрушающих методов диагностики, использование которых становится возможным с появлением современного переносного диагностического оборудования от компании BAUR.

**Ключевые слова:** кабельные линии, диагностика, частичные разряды, тангенс дельта, напряжение СНЧ, комплексное испытание MWT, остаточный ресурс.

В настоящее время в крупных населённых пунктах электроэнергию в основном передают по кабельным линиям, причиной этого являются вопросы безопасности, экономии земельных ресурсов и эстетики.

Так в городах кабельные линии по протяжённости превосходят воздушные линии. Стоимость прокладки, ремонта и обслуживания кабельных линий дороже. Поэтому планово-профилактическим работам и диагностике уделяется особое внимание, так как от этого зависит надёжность энергообеспечения потребителя.

На данный момент в России существует система планово-профилактических испытаний. Согласно этой системе кабельная линия испытывается постоянным напряжением, которое в 4-6 раз больше номинального. Этот метод не даёт необходимой информации об остаточном ресурсе кабеля, кроме того она негативно сказывается на сроке службы кабеля, значительно сокращая его. Особенно отрицательно постоянное напряжение воздействует на кабели с полимерной изоляцией, которые совсем недавно начали появляться на рынке.

На смену постоянному напряжению приходит более эффективное и щадящее напряжение сверхнизкой частоты не более 0,1 Гц. СНЧ-напряжение позволяет регистрировать все те же повреждения, что и при испытании постоянным напряжением, при этом, не образуя объёмных зарядов в имеющихся водных триингах (от англ. water treeing). Если ввести кабель в эксплуатацию с появившимися объёмными зарядами, то возникают местные перенапряжения, которые наносят повреждения кабельной линии или вовсе выводят её из строя.

В КГЭУ есть учебно-исследовательская лаборатория по испытаниям и диагностике кабельных линий, оснащённая оборудованием компании BAUR (рис. 1) способным проводить диагностику по современным стандартам.



Рис. 1. Прибор для диагностики и испытания СНЧ-напряжением

Установка frida TD способна проводить как простое испытание кабеля повышенным напряжением, так и оценку диэлектрического состояния изоляции кабельной линии на базе коэффициента диэлектрических потерь. Эти методы дают нам общую характеристику о состоянии изоляции кабеля.

Более эффективные методы исследования можно воплотить в сочетании СНЧ-генератора и портативной системы диагностики ЧР PD-TaD 60.



Рис. 2. Портативная система диагностики ЧР с генератором frida TD

Метод диагностики ЧР заключается в том, что он выявляет самые слабые места кабеля, степень развития повреждения в этих местах и их локализацию. Тем самым мы можем более точно определить его остаточный ресурс и в зависимости от результатов измерения принять решение, например, о немедленном выводе кабеля из эксплуатации или же о продлении его срока службы.

Самым обширным методом диагностики является комплексное контролируемое испытание на электрическую прочность или комплексное испытание MWT (с англ. Full Monitored Withstand Test). Во время испытания необходимо:

1. Определить, выдержит ли кабель определенной длины соответствующую нагрузку в течение определенного времени, что позволяет измерить коэффициент диэлектрических потерь.

2. Оценить состояние кабельной изоляции, а с помощью измерения частичных разрядов – отобразить источники ЧР и выполнить их точную локализацию [1]. Стоит отметить, что это испытание MWT контролируемое, другими словами, ориентируясь на промежуточные результаты

диагностики, можно автоматически или в ручном режиме изменить время испытания. Главными преимуществами такого метода является полнота данных о состоянии кабельной линии и значительное сокращение времени необходимого для проведения диагностики, так как более старое оборудование не позволяет проводить такие замеры одновременно.

Новейшее оборудование имеет возможность управления установками через ПК, что позволяет производить эффективное хранение и анализ результатов проведённых измерений.

Исходя из всего вышесказанного, новые методы диагностики имеют большие перспективы развития в современном мире, так как современное оборудование позволяет внедрить их в производство, а так же они значительно снижают стоимость ремонта и обслуживания кабельных линий. Данные методы уже получили широкое распространение за рубежом, вскоре произойдёт их внедрение в российское производство.

### Литература

1. Система диагностики ЧР BAUR PD-TaD 60 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.pergam.ru/catalog/electrical\\_equipment/high\\_voltage/portable\\_measuring\\_partial\\_discharges/baur-pd-tad-62.htm](https://www.pergam.ru/catalog/electrical_equipment/high_voltage/portable_measuring_partial_discharges/baur-pd-tad-62.htm) (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 628.97

## ОПТИМИЗАЦИЯ НАРУЖНОГО И ВНУТРЕННЕГО ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Нургатин Р.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

nurgatin96@mail.ru

Науч. рук. Денисова Н.В.

Рассмотрены два вида искусственного освещения – наружное и внутреннее. Указаны различия и общие подходы в их создании. Описаны типы наружного и внутреннего освещения. Приведены характеристики источников, предназначенных для каждого вида освещения, их различия и преимущества светодиодного освещения.

**Ключевые слова:** наружное освещение, внутреннее освещение, лампа, источник света, светодиод.

Сегодня искусственное освещение формируется тремя типами источников света: лампы накаливания, газоразрядные лампы и светодиоды.

Лампы накаливания, в том числе галогеновые лампы, которые относятся к источникам с теплой тональностью, но спектр их излучения больше близок к спектру белого света. Галогенные лампы отлично «передают» цвета мебели и интерьера в теплой нейтральной гамме, а также цвет лица человека.

Газоразрядные лампы – люминесцентные, дуговые ртутные лампы, натриевые и др. В них излучение происходит за счет испускания фотонов возбужденными молекулами газа в колбе лампы и преобразования в видимый свет люминофором на стенках.

Светодиоды – твердотельные (полупроводниковые) источники света. Последние достижения физики полупроводников привело к появлению нового класса – светодиодных светильников, обладающих еще более экономичными характеристиками, широким спектром светового излучения.

Оценивая качество источников света можно говорить о нескольких его характеристиках: сила света, яркость, освещенность поверхностей [1].

Люминесцентные лампы характеризуются цветовой температурой от 4700 до 6700 К, что очень близко к цветовой температуре солнечного света. Поэтому люминесцентные лампы называют лампами дневного света. Они излучают свет, слишком резкий для глаз, помимо того, в их излучении как всегда есть избыток синих и зеленых лучей, поэтому в жилых помещениях такие лампы применяют редко [2].

Усовершенствование люминесцентных ламп привело к созданию современных энергосберегающих ламп, сочетающих в себе компактность ламп накаливания и экономичность люминесцентных. Такие лампы имеют ряд особенностей [3] и их применение ограничено при низких температурах.

Установки освещения подразделяются на внутренние и наружные.

Установки внутреннего освещения предназначены для освещения производственных, административных, жилых и общественных зданий и помещений.

В качестве источников света для внутреннего освещения применяются газоразрядные лампы (люминесцентные, ртутные и др.), лампы накаливания и в последнее время – светодиоды.

Для искусственного внутреннего освещения предприятий применяются газоразрядные лампы и люминесцентные лампы. Например, при производстве операции точной сборки увеличение освещенности с 500 до 1000 лк приводит к повышению производительности труда на 25 %.

Исследования условий оптимального освещения помещений, требующих комфорта, привели к следующим выводам:

1) потолки лучше всего делать белыми с высоким коэффициентом отражения, порядка 85 %;

2) коэффициент отражения стен должен составлять 40–60 % (при этом возможен широкий спектр приятных оттенков);

3) коэффициент отражения мебели должен составлять около 35 %, пола – не менее 20 %.

Установка наружного освещения предназначена для освещения территорий предприятия и учреждений, городов, поселков и т. д. [3].

Для освещения улиц в промышленных районах, в крупных городах с большой запыленностью воздуха применяются светильники со степенью защиты IP53, IP54 и IP65.

По распределению светового потока светильники разделяют на три группы: прямого, отраженного и рассеянного света. Светильники характеризуются коэффициентом полезного действия (КПД), защитным углом и диаграммой распределения света [4].

Для освещения дорог применяют преимущественно светильники прямого света, особенно для этого подходят светодиодные светильники. Светодиоды светят только в одну сторону, что позволяет достигать высокую направленность излучения и получать КПД светильника до 96 %.

В светодиодных светильниках есть возможность уменьшать уровень светового потока в ночное время за счет снижения потребляемой мощности на 30–50 %, что приводит к значительной экономии электроэнергии.

С точки зрения экологии, человечество изобретает все более безопасное для окружающей среды светильники. Они не содержат ртути, как большинство газоразрядных ламп. Как диоды, так и стеклянная колба могут быть выброшены просто в мусор, без специальной утилизации.

Те же самые светодиодные лампы можно рассмотреть с точки зрения экономичности, потому что это снижение энергопотребления, а значит снижение расходов на оплату электроэнергии в 2–3 раза. К тому же срок

службы у светодиодных ламп дольше, по сравнению обычными лампами накаливания. Лучше купить один раз диодные и пользоваться долго, нежели обычными лампами. Поэтому начали придумывать и внедрять лампы светодиодного характера [5, 6].

Таким образом, в настоящее время светодиоды считаются самым перспективным источником освещения как для наружного, так и для внутреннего освещения.

### Литература

1. Справочная книга по светотехнике / под. ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1992. 528 с.
2. Осветительные установки промышленных предприятий / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: КГЭУ, 2016. 205 с.
3. Денисова Н.В., Шляпченко А.А. Исследование электрических параметров компактных люминесцентных ламп // Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 91–95.
4. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н.. Электрическое освещение: справочник. Минск: Техноперспектива, 2008. 256 с.
5. Светодиоды и их применение для освещения / под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2012. 280 с.
6. Ключников С.В. Светодиоды в освещении: монография. М.: МИЭЭ, 2014. 274 с.

УДК 621-313.3

### ТАРИФИКАЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ

Сагадуллина Р.М.<sup>1</sup>, Галеева Р.У.<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>raisa\_gal.52@mail.ru, <sup>1</sup>1998renata@mail.ru

Описан механизм управления реактивной мощностью в сетях потребителя и энергоснабжающей организации через систему тарификации. Проведен расчет срока окупаемости затрат при предлагаемой системе тарификации реактивной мощности (энергии) для инвестиционных проектов.

**Ключевые слова:** тариф на реактивную мощность (энергию), ценовая категория, ценовая зона, гарантирующий поставщик, потребитель.



Взаимоотношения между энергоснабжающей организацией и потребителем по управлению реактивной мощностью, регламентируемые рядом нормативных документов, не предполагают платы за дополнительную реактивную энергию (РЭ) и реактивную мощность (РМ), потребляемую сверх экономических нормативных значений. Правовой основы для взаимодействия между гарантирующим поставщиком, сетевой организацией и потребителем в части оптимизации реактивной мощности к настоящему времени не имеется [1].

Ряд энергетических компаний провело мероприятия, направленные на оптимизацию потребления реактивной мощности в сетях потребителя [2, 3] с помощью инвентаризации средств учета реактивной мощности (энергии); расчетов предельных соотношений активной и реактивной мощности; включения в Договор на энергоснабжение «Специальных Договоров по компенсации реактивной мощности (энергии)»; разработки «Регламента порядка работ и взаимоотношений при учете и контроле потребляемой реактивной мощности (энергии) потребителей, присоединенных к электрическим сетям (ОАО «Белгородэнерго, Смоленскэнерго» и др.); разработки Дополнительного Соглашения к Договору компенсации реактивной мощности (энергии) (ОАО МРСК-Центр, Смоленскэнерго).

В ряде Договоров энергоснабжения бюджетного потребителя гарантирующие поставщики (далее ГП) устанавливают соотношения потребления активной и реактивной мощности, определенные Сетевыми организациями (далее СО). В свою очередь потребитель, в случае невыполнения условий СО, компенсирует затраты на дополнительные потери при передаче электроэнергии по сетям.

С другой стороны установка устройств компенсации реактивной мощности является инвестиционным проектом и требует определенных затрат и экономического обоснования как мероприятия по экономии энергоресурсов как самого предприятия так и сетевой компании. Единого механизма взаимодействия между потребителем, ГП и СО к настоящему времени никаким нормативным документов не регламентировано.

Предлагается определение экономического обоснования инвестиционной программы по внедрению средств компенсации реактивной мощности и определение срока окупаемости провести исходя из новых условий взаимоотношений между потребителем и поставщиком через тарификацию [4, 5]:

– тариф за потребление (генерацию) реактивной мощности (энергии), обусловленной отклонением фактического коэффициента реактивной мощности от нормативного;

- ценовая категория предприятия (ЦК) и уровень тарифного напряжения (УТН);
- критерий социально-экономической эффективности;
- приведенные (дисконтированные) затраты.

Экономическая эффективность в данном случае должна оцениваться по их влиянию на стоимость, поставляемой потребителем электрической энергии с одной стороны и стоимость потерь от передачи электроэнергии по сетям энергоснабжающей организации. Так как инвестиции на компенсацию реактивной мощности должны обеспечиваться за счет потребителя, то они должны оплачиваться через тариф на реактивную мощность (энергию). Совокупный эффект при этом определяется путем сопоставления затрат с эффектом, получаемым как потребителем, так и сетевой компанией. Обоснование инвестиций должно выполняться по критерию общественной (социально-экономической эффективности), отражающей интересы всех потребителей и сетевых компаний. Поэтому в качестве нормы дисконта можно использовать или социальную норму, которая централизованно устанавливается органами управления во взаимосвязи с социально-экономическим развитием России, или коммерческую, определяемую в зависимости от депозитных ставок банков, составляющей в данный момент 6–8 %.

В качестве тестируемой модели было исследовано предприятие, на котором:

- оплата электроэнергии производилась по третьей ЦК;
- УТН – 10 кВ;
- плата за потребление реактивной энергии сверх экономических значений была установлена в размере 10 % от тарифа на электроэнергию;
- среднемесячная оптовая цена мощности  $C_{\text{опт.м}} = 800$  руб./МВт в месяц без учета НДС;
- среднемесячная оптовая цена электроэнергии в часы максимальных нагрузок – 3 руб./кВт·ч;
- фактический среднемесячный коэффициент реактивной мощности в часы максимальных нагрузок был принят равным  $\text{tg}\varphi_{\text{ф}} = 1,08$ .

Экономическая эффективность предлагаемой модели при инвестициях в установку компенсации реактивной мощности типа АУКРМ Alprimatic-350 кВАр (автоматическая установка КРМ, Франция, Legrand) в размере 879 тыс. руб. составила 1012,12 тыс. руб. При устаревшей модели расчета (без учета тарификации) экономический эффект составил 92,26 тыс. руб., и потребителю невыгодно осуществлять данное мероприятие, что и происходит на предприятиях в настоящее время.

## Литература

1. Забелло Е.П., Евсеев А.Н. Учет уровня компенсации реактивной мощности при расчете оплаты технологического расхода (потерь) электрической энергии на ее передачу по электрическим сетям // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2005. № 3. С. 74–81.

2. Файн Б.И. Плата за мощность как механизм повышения ответственности потребителей при осуществлении технологического присоединения к электрическим сетям [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т. 9, № 6. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/48EVN617.pdf> (дата обращения: 18.02.2020).

3. Об утверждении Порядка оказания услуг по компенсации реактивной энергии (мощности) [Электронный ресурс]: решение РЭК – департамента цен и тарифов Краснодарского края от 23 июня 2005 г. № 49/2005-Э. URL: <https://rek.krasnodar.ru/prikazy/> (дата обращения: 18.02.2020).

4. Компенсация реактивной мощности [Электронный ресурс]. URL: <http://khomovelectro.ru/articles/> (дата обращения: 18.02.2020).

5. Галеева Р.У., Муравьев Г.Г. Дополнительный компонент ценообразования за потребление (генерацию) реактивной мощности (энергии) // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: сб. матер. XIV Всерос. откр. мол. науч.-практ. конф. Казань, 2019.

УДК 621.31

## АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕМ ПРИ СГЛАЖИВАНИИ ПИКОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Самойлов К.А.<sup>1</sup>, Орлов А.И.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ФГБОУ ВО «МарГУ», г. Йошкар-Ола

<sup>1</sup>fixator8814@gmail.com, <sup>2</sup>karlorlov@gmail.com,

Науч. рук. Волков С.В.

Рассматривается алгоритм управления накопителем, предназначенный для воздействия на профиль мощности конечного потребителя относительно питающей сети. Накопитель присоединяется посредством преобразователя к питающей электрической сети параллельно потребителю.

**Ключевые слова:** накопитель электроэнергии, алгоритм управления, пиковая нагрузка, ценозависимое потребление, управление спросом.

Стоимость единицы электроэнергии, запаасаемой накопителями различной физической природы, постоянно снижается и может приблизиться к \$ 100 за 1 кВт·ч к 2030 г. [1, 2]. В электроэнергетике накопители используются для целенаправленного воздействия на график электрических нагрузок источника или профиль мощности потребителя. Данному вопросу посвящено большое количество работ [3, 4]. В настоящей работе предлагается алгоритм управления накопителем, направленный на сглаживание пиков потребления электроэнергии конечного потребителя с целью снижения стоимости электроэнергии. Схема, показывающая положение накопителя относительно электрической сети и потребителя, показана на рис. 1. Накопитель электроэнергии НЭ присоединяется к электрической сети и энергопринимающим устройствам потребителя П через контроллер К. Накопитель энергии должен иметь возможность работы в режиме частых и кратковременных зарядов и разрядов.

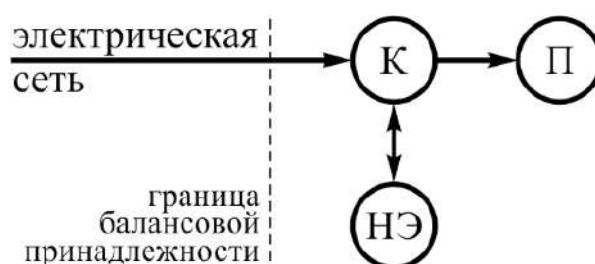


Рис. 1. Положение накопителя энергии и направление потока электроэнергии

Рассматриваемый алгоритм управления основан на сглаживании исходного профиля мощности и сравнении фактического профиля со сглаженным. В алгоритме управления предусмотрена нелинейная зависимость мощности, отдаваемой накопителем, от разности фактически потребляемой мощности и сглаженного значения, а также от доли энергии, запасенной в накопителе.

В работе оценивалась эффективность предложенного алгоритма управления на примере предприятия г. Йошкар-Олы. Профиль мощности данного предприятия (рис. 2) за август 2019 г. – кривая 1, сглаженное значение мощности показано – кривая 2. С целью сглаживания использовался фильтр Калмана. Оценка алгоритма выполнена с использованием метода компьютерного моделирования. Авторами разработана компьютерная программа, написанная на языке Python 2.7, предназначенная для моделирования работы накопителя на основе алгоритма, обработки данных и вывода информации.

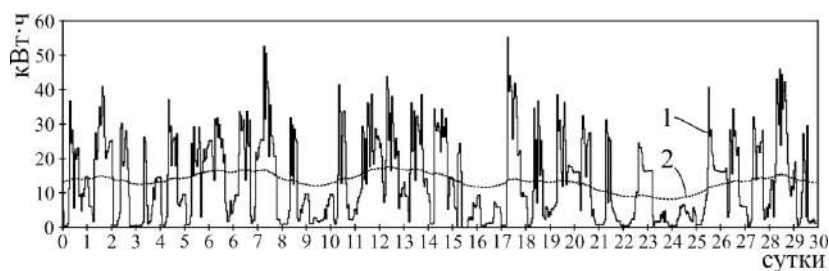


Рис. 2. Профиль мощности предприятия за август 2019 г

На рис. 3, *а* изображен фрагмент профиля мощности потребителя, на рис. 3, *б* – изменение уровня запасенной энергии накопителя за тот же период времени. Графики построены в предположении, что максимально запаасаемая энергия накопителя составляет 100 кВт·ч. На них наглядно показано, что в периоды, когда потребляемая мощность выше сглаженной, происходит разряд накопителя и выравнивание профиля мощности системы «потребитель – накопитель электроэнергии» относительно электрической сети.

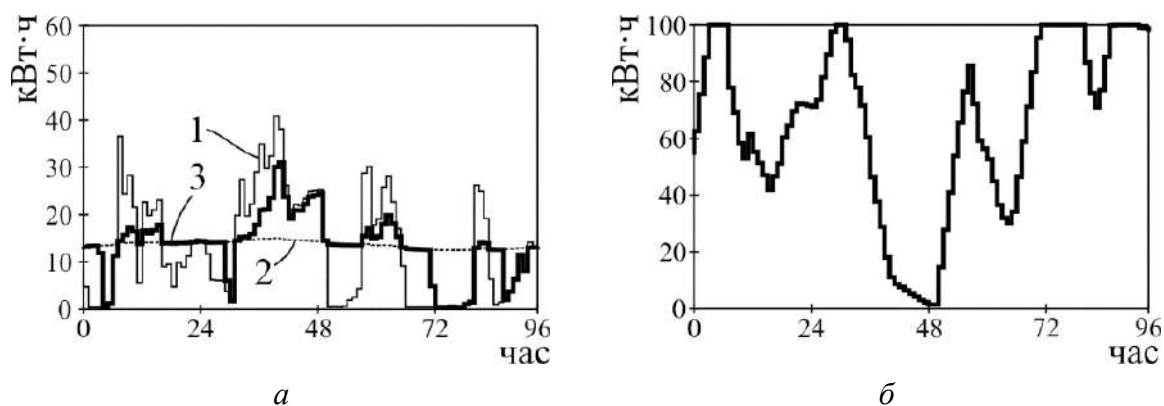


Рис. 3. Фрагмент профиля мощности с использованием алгоритма управления накопителем (*а*) и уровень запасенной энергии накопителя (*б*)

Разработанный алгоритм, ориентированный на снижение пиков потребления, может дать значительный эффект с накопителями относительно большой максимальной запаасаемой энергии. При оплате электроэнергии по 3-й или 4-й ценовым категориям применение накопителей будет окупаться в течение 4–5 лет.

### Литература

1. Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/9013/74739> (дата обращения: 18.12.2019).

2. Система государственного стимулирования хранения электроэнергии в России [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/9013> (дата обращения: 18.12.2019).

3. Дзюба А.П. Использование накопителей электроэнергии в качестве инструментов управления спросом на электропотребление [Электронный ресурс] // Вестник Марийского государственного университета. 2019. № 2 (18). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nakopiteley-elektroenergii-v-kachestve-instrumentov-upravleniya-sprosom-na-elektropotreblenie> (дата обращения: 18.12.2019).

4. Чернецкий А.М. Оценка экономической эффективности использования накопителей электроэнергии в энергосистеме [Электронный ресурс] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2013. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-ekonomicheskoy-effektivnosti-ispolzovaniya-nakopiteley-elektroenergii-v-energositeme> (дата обращения: 16.12.2019).

УДК 621-311

## **СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗМА ЦЕНОЗАВИСИМОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ В РОССИИ**

Фадеев П.С.<sup>1</sup>, Логачева А.Г.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>19fadeev\_p@mail.ru, <sup>2</sup>logacheva.ag@kgeu.ru

Электроэнергия – ключевой компонент в продукции, выпускаемой промышленными предприятиями, и товар, влияющий на уровень жизни населения. Наряду с необходимостью обеспечения надежной работы энергосистемы перед государством стоит задача повышения уровня общественного благосостояния. Механизм ценозависимого потребления позволяет одновременно решить эти две задачи. Представлена существующая структура, технические требования, социально-экономические прогнозы внедрения данного механизма для потребителей розничного рынка электроэнергии и мощности в России.

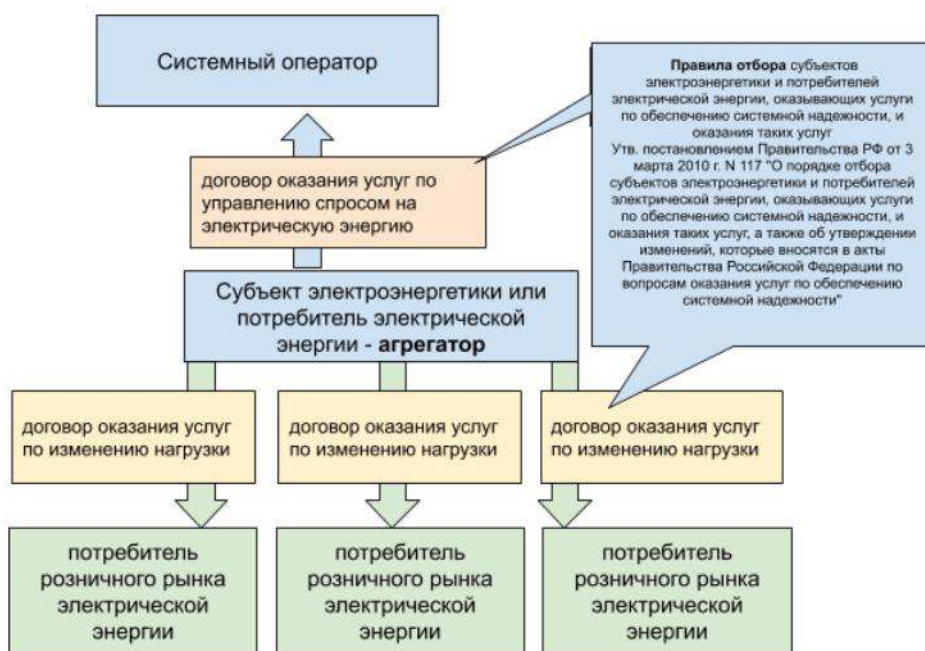
**Ключевые слова:** управление спросом, агрегатор, потребитель, прибор учета, ценозависимое потребление, электроэнергия.

Одной из особенностей рынка электроэнергии в России в отношении электроэнергии как товара является то, что потребление практически не зависит от цен на рынке [1]. Во-первых, низкая эластичность спроса обусловлена с отсутствием товаров-заменителей, так как в большинстве

случаев заменить электроэнергию на другие источники питания затруднительно или невозможно. Во-вторых, это связано с одновременностью процесса производства и потребления электроэнергии и существующей системой планирования загрузки электрических станций энергосистемы, а также техническим уровнем маневренности агрегатов. Способность потребителей влиять на стоимость электроэнергии появляется при создании условий, в которых планирование загрузки электростанций осуществляется с учетом влияния изменения уровня потребления на формирование равновесных цен на электроэнергию. И при значительном их влиянии на приращение цены может проводиться коррекция потребления в сторону уменьшения. Именно этот принцип лежит в основе механизма ценозависимого потребления, также известного в мировой практике как управление спросом (*Demand Response*). Механизм ценозависимого потребления позволяет уменьшить пиковую нагрузку в энергетической системе с одной стороны, а с другой – может являться инструментом повышения общественного благосостояния при обеспечении участия в нем все большего количества членов общества.

С 2017 г. механизм ценозависимого потребления позволял участие в регулировании нагрузки энергосистемы только крупных потребителей [2]. С 2019 г. мелких потребители тоже получили возможность участия в механизме через специальные структуры – агрегаторы распределенных энергетических ресурсов [3]. В общем случае в управлении спросом могут принимать участие различные виды оборудования коммерческих, промышленных, бытовых и сельскохозяйственных потребителей. Так как для потребителя, участвующего в управлении спросом, не должны возникать проблемы с производством товарной продукции, её качеством, количеством и т.п., ими применяются различные способы коррекции потребления от источников энергосистемы. Например, потребители, участвующие в управлении спросом, смещают свой график потребления на периоды более низких цен, останавливают или снижают интенсивность процесса производства, полностью или частично отключают системы освещения, кондиционирования и вентиляции. Кроме того, предприятия могут использовать собственные генерирующие мощности для питания нагрузки в пиковые часы. Для потребителей, участвующих в механизме ценозависимого потребления через агрегаторов, мощность собственных генерирующих установок ограничивается величиной 25 МВт. Другим способом коррекции потребления от источников энергосистемы выступают накопители энергии, которые также могут использоваться участниками программы управления спросом для питания собственной нагрузки.

Агрегаторы являются участниками оптового рынка электроэнергии. Они получают команду от системного оператора на изменение нагрузки группы потребителей, и продают способность регулировать нагрузку этих потребителей как товар или услугу на рынке системных услуг и на оптовом рынке. В качестве агрегаторов могут выступать поставщики электроэнергии или независимые компании. Агрегатор обязуется найти потребителей, готовых без существенного ущерба для своего технологического процесса менять потребление электроэнергии или же заменять источники питания, оценивает возможности потребителей осуществить разгрузку, согласовывает с потребителями порядок и продолжительность участия в программе управления спросом, снабжает потребителей необходимыми приборами, устройствами и средствами автоматизации. Схематично основы взаимодействия Системного оператора, агрегаторов и потребителей представлены на рисунке.



Механизм взаимодействия Системного оператора, агрегаторов и потребителей

Точки учета потребителя оборудуют специальными интервальными приборами учета, которые фиксируют количество потребленной электроэнергии с установленной дискретностью, в добавок к этому, они имеют возможность получать данные дистанционно. Технические требования к приборам учета прописаны в Правилах оптового рынка электрической энергии [4] и напрямую зависят от программ управления спросом, в которых принимает участие потребитель. Также требованиям,



утвержденным законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений и о техническом регулировании должны соответствовать схемы подключения, места установки и метрологические характеристики приборов. В качестве системы, организующей формирование, сбор и передачу информации об учете электроэнергии выступают сетевые компании.

Оценивая социально-экономические последствия широкомасштабного внедрения механизма управления спросом за рубежом, можно заявить, что большая часть потребителей оптового рынка электроэнергии получает выгоду за счет понижения стоимости электрической энергии в периоды разгрузки энергосистемы с помощью участников программы ценозависимого потребления. В будущем стоимость электроэнергии будет уменьшаться за счет снижения инвестиций в сетевые и генерирующие объекты. Эффект, достигаемый благодаря действию ценозависимого потребления, на рынке мощности в целом выражается в виде снижения совокупной стоимости мощности для генераторов, для сетевых компаний – уменьшение перегрузок в сетях.

## Литература

1. Мишура А.В. Оценка эластичности спроса на электроэнергию со стороны населения в России [Электронный ресурс] // Вестник НГУ. 2011. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-elasticnosti-sprosa-na-elektroenergiyu-so-storony-naseleniya-v-rossii> (дата обращения: 21.02.2020).
2. Технология ценозависимого потребления [Электронный ресурс] // Системный оператор Единой энергетической системы URL: <https://so-ups.ru/?id=dr> (дата обращения: 22.02.2020).
3. Концепция функционирования агрегаторов распределенных энергетических ресурсов в составе Единой энергетической системы России. Агрегаторы управления спросом на электроэнергию [Электронный ресурс]. URL: [http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/docs/dr\\_agregator\\_concept.pdf](http://so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/docs/dr_agregator_concept.pdf) (дата обращения: 22.02.2020).
4. Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам организации функционирования оптового рынка электрической энергии и мощности [Электронный ресурс]: постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 1172. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 22.02.2020).

## ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ВЫСОКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Хабибуллина В. Н.<sup>1</sup>, Денисова Н.В.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>venera-9797@mail.ru, <sup>2</sup>natali.denisova@bk.ru

Представлен тип светильников, отвечающий высоким требованиям по качественным характеристикам, и описаны их основные преимущества.

**Ключевые слова:** светодиодный светильник, промышленное освещение, энергоэффективность, безопасность, долговечность, пульсация, цветопередача.

Одной из наиболее затратных составляющих производства является электроэнергия. Именно по этой причине на государственном уровне утверждены правила и нормы использования экономичных осветительных установок [1]. При выборе светильников необходимо ориентироваться не только на их энергоэффективность, но и на удобство эксплуатации. Прежде всего, стоит помнить, что светильники для промышленных помещений должны иметь оптимальный световой поток, который позволит работникам без проблем выполнять свои обязанности, не подвергая опасности здоровье [2]. Исследования влияния качества питающего напряжения на лампы, показали, что наибольшее влияние на качественные характеристики осветительных приборов оказывают отклонения и колебания напряжения. При отклонении напряжения в пределах  $\pm 1\%$  от номинального значения, световой поток изменяется на  $\pm 3,5\%$ , а световая отдача на  $\pm 1,8\%$ . Тем самым, снижение освещенности рабочих мест в 1,5–2 раза приводит к уменьшению производительности труда на 1-2%. Помещения, в которых наблюдается повышенный риск травматизма, должны обеспечиваться особыми осветительными установками, которые указаны в санитарных нормах (СНиП 23-05-95 в редакции СП 52.13330.2011) [3]. Еще необходимо учитывать, что все элементы нужно время от времени заменять. Например, подвешенные к высокому потолку светильники должны иметь длительный срок службы, поскольку их замена требует высокие затраты времени и сил, а может даже использования техники. Безопасность приборов тоже важна для организации комфортного рабочего процесса. Все осветительные установки,

которые находятся в досягаемости человека, должны иметь поверхность, которая не нагревается, это поможет избежать возможных производственных травм персонала. Высокий уровень защиты также относится к требованиям. Самый простой светильник для производственного помещения должен иметь степень защиты IP54, то есть попадание внутрь небольшого количества пыли и направленных брызг никак не отразится на его работе.

Есть и другие факторы, которые не должны влиять на работу осветительного прибора: промышленная вибрация (её уровень может быть очень высоким, особенно в цехах с постоянно работающей аппаратурой) и механические воздействия [4, 5].

Наиболее выгодными, безопасными и долговечными считаются светодиодные светильники (LED). Диодные промышленные светильники имеют ряд неоспоримых и очень важных преимуществ:

- отклонение напряжения от номинального значения на  $\pm 15\%$  не оказывает влияния на величину освещенности у светодиодных светильников. Тем самым они имеют наименьший коэффициент пульсации, свет LED светильников не мерцает, что позволит работникам дольше не уставать. При мерцающем освещении внимание понемногу рассеивается, это может привести к производственным травмам и временному простоя производства. В лучшем случае значительно снизится темп работы, что неблагоприятно будет сказываться на производстве;

- достаточно долговечны. При постоянной эксплуатации в течение суток, они могут выдержать до 6 лет использования. Это существенно снижает частоту обслуживания и замены светильников;

- они потребляют минимум электрической энергии, это очень важно для предприятий, которые стремятся приблизить свой индекс энергоэффективности к идеальному значению. Расходы на электричество станут меньше, чем с любыми другими светильниками, а это означает, что часть прибыли можно будет потратить на другие усовершенствования;

- также к преимуществам относятся высокий показатель коэффициента цветопередачи, быстрое зажигание и хорошая цветопередача (более 85 Ra). Помимо вышперечисленного, такие светильники имеют еще один важный плюс – в составе светодиода нет стекла. Следовательно, светодиод является устойчивым к механическому воздействию и не перегревается. У хорошего светодиодного светильника прочный и надежный корпус, устойчивый к повреждениям и царапинам, герметично соединённый с плафоном.

На большинство современных светильников приходится устанавливать рассеиватель, который увеличивает расход светового потока, со временем рассеиватель пачкается и загрязняется, что приводит к ухудшению интенсивности свечения. Для светодиодных осветительных приборов установка рассеивателя не всегда требуется. В промышленных цехах это очень важно, так как в них обычно высокий уровень грязи в воздухе и светильник быстро пачкается.

Современные промышленные светодиодные светильники имеют направленный свет, благодаря этому они решают проблему «загрязнения освещения», если она вызвана неэффективной организацией осветительной сети. Еще важной положительной характеристикой LED светильников является их полноценная интеграция в интеллектуальных системах управления, которые позволяют достичь высокого уровня экономии электроэнергии.

Разнообразие вариантов для светодиодных светильников позволяет подобрать оптимальный размер, мощность и цвет свечения, а также выбрать правильный угол падения и рассеивания света.

Светодиодные светильники в полном объеме соответствуют всем перечисленным требованиям. Среди многообразия этих светильников можно найти все необходимое — светильники для освещения складских помещений, цехов, промышленных площадок и территорий завода. Универсальность таких светильников заключается в их использовании в любых условиях, что не только выгодно, но и безопасно.

## Литература

1. Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение – одна из важнейших проблем современной светотехники [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru/stat708.html> (дата обращения: 25.01.2020).
2. Осветительные установки промышленных предприятий: учебн. пособие / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. 206 с.
3. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. № 18-78. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 25.01.2020).
4. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г.М. Кноринга. Л.: Энергия, 1976. 448 с.
5. ГОСТ Р 54350-2011 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2011. 37 с.

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ, УДАЛЕННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ ПОДСТАНЦИИ**

Хуснетдинова Д.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dinara-khus@mail.ru

Науч. рук. Владимиров О.В.

Проведен анализ существующих устройств и способов контроля и диагностики технического состояния оборудования трансформаторной подстанции, удаленного контроля и управления элементами подстанции. Обладая информацией об истинном состоянии электрооборудования, имеется возможность прогнозирования заказа только необходимых запасных частей, исключая приобретение тех элементов и узлов, которые не будут востребованы

**Ключевые слова:** подстанция, техническое состояние, контроль, электротехническое оборудование

Основными задачами контроля технического состояния оборудования ПС являются обнаружение повреждений и дефектов, оценка функциональной исправности оборудования, определение возможности продления срока службы без проведения ремонта, определение объема ремонтных работ при его необходимости, оценка остаточного срока службы и рекомендации по продлению срока службы.

С целью снижения затрат на проведение оценки состояния трансформаторных подстанций и повышения надежности электроснабжения, созданы контрольно-измерительные приборы для мониторинга состояния оборудования подстанций. Для решения задач мониторинга и диагностики трансформаторных подстанций, необходима система, которая обладает способностью анализировать полученную информацию и выдавать рекомендации о состоянии [1].

Назначение системы удалённого мониторинга трансформаторной подстанции (ТП) – предоставлять в режиме реального времени значения параметров силовых трансформаторов, трансформаторов, рубильников и выключателей и при аварийных ситуациях оповещать диспетчера или рабочую бригаду о неисправности посредством сообщений.

Систему мониторинга можно представить в виде трёх уровней:

1. Датчики и другие контрольно-измерительные приборы;
2. Программируемые логические контроллеры (ПЛК);
3. Диспетчерский пункт, автоматизированное рабочее место, серверы.

Первый уровень такой системы называют также «полевым», так как оборудование, относящееся к этому уровню, находится непосредственно в месте сбора информации. Между первым и вторым уровнем можно выделить промежуточное звено, которое может быть, а может отсутствовать в системах мониторинга – это модуль ввода/вывода, обеспечивающий сбор сигналов от датчиков, измерителей и органов управления [2].

По результатам мониторинга оборудования определяются:

- фактическое техническое состояние объекта технического освидетельствования;
- степень соответствия технических параметров объекта технического освидетельствования требованиям документации организаций-изготовителей оборудования и (или) проектной документации;
- комплекс мер, необходимых для сохранения и поддержания работоспособного состояния объекта технического освидетельствования в границах продленного срока эксплуатации в соответствии с требованиями технической документации организаций-изготовителей и (или) проектной документации [3].

Был проведен анализ существующих устройств и способов контроля и диагностики технического состояния оборудования трансформаторной подстанции, удаленного контроля и управления элементами подстанции.

Проведенный анализ не выявил изобретений в области способов и устройств диагностирования и контроля измерительных трансформаторов тока и напряжения, высоковольтных разъединителей, способов и методов контроля токов утечки на подстанции, а самое главное способов и методов мониторинга технического состояния ТП на основе многофакторного анализа и корреляционных зависимостей, а соответственно современных и актуальных патентов в области систем мониторинга трансформаторных подстанций.

Наиболее значимые изобретения в ходе патентного анализ выявились изобретения, касающиеся способов и устройств технического контроля и диагностики силовых трансформаторов, высоковольтных выключателей и кабельных линий. Например, в патенте РФ № 2638129, описанным ООО «Диагностика-ЭнергоСервис», представлен способ диагностики силовых трансформаторов, на основе хроматографического

анализа с возможностью передачи и обработки данных хроматографии; в патенте РФ № 2327179, разработанным ЗАО «СибКОТЭС», представлена система диагностики масляного выключателя высокого напряжения.

При проведении патентных исследований было выявлено несколько патентов в области систем мониторинга трансформаторной подстанции. В патенте РФ № 168355, полученным А.Н. Беляевым и А.В. Валиковым, описывается полезная модель для организации непрерывного мониторинга режимов работы и состояния оборудования электрических подстанций, управления их основным и вспомогательным оборудованием, сбора и хранения данных с интеллектуальных устройств подстанции, учета электрической энергии и контроля параметров электрической энергии. В патенте РФ № 2014121514 предлагается способ работы автоматизированной системы мониторинга, защиты и управления оборудованием электрической подстанции, по которому используют датчики технических параметров оборудования электрической подстанции, используют устройства, управляющие оборудованием электрической подстанции, защиту подстанции осуществляют с помощью сервера релейной защиты и автоматики, имеющего в своем составе постоянную память, содержащую программу релейной защиты и автоматики.

В данных патентах системы мониторинга не дают общей картины технического состояния подстанции, а лишь определяют техническое состояние некоторых элементов, без использования каких-либо факторных систем оценки или установления взаимосвязей между элементами. Таким образом, разработка и совершенствование систем мониторинга технического состояния ТП, связанных с системой оценки технического состояния оборудования, с созданием общей системы анализа и обработки полученных диагностических данных, является актуальной задачей.

## Литература

1. Елтышев Д.К. Интеллектуальные модели комплексной оценки технического состояния высоковольтных выключателей // Информационно-управляющие системы. 2016. № 5. С. 45–54.

2. Жукова Т.В., Жукова М.Д. Проектирование системы удалённого мониторинга трансформаторно-распределительной подстанции. // Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема. 2018. № 4 (33). С. 63–68.

3. Об утверждении Правил проведения технического освидетельствования оборудования, зданий и сооружений объектов электроэнергетики [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 14 мая 2019 № 465. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 13.02.2020).

УДК 621.311

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ 35/6 КВ

Шайхуллин А.З.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

a6968271@gmail.com

Науч. рук. Низамиев М.Ф.

Предложена система мониторинга технического состояния оборудования подстанции 35/6 кВ. Рассмотрены практические методы, обеспечивающие эффективность предупреждения возникновения неисправности в контролируемой системе по текущим результатам контроля.

**Ключевые слов:** подстанция, техническая диагностика, мониторинг, прогнозирование.

Для эффективного обслуживания оборудования подстанции требуется наличие информационного обеспечения системы диагностик и контроля. В соответствии с ролью и значением обследуемого электрооборудования выбирается система диагностики с соответствующим функционалом. Таким образом, можно детализировать структурные принципы диагностики и, как следствие, состав её систем, что позволит перейти к обслуживанию оборудования подстанции по их техническому состоянию.

В настоящее время в России и за рубежом применяются значительное количество систем, автоматически исполняющих те или иные операции, по определению технического состояния оборудования систем электроснабжения [1, 2]. Вместе с тем необходимо совершенствование существующих и разработка новых технологий и практических методов, которые обеспечивали бы более эффективное техническое обслуживание и ремонт электрооборудования по техническому состоянию, что является актуальным направлением.



Предлагается, разработать систему мониторинга оборудования подстанции 35/6 кВ, которая включает в себя:

- датчики контроля состояния трансформатора, выключателя, ОПН, трансформатора тока и напряжения и разъединителя, работающих по связи RS-485;

- универсальный контроллер Wiren Board 6 отечественного производства для сбора информации с датчиков и передачи данных по GSM связи на верхний уровень;

- компьютер с разработанным программным обеспечением для обработки данных, определения и прогнозирования технического состояния оборудования подстанции.

Ключевым направлением улучшения качества методики определения состояния электрооборудования является разработка систем интеллектуальной обработки диагностической информации с применением оценочных систем, которые могут способствовать увеличению качества определения и прогнозирования запаса прочности и состояния исследуемого объекта. Выявление закономерностей изменения состояния оборудования могут помочь предвидеть изменения в контролируемой системе (рис. 1).

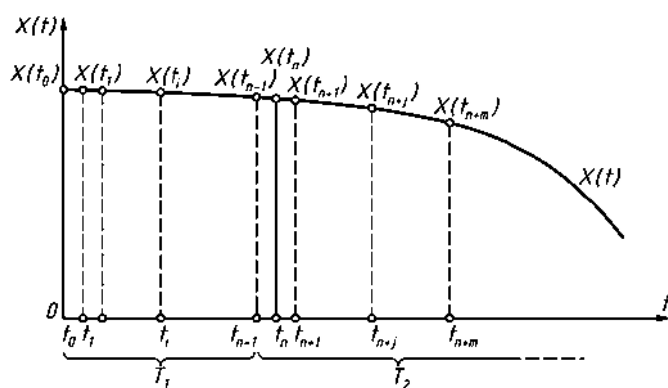


Рис. 1. Изменения контролируемого параметра со временем:  $t_n, t_{n-1}, \dots, t_0$  – момент времени в прошлом;  $t_{n+1}, t_{n+2}, \dots, t_{n+m}$  – момент времени в будущем;  $X(t)$  – контролируемый параметра;  $T_1, T_2$  – известная область

Рассматривая контролируемые параметры, характеризующие состояние системы как функции времени, можно, привлекая тот или иной математический аппарат, решить задачу прогнозирования изменения состояния системы.

Как отмечается в [2] при решении задачи прогнозирования состояния электрооборудования разумно использовать интерполяционный полином Лагранжа. При этом выражение полинома при решении поставленной задачи принимает довольно простой для вычислений вид:

$$F_{\pi}(t) = \frac{t - t_1}{t_0 - t_1} \cdot X_0(t) + \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \cdot X(t_1),$$

где  $X(t)$  – значения контролируемой функции;  $t_0, t, t_1$  – промежуточные значения аргумента.

Если в рассматриваемом оборудовании имеется дефект, то изменение соответствующей ему функции можно изобразить линией  $OH$ . Эти два рассмотренных случая являются допустимыми граничными изменениями контролируемых функций. Все остальные возможные на практике случаи находятся между ними, т. е. кривые изменения состояния оборудования лежат в зоне, ограниченной  $\angle OHP$  (рис. 2).

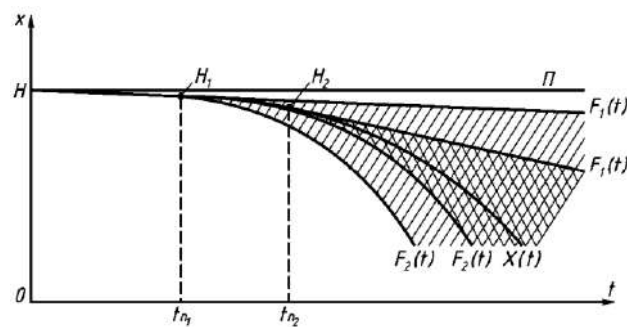


Рис. 2. Образование зоны прогнозирования:  $F_1(t)$  – полином первой степени;  $F_2(t)$  – полином второй степени

Таким образом, контролируемая функция изменения состояния составляющих элементов систем в большинстве случаев лежит между границами, которые выражаются полиномами  $F_1(t)$  и  $F_2(t)$ , т.е.  $F_1(t)$  и  $F_2(t)$  образуют зону прогнозирования, в которой находится контролируемая функция. При проведении диагностики всегда необходимо анализировать итоговые разности контролируемой функции, это способствует осознанию тенденции изменения контролируемой функции и соответствующим положением ее в зоне прогнозирования.

## Литература

1. Степанов В.М., Андреев К.А. Технические решения по диагностике силовых трансформаторов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. № 6. С. 74–81.
2. Васюченко П.В. Повышение надежности работы электрооборудования путем применения методов диагностики // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 5 (123). С. 27–34.

### Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

УДК 334.021

#### ФОРМИРОВАНИЕ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И ЕЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Абубакирова А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aelita.abubakirova@mail.ru

Науч. рук. Губаева О.Г.

Рассмотрена проблема безопасности эксплуатационного персонала при производстве работ под напряжением. Авторами работы сформирована схема замещения для расчета потенциала провода 0,4 кВ при падении на него провода ВЛ 10 кВ.

**Ключевые слова:** производство работ под напряжением, безопасность, низковольтная сеть, травматизм персонала.

Производство работ под напряжением (ПРН) является востребованной темой в энергетике. Проблема безопасности эксплуатационного персонала при ПРН по-прежнему остается актуальной, учитывая цену вопроса, и будет предметом особого внимания и впредь, как для разработчиков нормативно-правовых документов этой сферы и производителей средств защиты и оснастки, так и персонала энергетических организаций [1–4].

В данной работе были проведены математические расчеты установившегося режима для низковольтной сети при гальванической связи сети 10 кВ и 0,4 кВ, а также проведены полевые экспериментальные измерения параметров переходных процессов для различной топологии действующей сети 10 кВ.

В ходе работы была рассмотрена схема замещения, иллюстрирующая падение провода 10 кВ на 0,4 кВ (см. рисунок). При расчетах принимались следующие характеристики и параметры: нулевой провод марки А – 35, длина данного провода составляла 0,4 км, площадь сечения провода – 35 мм<sup>2</sup>; погонные параметры:  $r_0$  – 0,85 Ом/км,  $x_0$  – 0,4 Ом/км;  $r_H$  – 0,34 Ом,  $x_H$  – 0,16 Ом; сопротивление заземления сети 0,4 кВ,

$R_3 - 4$  Ом. Данные сети 10 кВ: марка тр-р № 2: ТМН-2500/110/10 кВ,  $S_{\text{НОМ}} - 2,5$  МВА,  $U_{\text{ВН}} - 110$  КВ,  $U_{\text{НН}} - 11$  кВ,  $U_{\text{К}\%} - 9,5$  %,  $\Delta P_{\text{К}} = 20,1$  кВт. Следует отметить, что нейтраль сети была изолирована.

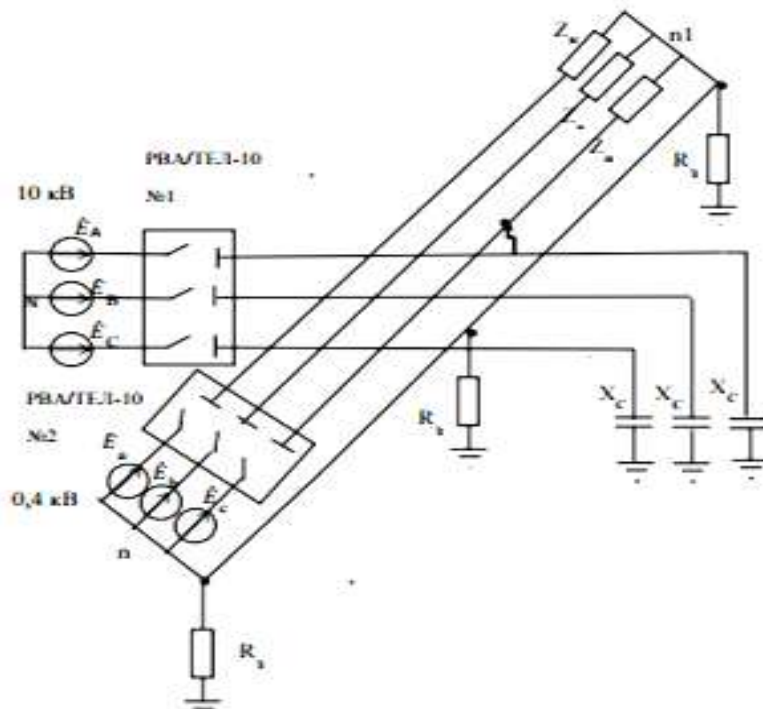


Схема замещения, иллюстрирующая падение провода 10 кВ на 0,4 кВ

Рассмотрено формирование схемы замещения и ее параметров Эдля расчета потенциала на проводе 0,4 кВ при падении провода ВЛ 10 кВ фидера № 4 ПС 110/10 кВ «Муслюмкино» на фазу ВЛ 0,4 кВ Л 1 КТП-730298, так и тока замыкания на землю.

По результатам проведенных расчетов и экспериментальных измерений можно отметить, что при падении провода ВЛ 10 кВ на провод ВЛ 0,4 кВ перенапряжений в сети 0,4 кВ не превышают  $1,12 U_{\text{НОМ}}$  и равны 233,4 В. При этом результат измерения потенциалов показал, 239 В Эпри падении провода ВЛ 10 кВ на провод ВЛ 0,4 кВ, что подтверждает безопасность производства работ под напряжением.

Проведенный расчет перехода напряжения ВН в трансформаторе Эна сторону НН показал увеличение потенциала поврежденного провода до кратности:  $1,3U_{\text{НОМ}} = 285$  В. В неповрежденных фазах напряжения остаются в пределах номинального значения.

При наличии ДГР на секции шин 10 кВ ПС 110/10 «Муслюмкино» расчеты показали, что напряжение прикосновения для поврежденной фазы снизились на 12 % от номинального напряжения и равны 193,6 В.

Исходя из проведённых расчётов и эксперимента, можно сделать выводы: токи в сети 0,4 кВ имеют небольшие значения; ток замыкания на землю в сети 10 кВ не превышает 4 А, согласно ПУЭ не подлежит компенсации; напряжение прикосновения на ВЛ 0,4 кВ не представляют опасности для ремонтного персонала.

### Литература

1. Кучеренко В., Сазонов В., Багаев Д. Дугогасящие реакторы в сетях 6–35 кВ. Опыт эксплуатации // Новости электротехники. 2007. № 3 (45). С. 67.
2. Губаева О.Г., Зацаринная Ю.Н., Губаев Д.Ф. Анализ опыта эксплуатации кабельных сетей напряжением 6-35 кВ с целью повышения эффективности работы объектов электрической сети // Труды Академ-энерго. 2018. № 2. С. 91–97.
3. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. 152 с.
4. Резистивное заземление нейтрали в сетях 6-35 кВ с СПЭ-кабелями. Подходы к выбору резисторов и принципам построения защиты от ОЗЗ / А. Ширковец [и др.] // Новости электротехники. 2008. № 2 (50). С. 121.

УДК 621.311.243: 004.31

## РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ДВУХОСЕВОГО ОРИЕНТИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Аль Гбури Заидун Халаф Махмуд  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
zaydoon\_engineer@yahoo.com  
Науч. рук. Уланов В.А.

Разработана микропроцессорная система двухосевого ориентирования панелей солнечной электростанции, работающей на базе микроконтроллера Arduino Uno без использования фотодатчиков. Работа механизмов ориентирования солнечных панелей происходит в соответствии с созданной программой, которая позволяет вычислить точное положение Солнца в каждый момент реального времени. Данный способ ориентирования панелей дает возможность установить панели солнечной электростанции в оптимальное для данного момента времени положение даже в пасмурную погоду.

**Ключевые слова:** солнечная электростанция, солнечная панель, Arduino Uno, часы реального времени (RTC).

Известно, что КПД солнечной электростанции существенно повышается в случае, когда панели станции в каждый момент времени оказываются в оптимальном положении относительно Солнца [1, 2]. Определить оптимальное направление нормали к поверхностям солнечных панелей возможно как с использованием специальных фотодатчиков, так и на основе заранее заготовленного массива данных, загруженных в память микропроцессорной системы, управляющей положением панелей. Во втором случае загруженный массив данных должен содержать подробную информацию о координатах Солнца для каждого момента времени годового цикла. Опираясь на эту информацию, микропроцессорная система воздействует на механизмы ориентирования солнечных панелей таким образом, что их активная поверхность в каждый момент времени оказывается перпендикулярной направлению на Солнце.

При ориентировании солнечных панелей необходимы три координаты [3, 4], определяющие положение Солнца относительно данной точки на поверхности Земли. За относительно малый промежуток времени (исчисляемый несколькими сутками) расстояние от Солнца до Земли можно считать постоянным. В таком случае в течение суток будут меняться две угловые координаты: угол  $\alpha$  между плоскостью горизонта и направлением падающего солнечного луча и угол  $\psi$  (азимут), измеренный по часовой стрелке в горизонтальной плоскости от оси выбранной системы координат, направленной на север, до проекции луча Солнца, падающего на поверхность солнечной панели. Но с учетом того, что в течение года расстояние от Земли до Солнца меняется существенным образом, приходится учитывать две дополнительные угловые величины – склонение  $\delta$  и часовой угол  $\omega$ . В любой данный день года,  $n$ , склонение и часовой угол могут быть найдены из следующих равенств:

$$\delta = 23,45^\circ \sin \left[ \frac{360}{365} (284 + n) \right]; \quad (1)$$

$$\omega = \frac{12 - T}{24} \cdot 360^\circ = (12 - T) \cdot 15^\circ, \quad (2)$$

где  $T$  – время суток в данной местности (относительно солнечной полуночи) по 24-часовой шкале. Еще одна угловая величина, которая используется в данной работе при определении координат Солнца – это широта точки расположения солнечной электростанции на поверхности Земли,  $\varphi$ . Если известны величины  $\delta$ ,  $\varphi$  и  $\omega$ , то положение Солнца в значениях углов  $\alpha$  и  $\psi$  в данном месте, в данный день и в данное время можно определить из равенств:

$$\alpha = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega); \quad (3)$$

$$\psi = 180^\circ + \arcsin\left(-\frac{\sin \omega \cdot \cos \delta}{\cos \alpha}\right). \quad (4)$$

Таким образом, рассмотренные уравнения солнечной карты используются для определения видимого положения Солнца в любой конкретный момент времени. Азимут и высота, являющиеся, соответственно, вертикальными и горизонтальными углами, дают необходимую информацию о положении Солнца. Значения этих углов для данного места, данного дня и данного времени суток вычисляются помощью уравнений, заложенных в программу микроконтроллера Arduino.

Сигналы, генерируемые программой микроконтроллера Arduino, активируют двигатели механизма ориентирования солнечного модуля. Один из двигателей вращает солнечный модуль так, чтобы изменить угол высоты, в то время как другой двигатель вращает солнечный модуль, меняя угол азимута (отсчитываемого от направления на север). Комбинированное движение двигателей приводит плоскость солнечных панелей солнечного модуля в оптимальное положение, соответствующее максимальному значению мощности солнечной радиации, падающей на поверхность каждой солнечной панели.

Общий процесс ориентирования солнечных панелей разбит на несколько этапов. Сначала программа Arduino инициализирует подпрограмму, считывающую данные о конкретном дне и о времени суток с часов реального времени (модуль RTC). Далее на основе данных, считанных из модуля RTC, вычисляются высота и азимут Солнца. После это электронные блоки системы формируют управляющие сигналы для двигателей привода платформы солнечного модуля.

### **Заключение**

Основным результатом данной работы является разработка эффективного алгоритма управления двигателями механизма ориентирования солнечного модуля фотоэлектрических панелей солнечной электростанции, обеспечивающего наиболее высокое значение КПД, возможное при данных внешних условиях. Последнее оказывается возможным благодаря тому, что разработанная система полностью независима от погодных условий и особенностей места расположения солнечной электростанции.

## Литература

1. Stefan K., Rolf H. Actual optical and thermal performance of PV modules // Solar Energy Materials and Solar Cells. 1996. Vol. 41-42. Pp. 557–574.
2. Beatty J.K., Petersen C.C., Chaikin A. The new solar system. Cambridge: Sky Publishing Corp. and Cambridge University Press, 1990. 356 p.
3. Wie B. Solar sail attitude control and dynamics // Journal of Guidance, Control and Dynamics. 2004. Vol. 27, No 4. Pp. 526–535.
4. Azimuth angle details available [Electronic resource]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Azimuth> (date of the application: 10.01.2020).

УДК 53.07

### УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ РАССЕЯНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФОТОНИКИ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Асанова Д.Г.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

dinana\_95@mail.ru

Науч. рук. Борисов А.Н.

Развитие квантовой электроники ставит задачи создания оптически прочных лазерных элементов, имеющих минимальные потери излучения на рассеяние и поглощение. Особенно остро эта проблема стоит при разработке прецизионных приборов.

**Ключевые слова:** коэффициент рассеяния, фотоника, квантовая электроника, шероховатость.

Рассеяние на оптических поверхностях прецизионных приборов играет важную роль при выполнении особо точных измерений. Реальные границы подложек и отдельных слоев имеют неровную поверхность (даже сколы кристаллов оказываются близкими к идеальной плоскости только на небольших участках). Поэтому шероховатость поверхности оптической детали может привести к возникновению дифракционных эффектов и к появлению рассеяния излучения при углах, отличных от зеркального, т.е. – к дополнительным потерям. Известно, что рассеяние представляет собой статистическое нарушение соотношения фаз световой волны до и после взаимодействия с каким-либо объектом [1].



Измерения рассеяния позволяют, хотя и косвенно, оценить степень очистки поверхности, что использовано в данной работе при оценке качества очистки поверхности. При контроле качества очистки поверхности перед нанесением интерференционного покрытия, кроме измерений рассеяния, необходимо использовать эллипсометрические измерения, что позволяет проводить окончательный отбор подложек перед нанесением прецизионных покрытий. При эллипсометрических измерениях влияние рассеяния на поверхности проявляется в виде неполного гашения светового сигнала, (т. е. минимум не достигает нуля), как это должно быть для идеальной поверхности. Это позволяет косвенно оценивать величину рассеяния в направлении зеркального отражения, что не всегда возможно при измерении интегрального рассеяния стандартными методами. Именно применение комплексного подхода к оценке поверхности позволяет подробно описать полученную поверхность подложки.

Качество полировки рабочих поверхностей подложки должно быть таково, чтобы не приводить к флуктуациям толщин слоев, т. е. шероховатость не должна приводить к каким-либо искажениям требуемых оптических свойств оптической детали. Величина шероховатости поверхности может быть достаточно полно описана величиной среднегеометрического отклонения поверхности в рассматриваемой точке от плоскости. Для полированных поверхностей эту величину можно определить измерением светорассеяния с применением лазерных методов измерений. При этом принимается, что влиянием деформированного слоя можно пренебречь, так как рассеяние в нем по теоретическим оценкам мало по сравнению с рассеянием на шероховатой поверхности. Проведенные сравнительные исследования показали, что для измерения рассеяния удобнее использовать интегрирующую сферу. При использовании интегрирующей сферы, наиболее просто выполнить оценку индикатрисы рассеяния в малоугловой области, что позволяет оценивать и длину корреляции на поверхности. При проведении измерений рассеяния поверхностей, покрытых слоем алюминия, невозможно сделать заключения о шероховатости поверхности подложки. Нанесение дополнительных слоев меняет статистические свойства поверхности и подобные заключения несправедливы. Поэтому, для измерения параметров подложек и оптических элементов с покрытиями создан многофункциональный стенд, позволяющий измерять коэффициент рассеяния, пропускания и отражения оптических элементов, как при нормальном, так и при наклонном падении излучения на поверхность детали.

В данной работе предлагается установка для измерения рассеяния, представленная на рис. 1.

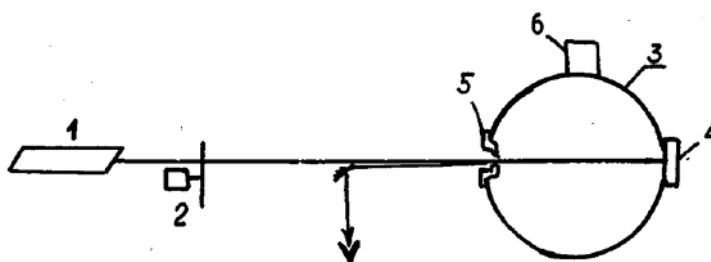


Рис. 1. Оптическая схема установки для измерения коэффициента рассеяния при нормальном падении излучения

В качестве источника излучения использован гелий-неоновый лазер 1 непрерывного действия типа ЛГ-79, работающий на длине волны 0,63 мкм. Для модуляции сигнала с частотой 400 Гц использован механический модулятор 2. В качестве приемного устройства применен фотометрический шар (сфера) 3 с диафрагмой 5, фотоприемной головкой 6. Внутренняя поверхность шара покрыта светорассеивающей эмалью марки АК-512 ТУ-10-967-77. Измеряемый образец устанавливается вплотную к задней, по ходу луча, стенке шара. Принцип измерения заключается в том, что зеркальная составляющая отраженного зеркалом 4 светового потока выводится через входное окно, а диффузная составляющая после многократных отражений внутри сферы попадает на фотодетектор 6, что позволяет оценить величину рассеянного излучения. Далее выполняется обычный расчет оценки малоугловой части индикатрисы рассеяния методом регрессии.

Для более точной оценки рассеяния излучения на зеркале необходимо использовать дополнительные измерения рассеяния излучения, полученного на подложке под углом падения, отличным от нормального, что позволяет выполнить оценку рассеяния «назад». В случае, когда величина деформированного слоя невелика, рассеяние «назад» много меньше рассеяния «вперед».

На рис. 2 изображено: 1 – интегрирующая сфера; 3 – измеряемый образец; 4, 5 – переменные диафрагмы для оценки индикатрисы рассеяния вперед и назад. Если деформированный слой оказывает существенное значение (на поверхности остается много крупных дефектов), то величина рассеяния «назад» окажется значительной. Это может служить дополнительным параметром при оценке качества полировки поверхности подложки.

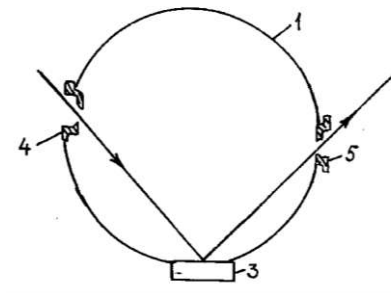


Рис. 2. Интегрирующая сфера для измерения коэффициента рассеяния под рабочим углом падения излучения

## Литература

1. Топорец А.С. Отражение света шероховатой поверхностью // ОМП. 1979. № 1. С. 34–46.
2. Борисов А.Н. Зеркала с малыми потерями и управляемой фазовой анизотропией: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 1995.

УДК 628.931

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Баширов А.А.<sup>1</sup>, Казмирук Л.О.<sup>2</sup>, Емельянов А.А.<sup>3</sup>, Чунарева А.С.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>Bu-bu-bu-bu@mail.ru, <sup>2</sup>lev.kazmiruki@mail.ru, <sup>3</sup>arhuntem@inbox.ru,

<sup>4</sup>alexandra.tchunariova@yandex.ru

Науч. рук. Сандаков В.Д.

Рассматривается влияние искусственного и естественного освещения на организм человека, а также перспективы применения биодинамического освещения помещений для повышения работоспособности и комфорта людей.

**Ключевые слова:** освещение, светодиод, циркадный ритм, физиология, регулирование, автоматизация

Люди в современном мире проводят огромное количество времени внутри помещений, что приводит к тому, что мы испытывает негативное влияние искусственного освещения в вечернее время, недостаток естественного света в течение дня. Разграничение между днем и ночью, существовавшее большую часть истории человека, сегодня исчезает.

В ночное время современный человек получает все больше света, а днем наоборот, страдает из-за его недостатка. Все это негативно влияет на физиологию, эмоциональное состояние, что способствует повышению стресса.

Естественный биологический ритм день-ночь помогает людям хорошо спать и расслабляться в темное время суток, а днем способствует бодрствованию и высокой работоспособности. Наше тело, в процессе эволюции, развило биоритм, связанный со сменой уровня освещенности – это называется циркадным ритмом.

Большую часть дня человек проводит внутри зданий под искусственным освещением, он лишен возможности восприятия изменений естественного света. Для решения этой проблемы было создано биодинамическое освещение. Это позволило улучшить самочувствие человека и повысить его работоспособность [1].

Биодинамическое освещение поддерживает циркадный ритм человека и сохраняет естественные показатели выработки мелатонина. Система освещения регулирует теплые и холодные спектры света в течение суток, копируя изменения цветовой температуры естественного света без нежелательного инфракрасного или ультрафиолетового излучения [2].

Кроме настройки цветовой температуры, необходимо регулировать спектр излучения, который тоже влияет на циркадный ритм человека, особенно синяя составляющая, которая подавляет продуцирование мелатонина. На его выработку влияет и освещенность. На рисунке показано, как зависит подавление мелатонина от освещенности при использовании различных источников света. Черной линией показан отклик на синий монохроматический свет, красной и синей – влияние стандартных источников белого света: CIE A (2800 К) и CIE D65 (6500 К).

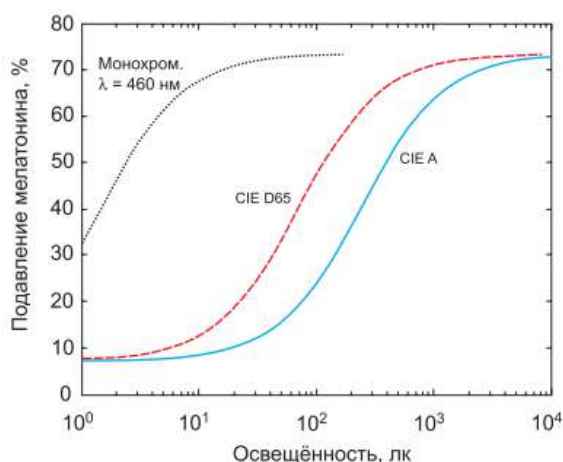


График зависимости подавления мелатонина в зависимости от освещенности

Правильное освещение намного важнее необходимости экономии электроэнергии. Введение биодинамического освещения намного увеличивает визуальный комфорт человека, способствует улучшению здоровья и повышению производительности.

После введения биодинамического освещения, встаёт задача о его автоматизации для удобства человека. В качестве решения можно, помимо автоматического изменения цвета светильника в течение дня, создать возможность индивидуальной регулировки других параметров в любой момент. Это позволит добиться комфорта в зависимости от различных условий помещений и биологических особенностей конкретного человека в любой момент времени [3, 4].

### Литература

1. Кайочен К., Фрейбюрге М. Влияние светодиодов, имитирующих дневной свет, на визуальный комфорт, бодрствование и сон // Современная светотехника. 2019. № 3. С. 20–29.

2. Хоймер П. Здоровый свет: светодиодное освещение для сферы здравоохранения и ухода // Современная светотехника. 2019. № 5. С. 32–36.

3. Варфоломеев Л.П. Энергоэффективное электрическое освещение. М.: МЭИ, 2013. 288 с.

4. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2006. 962 с.

УДК 621.3

## УМЕНЬШЕНИЕ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОЙ КРИВОЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Валеяхметов Р.Ф.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. Наумов А.А.

В связи с увеличением нелинейных нагрузок в электрических сетях гармонический состав питающих напряжений ухудшается. При использовании на предприятиях электрической энергии ненадлежащего качества могут наблюдаться сбои и неправильная работа ряда электрических аппаратов. Были проведены исследования характеристик питающих напряжений на предприятии ООО «УМС Рус», проведен анализ причин искажений кривых токов и напряжений, разработаны мероприятия по улучшению качества электрической энергии за счет использования адаптивных режекторных фильтров.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, гармоники, фильтры

За последние годы возросла электрическая нагрузка жилых и административных зданий. По данным Федеральной службы государственной статистики, потребление электроэнергии непромышленными потребителями и населением с 2005 по 2012 гг. увеличилось на 19,8 % и в 2012 г. составило 24,9 % от всей потребляемой электроэнергии в стране [1]. С ростом нагрузки изменился и ее характер. Возросло количество таких электроприемников, как компьютеры, телевизоры, стиральные машины, микроволновые печи и другие. С внедрением программ энергосбережения все активнее обычные лампы накаливания заменяются на энергосберегающими, и широко применяется частотно регулируемый электропривод.

Большинство таких электроприемников является причиной искажения синусоидальности кривой напряжения. Несмотря на относительно небольшую мощность каждого отдельного электроприемника, их массовое применение приводит к существенному искажению синусоидальности в электрических сетях напряжением 380/220 В [1].

Существует несколько способов снижения несинусоидальности напряжения. Их можно разделить на три группы [2]:

а) схемные решения: выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин, рассредоточение нагрузок по различным узлам СЭС с подключением параллельно им электродвигателей;

б) использование фильтровых устройств, включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров;

в) применение специального оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник.

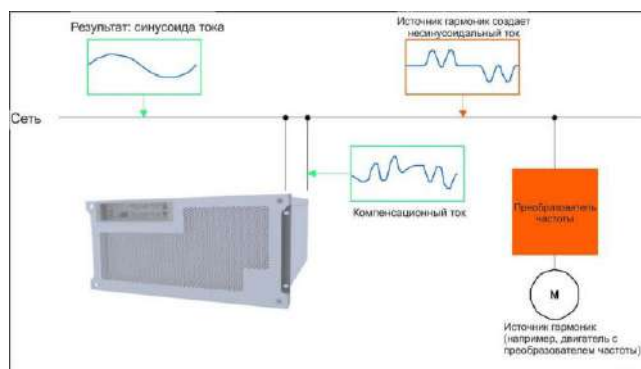
Несинусоидальность напряжения создает условия для возникновения дополнительного риска отказа оборудования и роста электротехнического и технологического ущерба, прежде всего для потребителей электрической энергии, которые будут только возрастать, если не применять специальных мероприятий по ограничению помех. В первую очередь это относится к устройствам на базе микроэлектроники и микропроцессорной техники в распределительной сети 380/220 В, которые одновременно являются и источниками помех, и электроприемниками, чувствительными к этим помехам [2].

Одной из главных целей деятельности электроэнергетической отрасли является обеспечение качества электрической энергии, отпускаемой потребителям. На практике, процент нарушений нормативных требований к качеству электроэнергии очень велик.

В качестве примера рассмотрим результаты исследований причин переключений в сети 0,4 кВ системы электроснабжения предприятия ООО "УМС Рус". От трехфазных фидеров разных секций шин 0,4кВ через шкаф АВР осуществляется энергообеспечение устройств сигнализации и блокировки. Для реле контроля напряжения установлены пороговые значения

напряжения срабатывания, отличные от номинальных. Однако реле неоднократно срабатывало при номинальном значении напряжения на секциях шин (380 В). Связано это с тем, что на данном предприятии активно используется аппарат ручной дуговой сварки ПТК RILON MMA 315 G. Данный аппарат имеет нелинейную ВАХ и искажает синусоидальную кривую напряжения в сети, что в свою очередь оказывает влияние на устройство сигнализации. Данная проблема очень часто приводит к ложным срабатываниям систем безопасности на предприятии.

Для решения данной проблемы рассмотрен вариант применения устройства компании SALICRU, активный фильтр гармонических составляющих тока серии HC (см. рисунок).



Принцип активного фильтра

Фильтр эффективно компенсирует коэффициент мощности для индуктивных нагрузок и служит также виртуальным сопротивлением для предотвращения возможного резонанса гармоник [3]. Таким образом, активный фильтр гармоник значительно снижает гармонические искажения кривой напряжения, а также нагрев трансформаторов и кабелей [4]. Принцип работы сходен с генератором тока, активный фильтр измеряет гармоники. Активный фильтр гармоник производства SALICRU серии HC компенсирует гармонические токи по трем фазам, диапазон тока компенсации 25...200А

Характеристики качества работы активного фильтра HC[2]:

- измерение гармоник сети и генерирование гармоник противофазных им;
- полная компенсация до 51 гармоники включительно;
- время срабатывания менее 40 мс;
- панель управления с ЖК графическим дисплеем
- модуль преобразователя с силовыми транзисторами IGBT и ШИМ технология;
- компенсирование индуктивного коэффициента мощности;
- коэффициент затухания гармоник более 10;

- ток компенсации до 200 А на фазу и 600 А в нейтрали;
- переходный процесс менее 1 мс;
- плавный пуск в течение 10 с;
- неограниченное количество подключенных параллельно фильтров;
- автоматическое ограничение тока компенсации;
- удобный выбор параметров;
- уменьшенные потери на нагрев.

## Литература

1. Шведов, Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети: учебное пособие. М.: МЭИ, 2012. 268 с.
2. Школа для электрика [Электронный ресурс]. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/page/20/> (дата обращения: 20.02.2020).
3. Активные фильтры гармоник [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ukkz.com/ru/catalog/aktivnye-filtry-garmonik.html> (дата обращения: 20.02.2020).
4. НС активный фильтр гармоник [Электронный ресурс]. URL: <http://www.3ymf.ru/electro/salicru/nsfilters/> (дата обращения: 12.02.2020).

УДК 628.9:33.8.4

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БРЕНДА РЯДА ФИРМ НА ОСНОВЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ**

Васина А.Ю.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vasinaanzhelinansk@gmail.com

Науч. рук. Тукшаитов Р.Х.

При выборе осветительных приборов необходимо руководствоваться технико-экономическим коэффициентом, чтобы найти оптимальный вариант среди предлагаемого ассортимента. По результатам наших предыдущих исследований, качество осветительных приборов (ОП) не может в большой степени характеризоваться отдельным значением светового потока, мощности и цены. Для повышения достоверности оценки бренда фирм необходимо пользоваться интегральным



коэффициентом. На основе каталогов 7 ведущих фирм-производителей светодиодных светильников проведена предварительная оценка качества осветительных приборов по технико-экономическому показателю. Обоснована целесообразность его широкого применения.

**Ключевые слова:** коэффициент, технико-экономическая эффективность, удельная цена, предварительная оценка качества.

Поскольку световой поток в немалой степени зависит от мощности, то целесообразно пользоваться более информативным показателем-светоотдачей ( $\eta$ ). Он представляет собой отношение светового потока к мощности. К наиболее энергоэффективным можно отнести светильники, светоотдача которых находится в пределах от 120 до 160 лм/Вт [1].

Другим важным показателем для потребителя является цена. Чтобы правильно отдать предпочтение при выборе светильника, необходимо знать отношение цены ОП к величине его светового потока (руб./лм), так как при одинаковой стоимости ОП обеспечивают разные световые потоки. Этот экономический показатель позволяет наглядно оценивать величину переплаты. Вместе с тем, его значение недостаточно, поэтому был предложен следующий интегральный показатель, именуемый коэффициентом технико-экономической эффективности ( $K_{ТЭЭ}$ ) [2–6].

Коэффициент технико-экономической эффективности представляет отношение показателя светоотдачи ( $\eta$ ) к удельной цене единицы светового потока ( $\gamma$  руб./лм). Он вычисляется по следующей формуле:  $K_{ТЭЭ} = \eta / \gamma$ .

На основании каталогов 7 ведущих фирм-производителей были определены значения светового потока, мощности и цены, позволившие вычислить значения  $K_{ТЭЭ}$  для разных фирм.

Результаты вычисления данного коэффициента и удельной цены светового потока представлены соответственно в табл. 1 и 2.

Как следует из табл. 1, наибольшим значением  $K_{ТЭЭ}$ , как уличных, так и промышленных, обладают светильники фирмы СВЕТОТРОНИКА и ГЕЛИОМАСТЕР. Кроме того, данные фирмы имеют самые низкие значения показателя удельной цены (табл. 2).

У фирмы ВАРТОН коэффициент вариации имеет самые большие значения среднего квадратического отклонения  $K_{ТЭЭ}$  и удельной цены. Кроме того, удельная цена и  $K_{ТЭЭ}$  фирмы имеют большое несоответствие: у промышленных светильников  $K_{ТЭЭ}$  на 35 % меньше, а цена на 29 % выше по сравнению с уличными. Аналогичная ситуация у фирмы НИТЕОС: по сравнению с уличными,  $K_{ТЭЭ}$  промышленных светильников на 38 % меньше, а цена на 41 % выше. Значения  $K_{ТЭЭ}$  уличных и промышленных светильников фирмы КОМЛЕД практически одинаковы.

Таблица 1

**Значения коэффициента технико-экономического показателя  
светильников ряда фирм**

Фирма	Уличные, $K_{ТЭЭ}/\sigma/\sigma\%$	Промышленные, $K_{ТЭЭ}/\sigma/\sigma\%$	Уличные > < промышл. на, %
Светотроника	254/20/8	229/55/24	-10
Гелиомастер	231/58/25	215/60/28	-7
Промлед	184/43/23	193/40/21	+5
Вартон	176/125/71	115/56/49	-35
Комлед	174/44/25	173/32/19	+1
Нитеос	129/21/16	80/16/20	-38
Ледэфект	104/32/31	124/29/23	+13

Таблица 2

**Значения удельной цены светового потока светильников**

Фирма	Уличные, $\gamma_{руб./лм}/\sigma/\sigma\%$	Промышленные, $\gamma_{руб./лм}/\sigma/\sigma\%$	Цена промышл. > < уличных на, %
Светотроника	0,58/0,06/10	0,63/0,17/21	+8
Гелиомастер	0,69/0,23/33	0,73/0,22/30	+5
Промлед	0,75/0,14/19	0,69/0,13/19	-8
Комлед	0,76/0,19/25	0,72/0,15/21	-5
Нитеос	1,0/0,17/ 17	1,7/0,31/18	+41
Вартон	1,08/0,61/56	1,5/1,14/75	+29
Ледэфект	1,49/0,53/36	1,2/0,27/23	-20

При рассмотрении ассортимента ОП было замечено, что зачастую в устройствах с низкой светоотдачей наблюдается наибольшая переплата. Это несоответствие можно объяснить тем, что определенная категория светильников, по мнению производителя, должна пользоваться спросом у покупателей, вследствие чего производитель сознательно завышает себестоимость ОП.

### Литература

1. Тукшаитов Р.Х., Васина А.Ю. Разработка показателей качества осветительных приборов на основе гистограммы светоотдачи для характеристики бренда фирм // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: сб. тр. V Нац. науч.-практ. конф. Казань, 2019. Т. 1. С. 481–484.

2. Метод оценки технико-экономической эффективности промышленных светодиодных светильников / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Современная светотехника. 2014. № 1. С. 58–60.

3. Айхайти И., Недзвецкий Р.Я., Тукшаитов Р.Х. Сравнительная оценка эффективности промышленных светодиодных светильников на основе учета их интегрального показателя [Электронный ресурс] // Студенческий научный форум – 2014: VI Междунар. студ. электр. науч. конф. URL: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014005977> (дата обращения: 21.02.2020).

4. Айхайти И., Тукшаитов Р.Х. Экспертиза качества светодиодных ламп разных производителей на основе оценки их технико-экономической эффективности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 7-8. С. 144–148.

5. Экспресс-оценка офисных светодиодных светильников по их технико-экономическому показателю / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Энергетика Татарстана. 2014. № 2 (34). С. 72–75.

6. Алгоритмы предварительной оценки качества светодиодных светильников на этапе их приобретения / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Энергетика Татарстана. 2014. № 1 (33). С. 48–50.

УДК 628.9.041

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ И СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТУДЕНТОВ**

Вихарева А.А.<sup>1</sup>, Харисов Н.И.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>anzhelika0013@mail.ru, <sup>2</sup>nursultan99-10@mail.ru

Науч. рук. Филиппова Ф.М.

Рассмотрено возникновение новейших источников света с большим процентом синего света в спектре. Риски и влияние на деятельность глаза и здоровье человека энергосберегающих, светодиодных и люминесцентных ламп. Представлены результаты измерения освещенности рабочих мест в лекционных аудиториях КГЭУ с естественным, искусственным и совмещенным освещением.

**Ключевые слова:** свет, энергосберегающая лампа, светодиодная лампа, здоровье, функции глаза, люминесцентные лампы.

Сейчас в век быстроразвивающихся информационных технологий очень сложно обезопасить свое зрение. Многие окружающие нас факторы негативно влияют на состояние нашего зрительного аппарата. В качестве основных факторов, действие которых способно вызвать ухудшение зрения, можно выделить умственные перенапряжения, запыленность, загазованность производственного помещения, а также влияние световой среды, которая представляет собой совокупность ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных излучений [1].

Новые угрозы здоровью человека и влияние на функции глаза обнаружили с появлением энергосберегающих и светодиодных ламп, обладающих большой долей синего света в спектре. Возникла потребность переосмысления и пересмотра способов исследований гигиены зрения [2].

Ранее, в работах Сизовой В.В., уже было представлено исследование влияния световой среды на работоспособность обучающихся [3]. Однако в ней рассматривалось сравнение источников света и их влияние на организм человека в целом.

Целью же данной работы являлось сравнительное исследование влияния именно энергосберегающих и светодиодных ламп на здоровье обучающихся в университетах, поскольку их деятельность непосредственно связана с длительным пребыванием и обучением при освещении, создаваемом именно этими видами источников.

Для проведения исследования были поставлены следующие задачи:

1. Проведение литературного поиска в области влияния световой среды на физиологическое состояние обучающихся в помещениях. Рассмотрение нормативных документов и ознакомление с нормами освещённости на рабочем месте [4].

2. Определение основных параметров для различных аудиторий, предназначенных для проведения занятий со студентами.

3. Опрос обучающихся на тему снижения работоспособности и повышения утомляемости в аудиториях с разными источниками света.

При проведении литературного поиска было проанализировано большое количество литературы, из которой был сделан вывод о том, что люминисцентных ламп, к которым относятся и так называемые «лампы-экономки», освещение может создавать проблемы адаптации, снижать видимость.

Да, несомненно, эти лампы имеют такие положительные характеристики, как энергосбережение и энергоэффективность, но они не являются такими уж и безопасными. Самое опасное, что они причиняют ущерб человеку – это колоссальная нагрузка на глаза: на смену отраженного пришли испускающие свет светодиоды, которые дают повышенную интенсивность коротковолнового излучения, обладающие высоким уровнем синего цвета [5], и, как следствие, появляются следующие риски:

- 1) влияние ультрафиолетового излучения для глаз и кожи;
- 2) не отрицают тепловую опасность поражения сетчатки глаз;
- 3) возникает инфракрасная опасность для глаз;
- 4) и, конечно, в их состав входит ртуть.

Поэтому при сравнении двух видов светильников мы отдаем преимущество светодиодным лампам, хотя светодиоды белого света тоже могут наносить травму сетчатки глаза [6]. Но, несмотря на это, светодиодные светильники относят к рекордсменам по безопасности жизнедеятельности. И к этому приводит наличие одного положительного фактора – это один из видов источника света, который не имеет в своем составе опасных токсичных веществ, а значит, упрощает вопрос их утилизации.

Основываясь на эти аналитические выводы, было предложено рассмотреть источники света в различных аудиториях, в которых обучаются студенты и проанализировать, действительно безопасно ли то освещение в них.

В качестве основных параметров освещения были выбраны: освещенность, индекс цветопередачи и цветовая температура.

Далее нами был проведен опрос студентов о том:

- комфортно ли освещение в лекционных и аудиториях для практических занятий;
- как часто появляются головные боли при нахождении в университете более 7 ч;
- как сильно изменилось зрение с момента поступления в ВУЗ и т. д.

В результате проведенных исследований важно отметить, что не только уровень освещенности, но и все остальные аспекты качества освещения играют роль в уровне обучения и работоспособности студентов.

## Литература

1. Дейнего В.Н., Капцов В.А. Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека // Гигиена и санитария. 2013. Т. 92, № 6. С. 81–84.
2. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // Светотехника. 2012. № 3. С. 4–6.
3. Сизова В.В., Филиппова Ф.М. Современные высокотехнологичные и традиционные источники света и их влияние на организм человека // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: сб. тр. 2-й Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов с междунар. уч. Екатеринбург, 2019. С. 225–230.

4. Нормы освещенности и стандарты СП 52.13330.2011, СНИП 23-05-95 [Электронный ресурс] // Modern-LED Светодиодное освещение. URL: <http://modern-led.ru/stati/29-normy-osveshchennosti> (дата обращения: 01.03.2020).

5. Воздействие светодиодных ламп на здоровье человека [Электронный ресурс]. URL: <https://svetovoy.su/articles/vozdjestvie-svetodiodnyh-lamp-na-zdorove-cheloveka> (дата обращения: 02.03.2020).

6. Как светодиодные лампы влияют на здоровье и зрение? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lighting.philips.ru/consumer/led-lights/eyecomfort/light-and-health> (дата обращения: 01.03.2020).

УДК 621.315.6.001

## **РЕГИСТРАЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАЗРЯДОВ В ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ**

Галиева Т.Г.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

79534929817@ya.ru

Науч. рук. Иванов Д.А.

Содержит описание различных типов частичных разрядов (ЧР), а также причины возникновения каждого типа. Рассмотрены различные методы регистрации ЧР в изоляции, их влияние на техническое состояние оборудования.

**Ключевые слова:** частичный разряд, электромагнитный метод, бесконтактный метод обнаружения ЧР, изолятор.

Своевременная проверка и испытания изоляторов являются одним из основных методов повышения надёжности электрооборудования. По статистике аварий почти треть повреждений ЛЭП вызывается отказами ее изоляторов. Получение информации о состоянии изоляторов в процессе эксплуатации позволит получать полную текущую информацию и проводить ремонт и замену только на участках с наибольшим износом.

Основная причина износа изоляции – воздействие ЧР. ЧР представляет собой локализованный электрический разряд, который не полностью соединяет электроды. Разряды являются главным индикатором о возникновении проблем с изоляцией, а их длительное воздействие может даже привести к полному ее отказу.

По физике возникновения ЧР классифицируются на тлеющие, искровые и коронные. **Тлеющий разряд** – это самоподдерживающийся разряд с холодным катодом, испускающим электроны в результате вторичной эмиссии, главным образом под действием положительных ионов. Вблизи катода имеется слой положительного объемного заряда определенной толщины, что является отличительным признаком разряда, а также он имеет сильное поле у поверхности и значительное падение потенциала: 100–400 В (так называемое катодное падение) [1].

**Искровой разряд** даже при пользовании источниками постоянного тока имеет прерывистую форму. Он возникает в газе при давлениях порядка атмосферного, между электродами любой формы. Они начинаются как от отрицательного электродов, так и от положительного электрода, или от любой точки между ними. **Скользкий разряд** – это разновидность импульсного искрового разряда по поверхности диэлектрика. Разряд происходит между электродами, один из которых представляет собой тонкую проволочку, другой – плоскую поверхность, отделённую от первого слоем диэлектрика, по которому стелется разряд.

**Коронный разряд** возникает при сравнительно высоких давлениях газа (порядка атмосферного) в сильно неоднородном электрическом поле (между двумя электродами, поверхность одного из которых обладает большой кривизной), причем при меньших напряжениях, чем искровой.

Вблизи острого края электрода должна присутствовать сравнительно более высокая напряженность электрического поля, чем на остальном пути между электродами, создающими разность потенциалов. На острие электрода в таких условиях появляется легкое свечение в форме короны. Вот почему разряд называется коронным разрядом.

Регистрация ЧР оборудования энергосистем при эксплуатации широко используется для диагностики. В зависимости от используемых датчиков известны следующие методы регистрации ЧР: электрический метод (измерение сигналов в электрических цепях, контролируемого объекта); акустический метод (измерение акустических колебаний); оптический метод (регистрация оптического излучения ЧР), ультразвуковой, термический метод и электромагнитный метод (регистрация электромагнитного излучения в СВЧ-диапазоне). Для повышения достоверности результатов диагностики вышеописанные методы могут быть скомбинированы и реализованы в одном аппаратно-программном комплексе диагностики технического состояния изоляционного оборудования [2].

В лаборатории диагностики перспективных диэлектрических материалов в энергетике под руководством д.ф.-м.н., проф. А.В. Голенищева-Кутузова проводятся исследования изоляторов под рабочим напряжением до 50 кВ электромагнитным, акустическим (ультразвуковым),

термическим и электрооптическим методами. Разрабатывается прибор для бесконтактной диагностики технического состояния изоляторов, в том числе для установки на беспилотные и роботизированные диагностические платформы.

Электромагнитный метод измерения ЧР можно разделить на контактный и бесконтактный. При применении контактного метода возникает необходимость подключения к источнику высоковольтного напряжения, что является недостатком данного метода [1]. Кроме того, Международный стандарт предполагает определение устойчивого максимального значения сигнала и учет количества сигналов ЧР за вычетом шума, но не уточняет, как интерпретировать форму линии регистрируемого сигнала ввиду перекрытия отдельных сигналов ЧР. Поэтому представляется целесообразным использование бесконтактного метода регистрации ЧР путем измерения создаваемого ими электромагнитного поля с учетом перекрытия сигналов ЧР.

При бесконтактном методе регистрация электромагнитных импульсов ЧР осуществляется с помощью антенны, соединенной с приемником. Далее усиленные сигналы от приемников поступают на программно-аппаратный комплекс, где полученные параметры импульсов проходят цифровую обработку и на основе полученных результатов определяется состояние изоляторов. Беспроводная диагностика изоляторов позволяет своевременно обнаруживать дефекты и увеличивать точность оценки степени их опасности, что в целом увеличивает их надежность и снижает количество аварий.

При нынешнем состоянии энергетики Российской Федерации, когда около 50% основного силового оборудования выработало свой ресурс, основной задачей диагностики (кроме предотвращения аварий) становится продление срока службы оборудования вплоть до полной выработки его реального ресурса. Наиболее актуальными становятся методы диагностики, способные контролировать текущее состояние оборудования на месте, под рабочим напряжением и в процессе эксплуатации оборудования. Метод контроля состояния высоковольтной изоляции оборудования по характеристикам ЧР (возникающих задолго до пробоя) является одним из таких методов. Этот метод позволяет выявлять дефекты изоляции на ранних стадиях их возникновения. Следить за развитием, контролировать текущее состояние оборудования.

Исследование и разработка мобильного диагностического устройства для установки на беспилотные и роботизированные платформы выполняются при финансовой поддержке в рамках гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых – кандидатов наук, проект МК-442.2020.8.



## Литература

1. Коробейников С.М., Вечёркин М.В. Физика возникновения, характеристики и классификация частичных разрядов в высоковольтном оборудовании // Электротехнические системы и комплексы. 2010. № 2. С. 204–212.

2. Дистанционная диагностика высоковольтных изоляторов / А.В. Голенищев-Кутузов // Дефектоскопия. 2016. № 8. С. 75–82.

УДК 621.396

### ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Галимуллин Н.Р.<sup>1</sup>, Ахметвалеева Л.В.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>niaz-galimullin@mail.ru, <sup>2</sup>alvkgeu@mail.ru

Постоянный рост научно-технического прогресса требует более совершенные и модернизированные системы управления, основной задачей которых является избегание крупно габаритных, закрепленных установок. Помимо уменьшения размера автоматизированных управленческих систем необходимо свести энергию, затрачиваемую человеком, к минимуму. Разумным решением для достижения этих целей будет использование такого устройства, как пульт дистанционного управления (ДУ).

**Ключевые слова:** пульт ДУ, микроконтроллер, ИК-приемник, электродвигатель, широтно-импульсная модуляция.

Пульт ДУ (ПДУ, пульт дистанционного управления; RCU (англ. *remote control unit*) — электронное устройство для удалённого (дистанционного) управления устройством на расстоянии [1]. Принцип действия пульта ДУ достаточно прост: при нажатии на конкретную кнопку в окружающую среду происходит испускание инфракрасного излучения с определенной частотой и кодированными знаками.

Инфракрасное (ИК) излучение представляет собой электромагнитное излучение, которое занимает спектральную область между красным светом и с длиной волны 0,74 мкм и коротковолновым радиоизлучением. Спектр инфракрасного излучения изображен на рис. 1.

Для распознавания кода ИК-излучения применяются ИК-приемники. Чтобы реализовать дистанционное управление каким-либо процессом необходимо применить совокупность устройств: пульт ДУ, ИК-приемник, микроконтроллер (МК). Передаваемые данные ИК-приемника способен распознать только микроконтроллер, так как данные передаются в виде двоичного кода.

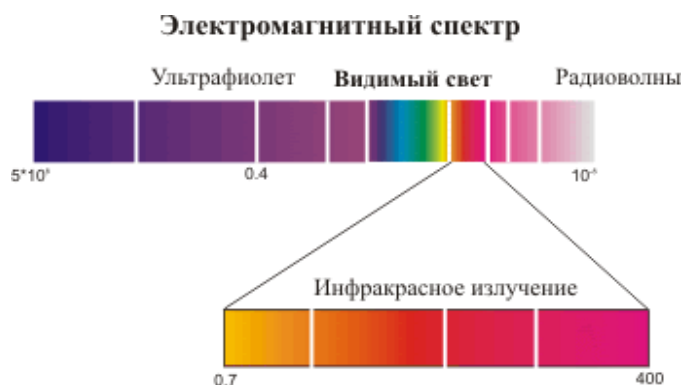


Рис. 1. Спектр инфракрасного излучения

Более подробно нами исследована область применения ИК-приемников при управлении электродвигателями. Наши исследования показали, что подобную систему управления целесообразно применять на объектах производственного масштаба, в которых задействованы электродвигатели различных мощностей, поскольку с помощью пульта ДУ достаточно просто организовать регулировку скорости вращения электродвигателя.

Регулировка частоты вращения осуществляется с использованием микроконтроллера, способного работать в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [2]. Алгоритм регулирования частоты вращения электродвигателя приведен на рис. 2.

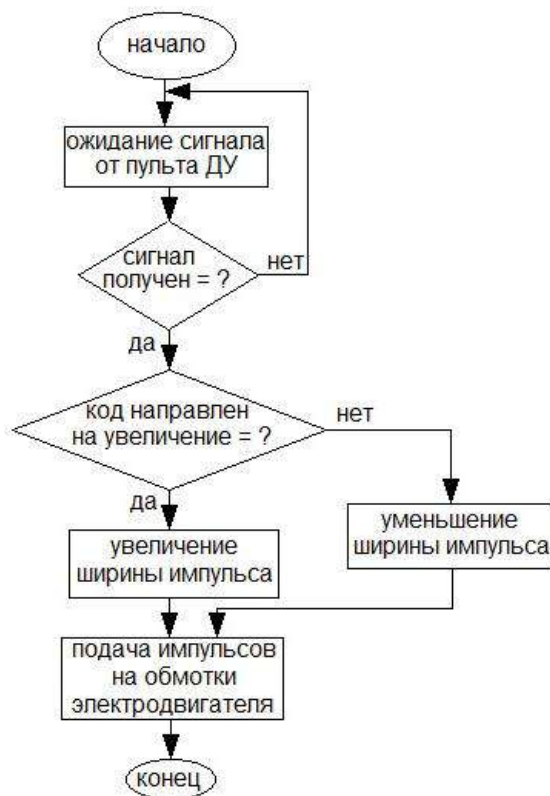


Рис. 2. Алгоритм регулирования частоты вращения электродвигателя

## Литература

1. Шрайбер Г. Инфракрасное излучение в электронике. М.: ДМК Пресс, 2009. 240 с.
2. Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р., Галимуллин Н.Р. Устройство управления и регулирования скорости вращения вентиляторов // Энергетика, состояние, проблемы, перспективы: сб. тр. X Всерос. науч.-техн. конф. Оренбург, 2019. С. 431–433.
3. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. СПб: Университет ИТМО, 2017. 127 с.
4. Кашкаров А.П. Датчики в электронных схемах. М.: ДМК Пресс, 2013. 200 с.

УДК 535.421

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИФРАКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ УСТРОЙСТВ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ФОТОНИКИ

Галявиева А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aigulgalyavieva2016@gmail.com

Науч. рук. Борисов А.Н.

Описаны основные дифракционные элементы для устройств квантовой электроники и фотоники и их свойства.

**Ключевые слова:** дифракционный элемент, дифракционная решетка, фотоника, квантовая электроника, подложка, зона, рельеф, поверхность.

Дифракционная оптика возникла при помощи лазера и компьютера. Дифракционный оптический элемент – это пропускающая либо отражающая прозрачная подложка, на которую с помощью литографии (прецизионной лазерной или электронно-лучевой) нанесен микрорельеф, их виды представлены на рисунке [1].

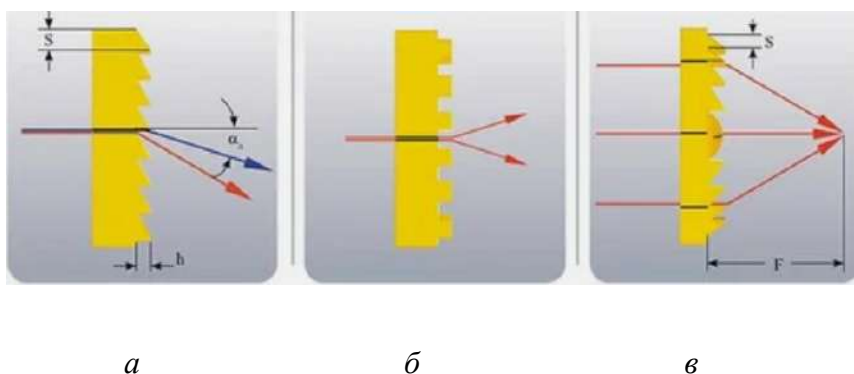
Амплитудная одномерная дифракционная решетка – это плоская поверхность, на которой чередуются темные и светлые полосы, которые параллельны друг другу, они называются штрихи и щели и одинаковые по ширине. Если направить на эту решетку монохроматический пучок света длиной волны  $\lambda$ , направленным перпендикулярно к плоскости

решетки, то в результате дифракции света получим на периодической структуре множество пучков света, которые выходят под разными углами и соответствуют разным порядкам дифракции [2]. Угол  $\alpha$  определяется по формуле и зависит от периода решетки:

$$\alpha = p \frac{\lambda}{T},$$

где  $T$  – период решетки,  $p = 0, 1, 2, \dots$

Вследствие того что большую часть света поглощает амплитудная пластинка, эффективность дифракции в первом порядке не будет превышать 10 %. Для одномерной фазовой решетки данный показатель равен числу, которое примерно в 4 раза больше. Функция пропускания в этом случае является фазовой, периодической с периодом  $T$ , аргумент которой скачкообразно изменяется. Функционально фазовая и амплитудная дифракционные решетки являются одинаковыми. Зоной называется ограниченная область дифракционного оптического элемента, на которой функция пропускания света подвергается однократному изменению от минимального до максимального значения [3]. Зона представлена сочетанием темных и светлых полос, которые находятся в пределах одного периода решетки (для амплитудной дифракционной решетки).



Виды дифракционных решеток: пилообразная (а), бинарная (б) и дифракционная линза (в)

Точность изготовления дифракционных элементов на пластинках, диаметр которых равен 230 мм, составляет около 50 нм. Современные технологии позволяют создавать дифракционные структуры прямо на покрытых хромом подложках при помощи лазерного пучка [4]. При создании фазового рельефа на поверхности данных подложек применяется процесс реактивного ионного травления.

## Литература

1. Фокусировка когерентного излучения в заданную область пространства с помощью синтезированных на ЭВМ голограмм / М.А. Голуб [и др.] // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7, вып. 10. С. 618–623.
2. Синтез пространственных фильтров для исследования поперечно-модового состава когерентного излучения / М.А. Голуб [и др.] // Квантовая электроника. 1982. Т. 9, № 9. С. 1866–1868.
3. Бессель-оптика / А.Е. Березный [и др.] // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274, № 4. С. 802–805.
4. Соيفер В.А. Нанопотоника и дифракционная оптика // Компьютерная оптика. 2008. Т. 32, № 2. С. 110–118.

УДК 621.38

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СИГНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ**

Гарипов Н.Н.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

garipovnazim@gmail.com

Науч. рук. Иванов Д.А.

Разработано устройство, способное напоминать о забытых предметах. Существуют множество устройств для поиска потерянных или забытых вещей и личных предметах, оборудованных радиомаячком, но большей эффективности это не дает, если данный предмет был украден или похищен. Идея описанного устройства акцентирована на уведомлении человека о забытом предмете, что поможет предотвратить момент пропажи. Основа такого устройства заключена в выдаче уведомления на смартфоне или электронных часах пользователя по радиосигналу, который посылается при отдалении от радиопередатчика или радиометки забытого предмета, оборудованного разработанным устройством.

**Ключевые слова:** модель, радиосигнал, напоминающее устройство, приемник-передатчик, разработка, идея.

Зачастую случаи с утерянными вещами венчаются провалом. Даже после обращения в полицию не всегда удается найти утерянные предметы. И далеко не всегда, вернувшись буквально через несколько минут к месту,

где эти предметы были оставлены, вы обнаружите их там. Подобные примеры случаются постоянно, дабы избежать таких случаев, возникла идея создать устройство, уведомляющее звуковым сигналом о забытом предмете.

Это своего рода охранное устройство, передающее сигнал тревоги при удалении от забытого предмета на расстояние 2–5 м. Устройство состоит из двух частей: приемника и передатчика. Микромощный радиопередатчик, находящийся с предметом (часто забываемым), и миниатюрный радиоприемник у владельца, реагирующий на исчезновение контакта с «радиофицированными» вещами, образуют охранную систему, способную обнаружить пропажу на самом раннем этапе [1].

Приемником может послужить как телефон, smart-часы или иной вид электронного носителя, который непрерывно находится рядом с человеком.

Передатчик работает в импульсном режиме. Рабочая частота передатчика определяется установленным в нем кварцевым резонатором [2].

Следует отметить, что рабочий диапазон радиосвязи не должен превышать предел допустимого значения. Кварцевый генератор должен иметь частоту, разрешенную надзором для охранных систем: 26 945 кГц или 26 960 кГц. Желательно, чтобы это был основной его резонанс. На резонаторах, рабочая частота, которая является гармоникой основного резонанса (чаще третьей), она обычно обозначается иначе: 26,945 МГц или 26,960 МГц. Дело в том, что количество частот ограничено и некоторые из них зарезервированы за определенными типами связи. Также часть частот выделена для нужд создания репитеров согласно решению Государственной комиссии по радиочастотам при Министерстве цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [3].

Микропередатчик будет работать, как правило, без какой-либо внешней антенны – при малых расстояниях она просто не нужна. Но при необходимости дальность поддержания сигнала может быть немного увеличена. Активация устройства сопровождается звуковыми сигналами, как в передатчике, так и в приемнике. Установленный сигнал на приемнике служит для уведомления человека, что предмет был забыт, а на передатчике – для того, чтобы было легче найти утерянный предмет.

Что касается деактивации устройства, планируется установить кнопки сброса сигнала, посредством долгого удерживания одновременно и передатчика, и приемника.

Планируется сделать устройство с источником питания 6-вольтовой батареи. В идеале будет использовать аккумуляторы способные заряжаться, что позволит не тратить больше расходов на покупку батареек, что также позволит сохранить экологию природы в частоте.

Суть работы устройства заключается в следующем. Человек, отходя от забытого предмета на некоторое расстояние, слышит тревожный сигнал, исходящий от приемника. Следом активируется и передатчик, утерянный с последнего место пребывания человека. Человек, уведомленный об утере предмета, возвращается на место, где недавно был, а звук, исходящий от передатчика, позволит найти оставленный предмет. Для выключения тревожного сигнала, а также для сброса и обновления устройства используются кнопки.

Появление такого рода устройства повысит внимательность человека к предметам. Практическая значимость данного устройства заключается в компактности и простоте использования.

### Литература

1. Шахгильдян В.В., Козырев В.Б., Ляховкин А.А. Радиопередающие устройства. Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 1990. 560 с.
2. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов / В.Н. Кулешов [и др.]. М.: МЭИ, 2008. 416 с.
3. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации [Электронный ресурс]: офиц. сайт. <https://digital.gov.ru/ru/activity/advisories/7/> (дата обращения: 20.01.2020).

УДК 535.3

## СВОЙСТВА ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Зарипова А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alfira1996@mail.ru

Науч. рук. Борисов А.Н.

Рассмотрены свойства фотонных кристаллов, их структура, примеры создания.

**Ключевые слова:** фотонный кристалл, структура, сверхрешетка, запрещенная зона, диапазон, скорость света, СВЧ-диапазон.

Идея о возможности распада энергий электронов непрерывного спектра на множество чередующихся разрешенных и запрещенных зон в направлении движения и распространения электронов при наличии пространственной периодичности поля деформации впервые была предложена Келдышем [1]. Периодические полупроводниковые структуры с заданными параметрами слоев назывались полупроводниковыми сверхрешетками. Широкий интерес к проблеме их создания появился после того, как статья была опубликована в 1970 г. Эсаки и Цу, которые предложили создавать такие структуры, изменяя легирование или состав слоев [2]. Периоды в таких структурах имели значения от 5 до 20 нм. Количество слоев достигло нескольких сотен.

Автор [3] дал определение фотонных кристаллов как материалов, кристаллическая решетка которых имеет периодичность диэлектрической проницаемости, приводящую к появлению «запрещенного» диапазона частот, называемого шириной запрещенной зоны фотонов. Яблонович [4] и Джон [5] предложили создать структуры с фотонной запрещенной зоной, которые можно рассматривать как оптический аналог запрещенной зоны в полупроводниках. В этом случае запрещенная зона – это частотный диапазон, в котором существование света во внутренней части кристалла запрещено. Тип дефекта или нарушения периодичности в этом случае может быть различным. Такие структуры должны создаваться искусственно в отличие от природных кристаллов. В этом случае размер базового элементарного элемента фотонного кристалла должен быть сопоставим с длиной волны света. Изготовление таких конструкций предполагает использование электронно-лучевой и рентгеновской литографии [2].

Структуры с пространственной периодичностью элементов также использовались в микроволновом диапазоне для уменьшения фазовой скорости волны по сравнению со скоростью света в специальных волноводах, называемых структурами линии задержки. Авторы [3] назвали их «своего рода искусственными кристаллами, клетки которых имеют большие размеры».

В СВЧ-диапазоне фотонный кристалл может быть реализован как на волноводах с диэлектрическим заполнением [3, 4], так и на плоских линиях передачи с периодически меняющейся полосовой структурой [5]. Существуют примеры создания фотонных кристаллов в оптическом, инфракрасном, ультрафиолетовом, микроволновом диапазонах. Создание фотонного кристалла для микроволнового диапазона является самым



простым. Следует отметить, что при теоретическом описании свойств таких структур, в отличие, например, от сверхрешеток, нет необходимости учитывать свойства переходных слоев, квантовые размерные эффекты, специфику технологических процессов. Это открывает возможность более точно изучить свойства фотонных кристаллов, связанных с периодичностью, и, в частности, использовать результаты теоретического описания для измерения параметров их слоев в результате решения соответствующей обратной задачи.

Материалы со свойствами фотонных кристаллов также известны в природе. К ним относятся, например, благородный опал [6], спикулы природных биоминеральных кристаллов [7]. Изменяющаяся во времени запрещенная зона для частотной области в окрестности 6 ГГц наблюдалась в растворе с химической автоколебательной реакцией Бриггса-Раушера, характеризующейся наличием периодически расположенных областей с различной диэлектрической проницаемостью [8].

## Литература

1. Keldysh L.V. The influence of ultrasound on the electronic spectrum of a crystal // *Physics of the Solid State*. 1962. Vol. 8. Pp. 2265–2267.
2. Esaki L, Tsu R. Superlattice and negative differential conductivity in semiconductors // *IBM Journal of Research and Development*. 1970. Vol. 14, Is. 1. Pp. 61–65.
3. Joannopoulos J., Villeneuve P.R, Fan S. Photonic crystals: Putting a new twist on light // *Nature*. 1997. Vol. 386. Pp. 143–149.
4. Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics // *Physical Review Letters*. 1987. Vol. 58, No 20. P. 2059–2062.
5. John S. Strong localisation of photons in certain disordered dielectric superlattices // *Physical Review Letters*. 1987. Vol. 58, No 23. Pp. 2486–2489.
6. Zaitsev D.F. *Nanophotonics and Its Application*. Moscow: Acteon, 2012. 445 p.
7. Silin R.A, Sazonov V.P. *Delay-Line Systems*. Moscow: Soviet Radio, 1966.
8. Waveguides containing frame elements with electrically controlled characteristics of permitted and forbidden bands / D.A. Usanov [et al.] // *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2014. Vol. 59, Is. 11. Pp. 1101–1106.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ В ПРИБОРАХ ФОТОНИКИ

Зарипова А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alfira1996@mail.ru

Науч. рук. Борисов А.Н.

Рассмотрены виды фотонных кристаллов, даны определения, примеры создания.

**Ключевые слова:** фотонный кристалл, структура, сверхрешетка, запрещенная зона, диапазон, скорость света, СВЧ-диапазон.

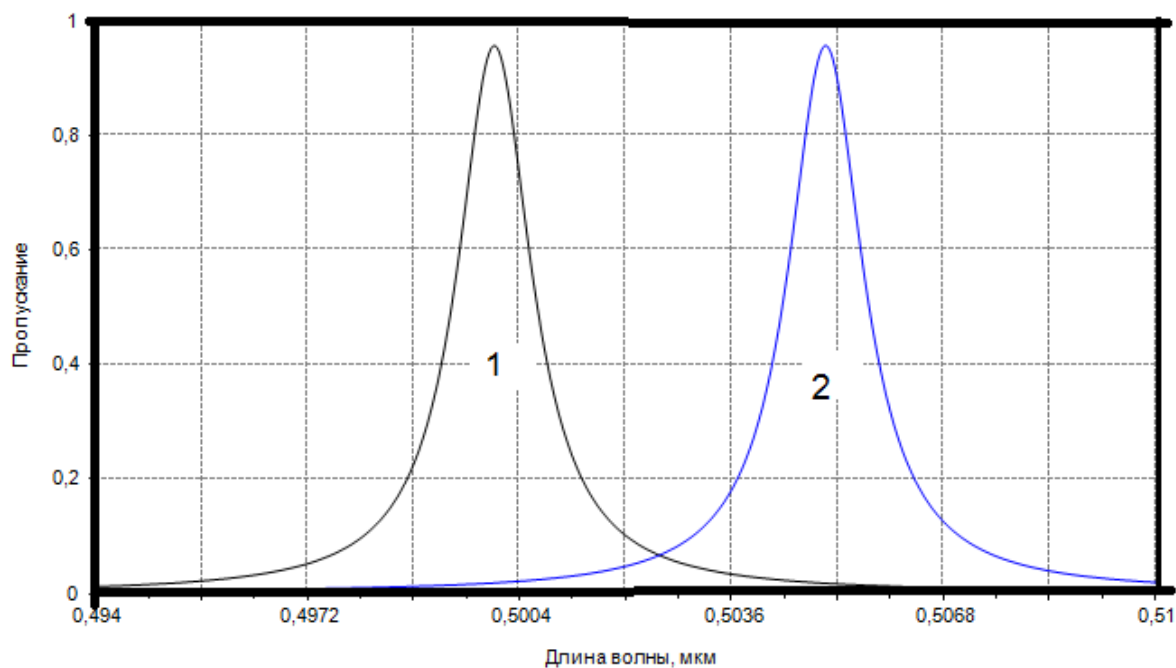
В настоящее время, в наступивший век нанотехнологий появилось понятие фотонного кристалла. Фотонными кристаллами называют выполненные из прозрачных материалов физические объекты, показатели преломления которых, регулярным образом меняются по пространственным координатам. Сам термин «фотонный кристалл» возник в связи с тем, что, с точки зрения математического описания, движение фотонов в среде с периодически изменяющимся показателем преломления оказывается аналогичным движению электронов в кристаллах (как и в материале с регулярно изменяющимся электрическим потенциалом). Таким образом, с точки зрения теоретического описания, периодические многослойные системы – не что иное, как одномерные (1D) фотонные кристаллы. Так, например, многослойное интерференционный оптический элемент, состоящий из чередующихся слоев с высоким и низким показателями преломления, по существу представляет собой слоистую периодическую структуру (СПС) или сверхрешетку. Для таких элементов характерно существование зон высокого отражения (так называемых фотонных запрещенных зон) и зон с достаточно высоким пропусканием. Интерес к таким структурам значительно усилился в последнее время в результате проведения исследований в области фотонных кристаллов, ставшей важным разделом современных нанотехнологий. В последние годы привлекает пристальное внимание задача получения СПС, спектральные характеристики которых можно закономерно изменять с помощью внешних воздействий (например, под влиянием внешнего электрического или магнитного поля), решение которой предполагается осуществить за счет использования слоев из магнитоактивных материалов или из анизотропных материалов с высокой электрооптической эффективностью.

При разработке СПС с самыми разнообразными спектральными характеристиками успешно используются общие методы синтеза, среди которых большое практическое значение имеют так называемые машинные методы, основанные на минимизации функции качества, характеризующие степень отклонения спектральной характеристики СПС от требуемой в одном или нескольких заданных спектральных интервалах. Аргументом функции качества является вектор конструктивных параметров, координатами которого являются показатели преломления и толщины слоев покрытия. При решении задач синтеза такими методами на первый план выходит вопрос о способах сокращения затрат машинного времени, резко возрастающих с увеличением числа конструктивных переменных. Один из путей решения этой проблемы, интенсивно развиваемый в последние годы и основанный на построении эффективных численных алгоритмов минимизации и разработке наиболее быстродействующих алгоритмов перебора себя исчерпал. В связи с этим представляется актуальной разработка качественно иных методов, учитывающих особенности поведения гиперповерхности функции качества в пространстве конструктивных переменных, характерные для того или иного класса решаемых задач синтеза [1].

В то же время, сравнительно недавно опубликован ряд работ, посвященных исследованию свойств материалов с отрицательным коэффициентом преломления и материалов, обладающих фрактальной (самоподобной) структурой. Включение пленок из таких материалов в состав СПС открывает поистине уникальные, неизведанные доселе перспективы их использования при создании самых сложных приборов, предназначенных для комплектации современной оптико-электронной, тепловизионной, космической техники и прецизионных устройств квантовой электроники и фотоники.

Одним из примеров можно представить СПС, представляющий собой узкополосный фильтр, типа Фабри-Перо, центральный резонансный слой которого выполнен из широкозонного полупроводникового материала, например из окиси цинка [2]. Спектральная зависимость пропускания данного фотонного кристалла от длины волны зондирующего излучения, представлена на рисунке (кривая 1). При воздействии электрического поля на данный оптический элемент, за счет изменения

оптических характеристик центрального слоя, изменяется положение максимума пропускания фильтра. В этом случае он становится зеркальным отражателем, который не пропускает полезное излучение на приемный детектор, то есть становится затвором. Это хорошо заметно на том же рисунке (кривая 2). Естественно, что сдвиг спектральной кривой и области пропускания фильтра выбираются исходя из задач, выполняемых устройством, в состав которого входит данный элемент.



Спектральная зависимость пропускания фотонного кристалла от длины волны зондирующего излучения

Таким образом, применяя современные технологии, можно создавать устройства, так необходимые для приборов квантовой электроники и фотоники.

### Литература

1. Влияние структуры слоев интерференционного покрытия на его оптические свойства / Е.А. Несмелов [и др.] // Оптический журнал. 1996. № 11. С. 29–32.
2. Справочник оптика-технолога / И.Я. Бубис [и др.]. Л.: Машиностроение, 1983. 414 с.

## ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ НА МИКРО-ГЭС

Исламова Г.Н.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Guleni6@mail.ru  
Науч. рук. Садыков М.Ф.

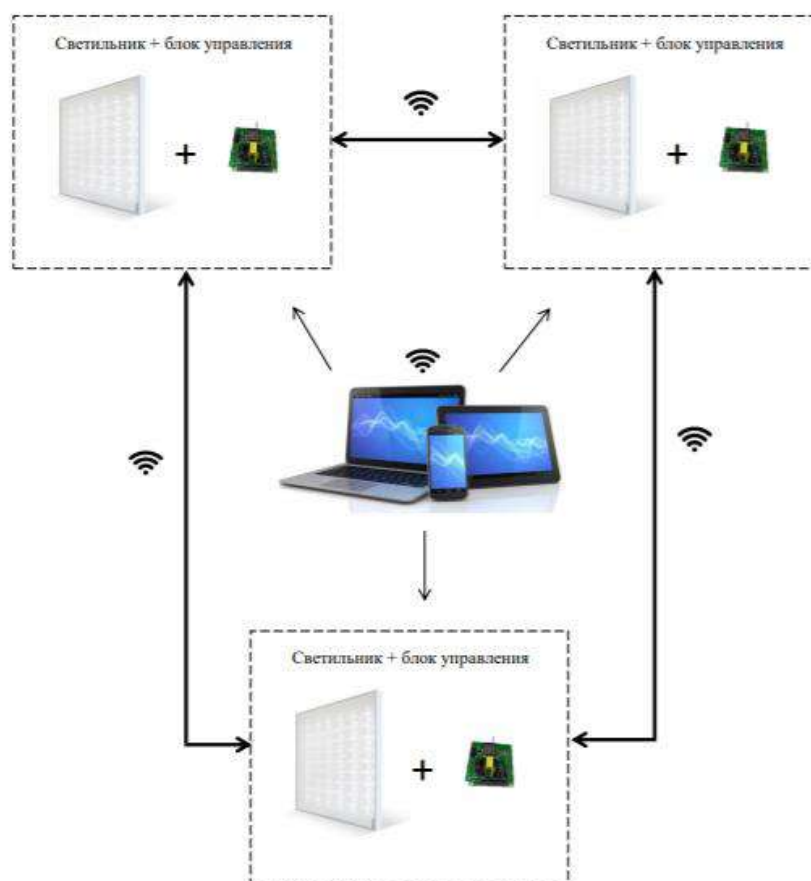
Предлагается использовать аккумулирующий распределительный блок, позволяющий осуществить бесперебойное электроснабжение всех устройств на микро-ГЭС. В работе указаны преимущества использования интеллектуальных систем на микро-ГЭС и принцип работы аккумулирующего устройства.

**Ключевые слова:** микро-ГЭС, аккумулирование, интеллектуальная система освещения, электрообеспечение.

Поддержка энергообеспечения вспомогательного оборудования микро-ГЭС является актуальной задачей [1]. Некоторые современные энергетические сооружения оборудованы интеллектуальной системой освещения. Интеллектуальная система освещения – система, которая управляет осветительными приборами в жилых, рабочих, торговых и общественных помещениях [2].

Интеллектуальная система освещения представляет из себя устройство (см. рисунок), которое состоит из диммируемых светодиодных светильников и специальных блоков управления. Блоки управления передают информацию между собой посредством беспроводной связи. Такая система освещения имеет ряд преимуществ: автоматическое изменение светового потока светильника в зависимости от уровня естественного освещения; автоматический переход с рабочего на дежурный режим при присутствии/отсутствии людей, в каждом состоянии происходит автоматическое поддержание заданного уровня освещенности; возможность замены светильника в системе без нарушения системы; автоматическое включение и отключение освещения по расписанию; ручное удаленное управление светильниками по беспроводному каналу (с персонального компьютера диспетчера или телефона); возможность управления отдельным светильником, группой светильников, всей системой в целом; удаленный мониторинг состояния светильников.

Регулирующая освещенность зависит от таких факторов как движение, уровня естественного освещения и др. В результате такие устройства снижают энергозатраты микро-ГЭС [3].



Принцип работы интеллектуальной системы освещения

Основной потребностью смарт-устройств является непрерывное электрообеспечение. Однако на микро-ГЭС возникают периоды низкого электрообеспечения, поэтому поиск решения позволяющего бесперебойно осуществить электрообеспечение смарт-устройств на микро-ГЭС является важной задачей [4].

Авторами данной работы предлагается использовать аккумулирующий распределительный блок. Преимущество аккумулирующих систем энергии заключаются в возможности поддержания статических и динамических нагрузок электрической сети. Также аккумулирующие системы могут участвовать в накоплении электроэнергии из электросети в момент дефицита нагрузок и выдавать электроэнергию в момент повышенного спроса

Аккумулирующий блок, позволяющий осуществить бесперебойное электроснабжение всех устройств на микро-ГЭС. Принцип работы устройства заключается в следующем: в периоды низкой генерации электроэнергии на микро-ГЭС обеспечивать электроэнергию интеллектуальной системы освещения будет данный блок, который будет накапливать в себе электроэнергию во время низкого энергопотребления.

## Литература

1. Экспериментальные исследования микро-ГЭС с осевой гидротурбиной на гидравлическом стенде / И.А. Бахтина [и др.] // Ползуновский вестник. 2013. № 4-2. С. 12–19.
2. Тулекбаева А.К., Джамалова З.И., Орманова Г.М. Управление качеством процессов учета электроэнергии на основе применения технологий интеллектуальных сетей SMART GRID // Экономика и управление производством: тез. докл. 81-й науч.-техн. конф. проф.-преп. состава, научных сотрудников и аспирантов (с междунар. уч.). Минск, 2017. С. 33.
3. Бродт В.В., Потемкина Т.В., Ляпустин Д.Н. Смарт-грид и основные ее составляющие. Сферы применения цифровых решений в электроэнергетике // World science: problem sand innovations. 2019. С. 58–60.
4. Крылов А.П., Бакштанин А.М. Новые концепции в развитии микро-гидроэнергетики. Гидравлика в напорных водоводах микро-ГЭС // Природообустройство. 2017. № 5. С. 8–14.

УДК 628.93

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММНЫХ ОБЕСПЕЧЕНИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДИММИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Казмирук Л.О.<sup>1</sup>, Тукшаитов Р.Х.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Lev.krazmiruki@mail.ru, <sup>2</sup>potter1771@mail.ru

Проведен анализ и сравнение различного программного обеспечения, предназначенного для диммирования светового потока. Определены достоинства и недостатки программного обеспечения, предоставляемого разными компаниями.

**Ключивые слова:** программное обеспечение, диммирование, световой поток.

В настоящее время существует множество компаний, производящих устройства для управления освещением с самыми разными функциональными возможностями, которые следует учитывать при выборе диммирующего устройства, так как при покупке диммера можно существенно переплатить за те функции, которые являются избыточными для реализации того или иного проекта [1–3].

Наиболее гибкое программное обеспечение предоставляет альянс ZigBee [4]. Стандарт ZigBee обеспечивает топологию mesh, что делает систему более помехоустойчивой. Основным преимуществом данной технологии является его низкое энергопотребление, что позволяет использовать технологии Green Power (Сетевые устройства). Green Power получают энергию от солнца или механического воздействия, например, от нажатия обычного выключателя. Ее будет достаточно, чтобы сгенерировать и отправить простое сообщение по сети ZigBee.

ZigBee предусматривает частотные каналы в диапазонах 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц по стандарту IEEE 802.15. Протокол Green Power позволяет создавать автономные беспроводные устройства, получающие энергию путем ее сбора из возобновляемых источников энергии (механических, тепловых, электромагнитных и т. п.) и таким образом не нуждающихся в регулярном обслуживании, подводящих проводах и батареях питания.

В список устройств, в которые можно внедрить такую возможность, автоматически попадают световые диммеры и выключатели. Расстояние между узлами сети составляют десятки метров в помещениях и сотни метров на открытом пространстве. При помощи ретрансляторов можно значительно увеличить зону покрытия сети.

Продукт компании Broadlink предназначен для использования в жилых помещениях, имеет широкий диапазон принимаемых сигналов (2,4 ГГц, 315 ГГц, 433 ГГц, то есть программа может управлять приборами, используя инфракрасное излучение), что позволяет ему управлять почти любыми бытовыми приборами, начиная от люстры и заканчивая телевизором [5]. Данное устройство способно запоминать сигналы, подаваемые для управления какой-либо техникой и воспроизводить их по команде с помощью специального приложения, устанавливаемого на смартфоне. Ещё одним преимуществом данной программы является то, что она может взаимодействовать почти со всеми видами беспроводных систем, такими как Sonoff, Livolo и т.п. Программное обеспечение нацелено на выполнение повседневных задач, встречающихся в быту.

Программное обеспечение AWADA создано по протоколу DALI, который предполагает проводную передачу от блока управления на диммируемые источники света [6, 7]. Стоит отметить, что драйвер светильника должен поддерживать данный протокол, в противном случае источник света будет воспринимать команды некорректно (на драйвере светильника должна быть надпись: DALI). Сам блок управления может принимать передаваемые данные как проводным путём (от выключателей, диммиров или датчиков движения), так и беспроводным от мобильного устройства или ПК.



Из преимуществ данного программного обеспечения можно отметить то, что оно обеспечивает более наглядное и удобное управление источниками света за счёт создания графической модели помещения, также программа может создавать графики потребления электроэнергии и сравнивать их [3].

Программное обеспечение AWADA предназначено по большей части для офисных помещений, так как для беспроводной передачи данных используется беспроводная технология Wi-Fi. Главным недостатком AWADA является немалая стоимость электронных компонентов, совместно с которыми работает рассматриваемая программа (стоимость распределительного шкафа, в зависимости от того на сколько устройств он рассчитан, может колебаться от 150000 до 704000 руб.).

Программное обеспечение от альянса ZigBee отлично подойдет как для коммерческих помещений, так и для жилых, так как применяемая топология mesh позволяет значительно расширить зону покрытия за счёт роутеров FFD. Программное обеспечение от компании Broadlink хорошо подходит для применения в жилых помещениях, так как пользователь без особых усилий сможет настроить под себя функционал программы.

## Литература

1. Диммирование светового потока [Электронный ресурс]. <https://habr.com/ru/company/lampstest/blog/386225/> (дата обращения: 14.03.2020).
2. Варфоломеев Л.П. Энергоэффективное электрическое освещение. М.: МЭИ, 2013. 287 с.
3. Хабибрахманов Н.И., Денисова Н.В. Повышение энергетической эффективности систем освещения // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2019. С. 153–159.
4. Беспроводные сети ZigBee и Thread [Электронный ресурс]. <http://www.wless.ru/technology/?tech=1> (дата обращения: 29.10.2019).
5. Управляя техникой со смартфона. Часть II. Broadlink [Электронный ресурс]. URL: <https://mysku.ru/blog/china-stores/27890.html> (дата обращения: 30.10.2019).
6. Умная система освещения AWADA [Электронный ресурс]. URL: <http://var-ton-pro.ru/katalog/sistemi-upravlenia-osvesheniem/awada/> (дата обращения: 14.03.2020).
7. Протокол DALI [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/321888/> (дата обращения: 15.03.2020).
8. Диммирование светового потока [Электронный ресурс]. URL: <http://var-ton-pro.ru/katalog/sistemi-upravlenia-osvesheniem/awada/> (дата обращения 14.03.2020).

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРАМИ

Мамедов Г.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

zmeya.zlo99@gmail.com

Науч. рук. Потапов А.А.

Модернизирована система импульсно фазового управления тиристорами, которая применяется в реверсивных тиристорных преобразователях. Реализован генератор пилообразного напряжения на операционном усилителе и произведена замена старого генератора пилообразного напряжения построенного на транзисторах.

**Ключевые слова:** модернизация, транзистор, СИФУ, управление, операционный усилитель, характеристики, ГПН.

Система импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорного преобразователя предназначена для генерирования и формирования импульсов управления определенной длительности и формы, распределения их по соответствующим фазам в многофазных системах и изменения (фазового смещения) момента подачи этих импульсов на управляющие электроды тиристорных преобразователей относительно фазы анодного напряжения. Тиристорные устройства, обладая высоким быстродействием, селективностью и надежностью, чувствительностью, малыми массогабаритными показателями, имеют несравненно большие перспективы применения в системах управления и защиты бытовых и производственных установок, чем электромеханические и электромагнитные аппараты. В последние годы к ним проявлен интерес, как разработчиков, так и исследователей бытовой техники и других областей [1].

Основными областями применения тиристорных систем электропитания, управления и защиты являются:

- бесконтактная защита и управление бытовыми машинами, технологическими аппаратами;
- системы управления и защиты сварочных аппаратов, в том числе и электролизно-водных сварочных аппаратов;
- системы регулирования частоты вращения и обеспечения оптимальных режимов швейных и кухонных машин, прялок, ручного переносного электроинструмента, вентиляторов, калориферов и т. д.;

- системы регулирования температуры и силы света;
- системы управления режимами стиральных машин;
- системы электронного зажигания автомобилей и информационные табло;
- зарядные устройства;
- цветомузыкальные установки и рекламные средства информации [2].

В состав модернизированного СИФУ входят (рис. 1):

УС – устройство синхронизации – обеспечивает связь с питающей сетью, отмечает переходы через ноль сетевого напряжения, формируя в этот момент импульсы для запуска генератора пилообразного напряжения (ГПН).

ГПН – генератор пилообразного напряжения, используется для формирования пилообразного напряжения от момента подачи сигнала с УС, возвращаясь в исходное состояние в момент подачи следующего импульса от УС.

Компаратор сравнивает пилообразное напряжение с напряжением управления, и в момент их равенства меняет свое выходное состояние, преобразует напряжение управления в фазовый сдвиг, т. е. угол  $\alpha$ .

Дифференцирующая RC цепь формирует прямоугольные импульсы с длительностью, достаточной для надежного открывания тиристоров.

Усилитель импульсов, кроме усиления по мощности, осуществляет гальваническую развязку с помощью импульсного трансформатора.

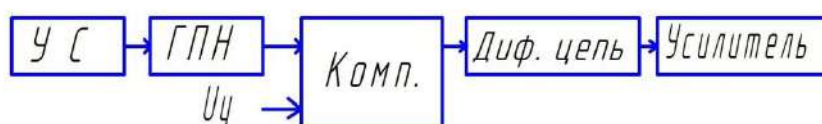


Рис 1. Блок-схема СИФУ

В СИФУ одним из ключевых блоков является ГПН, поскольку качество напряжения, которое формируется на его выходе, влияет на диапазон, плавность и линейность регулирования.

Нами была произведена модернизация СИФУ путём замены ГПН, построенного на транзисторах, на ГПН, реализованного на операционном усилителе. Это позволило добиться лучшей линейности напряжения во всём диапазоне его изменения. Электрическая схема разработанного ГПН представлена на рис. 2. Высокая линейность пилообразного напряжения достигается действием положительной обратной связи в цепи заряда конденсатора  $C1$ . Во время действия на входе положительного импульса

от УС транзистор  $VT1$  открыт и насыщен. Происходит формирование обратного хода пилообразного напряжения, во время которого конденсатор разряжается через малое сопротивление насыщенного транзистора практически до нулевого уровня. В паузах между входными импульсами от УС транзистор закрыт, и конденсатор заряжается током от источника  $E$  через резистор  $R3$ .

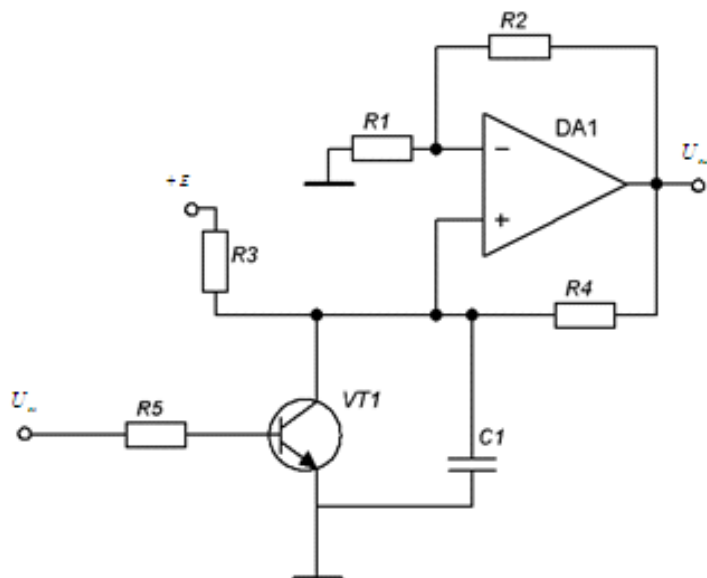


Рис. 2. ГПН на ОУ

Напряжение  $U_c$ , образуемое на конденсаторе, поступает на неинвертирующий вход операционного усилителя, работающего в линейном режиме с коэффициентом усиления по неинвертирующему входу  $K = 1 + R2/R1$ . В результате на выходе усилителя создается напряжение  $U$ , а на резисторе  $R4$  – напряжение, равное  $U_R$ , которое создает ток  $I_4$ , протекающий через конденсатор в том же направлении, что и ток  $I_3$ . Следовательно, ток заряда конденсатора в паузах между входными импульсами равен  $I_c$ . По мере заряда конденсатора ток  $I_3$  уменьшается, а напряжение на конденсаторе и на входе операционного усилителя увеличиваются. Если коэффициент усиления по инвертирующему входу больше единицы, то напряжение на резисторе  $R4$  и протекающий через него ток  $I_4$  также увеличиваются. Увеличение данного тока, при соответствующем подборе коэффициента усиления, может полностью скомпенсировать уменьшение тока  $I_3$ , и заряд конденсатора будет происходить постоянным током. Так обеспечивается высокая линейность пилообразного напряжения в нашем ГПН.

В результате проведённой работы мы получили ГПН с лучшими параметрами, в сравнении с ГПН на транзисторах. В дальнейшем нами планируется доработать остальные блоки СИФУ, используя современную элементную базу.

### Литература

1. URL: <https://stankotec.ru/raznoe/blok-sifu-18-funkciya-sistemy-impulsno-fazovogo-upravleniya-sifu-strukturnaya-sхема-sifu-klassifikaciya-sifu-trebovaniya-k-sifu.html> (дата обращения: 15.03.2020).

2. URL: [https://sinref.ru/000\\_uchebniki/04000pravo/150\\_lekcii\\_gos\\_regulir\\_20/800.htm](https://sinref.ru/000_uchebniki/04000pravo/150_lekcii_gos_regulir_20/800.htm) (дата обращения: 15.03.2020).

УДК 621.315.1, 621.314.174

## ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Нгуен Ван Ву

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[vu2307@gmail.com](mailto:vu2307@gmail.com)

Науч. рук. Садыков М.Ф.

Инклинометрические методы подразумевают под собой мониторинг состояния ВЛ, исходя из данных об угле наклона провода относительно гравитационного поля Земли. Устройства контроля, использующие инклинометрический метод, устанавливаются непосредственно на проводе. Датчики определения угла наклона провода, как правило, устанавливаются вблизи точки подвеса.

**Ключевые слова:** МЭМС, воздушная линия электропередачи, мониторинг воздушных линий, механические нагрузки, вращение провода.

Все элементы воздушных линий электропередачи испытывают механические нагрузки и могут быть повреждены при превышении предела их механической прочности. Конструктивные элементы воздушных линий электропередачи испытывают как горизонтальные (например, механические напряжения в растянутой проволоке/кабеле), так и вертикальные нагрузки (например, от собственного веса или веса провода/кабеля). Провода и кабели являются элементами воздушной

линии, на которой изменения механических нагрузок наблюдаются в большей степени из-за изменений натяжения провода/кабеля в зависимости от температуры и образования на нем отложений ледяного покрова, а также колебания от порывов ветра. Основные механические напряжения в проводе/кабеле воздушной линии связаны с ее удлинением. С увеличением предела прочности проволоки или стержней (сердечников), из которых она изготовлена, ее натяжение также увеличивается.

Превышение предела прочности элемента воздушной линии электропередачи может привести к его повреждению: обрыву провода/кабеля, выходу из строя или обрыву изолятора, межфазному короткому замыканию из-за «дребезга» провода и другим.

Механическая перегрузка элемента конструкции линии электропередачи может возникать из-за появления отложений обледенения, развития усталости элемента конструкции линии электропередачи, ошибок при строительстве линии, а также ремонтно-реставрационные работы. Среди перечисленных причин появление ледяных отложений сопровождается наиболее серьезными последствиями. Поэтому в будущем эта проблема будет привлекать особое внимание. Потребность в полноценном обследовании для предотвращения чрезвычайных ситуаций возрастает.

Для определения угла наклона провода используются МЭМС-датчики измерения ускорения (акселерометры). МЭМС-датчики представляют собой интегральную микросхему и не имеют движущихся частей, что обуславливает их высокую надежность и способность обеспечивать стабильные показания в достаточно суровых климатических условиях. Устройства контроля, использующие инклинометрический метод, устанавливаются непосредственно на проводе (см. рисунок).



Приборы LINDSEY (слева) [1] и Astrose (справа) [2]

Датчики определения угла наклона провода, как правило, устанавливаются вблизи точки подвеса. В таком случае акселерометр измеряет проекцию ускорения свободного падения на ось провода, которая по заранее известной для датчика формуле пересчитывается в угол провеса провода. По значению данного угла может быть восстановлена геометрия провода, а значит и оценена текущая механическая нагрузка на провод [3].

Ввиду простоты конструкции и достаточной надёжности системы подобного рода широко распространены: OTLM, ASTROSE, LINDSEY.

Система OTLM (*Overhead Transmission Line Monitoring*) [4]. Системы LINDSEY (США) [1] и Astrose (Германия) [2] предназначены для решения задач, аналогичных системе OTLM, за исключением того, что система LINDSEY имеет в составе оборудования лазерный дальномер для более точного определения собственного положения в пространстве, а также измеряет угол вращения провода в диапазоне  $\pm 90^\circ$ . Они имеют в своём составе датчик угла наклона, температурный датчик и датчик тока, что позволяет определять механические нагрузки и параметры режима работы ВЛ.

Однако данные системы обладают и рядом недостатков: математическая модель отслеживает процесс гололёдообразования без учёта упругих взаимодействий в проводе и без учёта перетяжки провода между соседними пролётами, а также не учитывает изменение геометрии ВЛ в зависимости от температуры провода.

Достоинствами инклинометрического метода является простота его аппаратной реализации и высокая надёжность работы устройств.

К недостаткам можно отнести: погрешность, связанную с неточностью определения угла наклона датчиком устройства контроля и с перетяжкой провода между соседними пролётами; сложность в обработке экспериментальных данных, о чём свидетельствует наличие свежих статей, посвящённых разработке моделей определения геометрии провода по углу наклона устройства контроля либо стреле провеса провода.

## Литература

1. Dynamic real time transmission line monitor and method of monitoring a transmission line using the same [Electronic resource]: US2018/0031611 A1 Appl. № 15/725,207 US; Oct. 4, 2017; Feb. 1, 2018. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/af/da/94/ee82b4708c2d87/US20180031611A1.pdf> (date of application: 23.12.2019).

2. Integrated Microsystems for Smart Applications / T. Otto [et al.] // Sensors and Materials. 2018. Vol. 30, No. 4. P. 767–778.

3. Ярославский Д.А. Система автоматизированного мониторинга гололедных отложений воздушных линий электропередач на основе инклинометрическометеорологического метода: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 135 с.

4. Application of an ice-alarm in the OTLM system [Electronic resource] / N. Gubeljak [et al.] // First South East European CIGRE conference. Portorož. 2016. URL: <http://c-g.si/wp-content/uploads/2018/06/Application-of-an-Ice-Alarm-in-the-OTLM-System.pdf> (date of application: 23.12.2019).

УДК 621.315.175

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИМ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДАМИ**

Нгуен Ван Ву

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

vu2307@gmail.com

Науч. рук. Садыков М.Ф.

На образование гололедных отложений оказывают влияние температура провода, влажность воздуха и скорость ветра. Гололедные отложения изменяют следующие прямые параметры воздушной линии: увеличивается механическое напряжение провода, увеличивается длина провода, увеличивается стрела провеса, увеличивается угол провеса в точке подвеса. Косвенными параметрами линии являются резонансные и нерезонансные колебания провода под действием ветра вследствие ухудшения аэродинамических характеристик.

Образование гололедно-изморозевых отложений на воздушной линии электропередачи вызывает сильную механическую нагрузку, которая влияет на тяжение, прогиб и структуру провода. Поэтому необходимо своевременно оценивать процесс образования гололедных отложений и инея. В данной статье представлен метод определения образования гололедных отложений на основе прогнозирования погоды и измерения наклона на основе измерения угла провеса провода ЛЭП.

**Ключевые слова:** ЛЭП, мониторинг воздушных линий, вращение провода, гололедно-изморозевые отложения, гололед.



Условия образования гололедно-изморозевых отложений рассмотрены в работах. Рост гололедно-изморозевых отложений происходит при следующих атмосферных явлениях: дождь, туман, морось, дымка. Обледенение проводов возникает в основном из частиц воды находящихся в атмосфере при температурах ниже 0 °С и влажности более 60 % (см. таблицу).

Процесс гололедообразования может происходить, как непрерывно до трех месяцев, так и несколько часов с временным прекращением роста льда. При длительном процессе гололедообразования масса погонного метра льда на проводах может достигать 20 кг/м и более [1, 2]. В особо опасных районах отложения мокрого снега могут происходить в течение одного часа.

#### Условия образования гололедно-изморозевых отложений

Погодные условия	Виды гололедно-изморозевых отложений				
	Гололед	Зернистая изморозь	Кристаллическая изморозь	Мокрый снег	Сложные отложения
Атмосферные явления	Туман, морось, дождь	Туман, морось	Дымка, туман	Налипающий мокрый снег	Туман, морось, крупа, мокрый снег

В таблице показано, для какого температурного диапазона характерен определенный вид гололедных отложений. Однако надо помнить, что гололед, возникнув при температурах чуть выше 0 °С, может долго сохраняться при более низких температурах.

При проектировании ВЛ в каждом конкретном районе по ветровому давлению следует подходить дифференцированно к выбору значения расчетной температуры воздуха и учитывать температуру воздуха, характерную для преобладающего вида отложения.

Из перечисленных параметров подлежат измерению стрела провиса, механическое напряжение провода, диаметр гололедных отложений, влажность и температура окружающей среды и скорость ветра. Далее рассмотрим методы, основанные на измерении вышеперечисленных параметров.

В дополнение к методу, основанному на метеорологии, мы можем использовать метод инклинометрии, чтобы определить состояния гололедно-изморозевых отложений на воздушной линии электропередачи.

Для определения угла наклона провода используются МЭМС-датчики измерения ускорения [3]. МЭМС-датчики представляют собой интегральную микросхему и не имеют движущихся частей, что обуславливает их высокую надежность и способность обеспечивать стабильные показания в достаточно суровых климатических условиях. Устройства контроля, использующие инклинометрический метод, устанавливаются непосредственно на проводе.

Усовершенствованный метод инклинометрии [4, 5] для определения механических нагрузок на воздушной линии электропередачи. Наиболее перспективным методом для определения механических нагрузок на провод/кабель является метод инклинометрии, основанный на измерении угла наклона различных объектов относительно гравитационного поля земли. В качестве метода проверки разрабатывается методика определения механических нагрузок на провод/кабель в зависимости от угла его поворота вокруг своей оси. В этом случае контрольное устройство следует устанавливать в непосредственной близости от точки подвеса провода/кабеля к гирлянде изоляторов на опоре анкера (например, в одном метре от точки подвеса провода/кабеля). Это возможно благодаря тому, что при растяжении провода /кабеля наблюдается его вращение вокруг своей оси, что позволяет получить дополнительную информацию и, следовательно, улучшить существующий метод инклинометрии для определения натяжения провода / кабеля от его угла наклона. Метеорологический метод, в дополнение к инклинометрическому, позволяет проводить верификацию показаний и предсказывать тип и скорость роста гололедной муфты.

## Литература

1. Гололедные нагрузки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.angar21.ru/karta-gololednih-nagruzok-rossii/> (дата обращения: 26.09.2019).
2. Ледниковый период закончился [Электронный ресурс]. URL: [https://www.te.ru/press\\_center/news/282/540/](https://www.te.ru/press_center/news/282/540/) (дата обращения: 26.09.2019).
3. OTLM SENSOR [Электронный ресурс]. URL: <https://www.otlm.eu/energy/otlm-device/> (дата обращения: 08.02.2019).
4. Goryachev M.P., Sadykov M.F., Yaroslavskiy D.A. Method for control the mechanical parameters of overhead power lines based on improved inclinometry // Power engineering: research, equipment, technology. 2019. № 21 (3). Pp. 160–171.

5. Ярославский Д.А. Система автоматизированного мониторинга гололедных отложений воздушных линий электропередач на основе инклинометрическометеорологического метода: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 135 с.

УДК 621.646.958:621.382

## **GAS LEAKAGE DETECTION AND EVACUATION SYSTEM**

Rahimi A.B.

KSPEU, Kazan

rahimiabdulbaset@gmail.com

Scientific Advisor Akhmetvaleeva L.V.

Methane gas is one of major sources of energy for cooking in Afghanistan. The gas is distributed by cylinders which are in various sizes and capacities. Over 100 cases of explosion which leads to fires, injuries and casualties among which most of them are due to gas leakage, in 21 century have been recorded worldwide and unfortunately Afghanistan is also among them [1]. This miserable trend persists mainly because residential houses in the country don't have gas leakage, or smoke detector systems. The simple safety approach for it could be to detect gas leakage and evacuate them before combust. In this study, a design of a gas leakage detector is presented. The proposed, microcontroller-based system, activates an alarm when a gas leak is detected, it shuts the gas supply and also evacuates the gas. To ensure it, the system sends a text via short message service (SMS) to a stored mobile number. The status of the system can be remotely determined by the user, by sending codes to prompt the device via SMS.

**Keywords:** Gas leakage detection, smart system, fire prevention, safety protection system, remote monitoring, SMS system prompt.

Smart systems Are systems that combine elements of sensing, actuation, and control for various analyses, and also for making appropriate decisions based on the available information, in a way that promotes versatility and adaptability of the system. A smart system should have a high degree of reliability, efficiency and sustainability with an intelligent operational management system [2].

A gas detection system employing an MQ-9 sensor was proposed by [3]. The study developed an embedded system that triggers a buzzer and a set of LEDs to alert residents in the event of a gas leakage situation. In another

place [4], an android based automatic gas detection and indication robot was developed. When gas leak is detected, the mobile robot instantly interprets the data and sends it to an android mobile phone via wireless Bluetooth communication.

Our system detects the gas leakage using MQ-2 gas sensor; its sensitive layer is made of SnO<sub>2</sub>. The conductivity of SnO<sub>2</sub> is low at normal conditions, (when the atmosphere is free from toxic gases). When the mass of target gases such as methane is felt in the atmosphere, the conductivity of SnO<sub>2</sub> increases, and this causes change in sensor's resistance. The related pulse is fed to the microcontroller. The sensor is fed from a 5V power supply. The resistance of the sensor works by equation 1 [5].

$$R_s = \frac{V_c}{V_{rl} - 1} R_l. \quad (1)$$

$R_s$  is the resistance of the sensor;  $V_c$  is the voltage supplied to the load cell;  $V_{rl}$  is the voltage developed across the load resistance;  $R_l$  is the resistance of the sensor.

A flash-based, fully static, CMOS, 8-bit microcontroller (PIC16F628A) is proposed as the brain to the system for controlling all processes. The microcontroller has a built-in ADC which is connected to the relay, GSM module, buzzer, and the exhaust fans. The SMS message to alert the house holder is facilitated through a SIM800L GSM module. The module requires 4.2V DC input supply voltage. LM7805 voltage regulator is utilized to regulate the 12V-DC that the power supply delivers to 5V DC. In this design, 4 pins of the SIM800L were used.

The PIC16F628A microcontroller will be programmed through "MP-Lab" software. Program will be build using "CSS C" compiler. Developed code will be plunge to the microcontroller using "PICFLSH" programmer software. When the gas sensor detects gas leakage, it sends a signal to the microprocessor; the microprocessor processes information and gives an output to each buzzer, fans, GSM module and relay which activates the gas valve. The operation of the gas detector device is explained by the flow chart in Figure 1 and the structural scheme in Figure 2.

This gas leakage detection and evacuation model device will provide numerous advantages over human dependency especially when children are involved. The automated gas detection and evacuation process can ensures safety by preventing gas producing house fires.

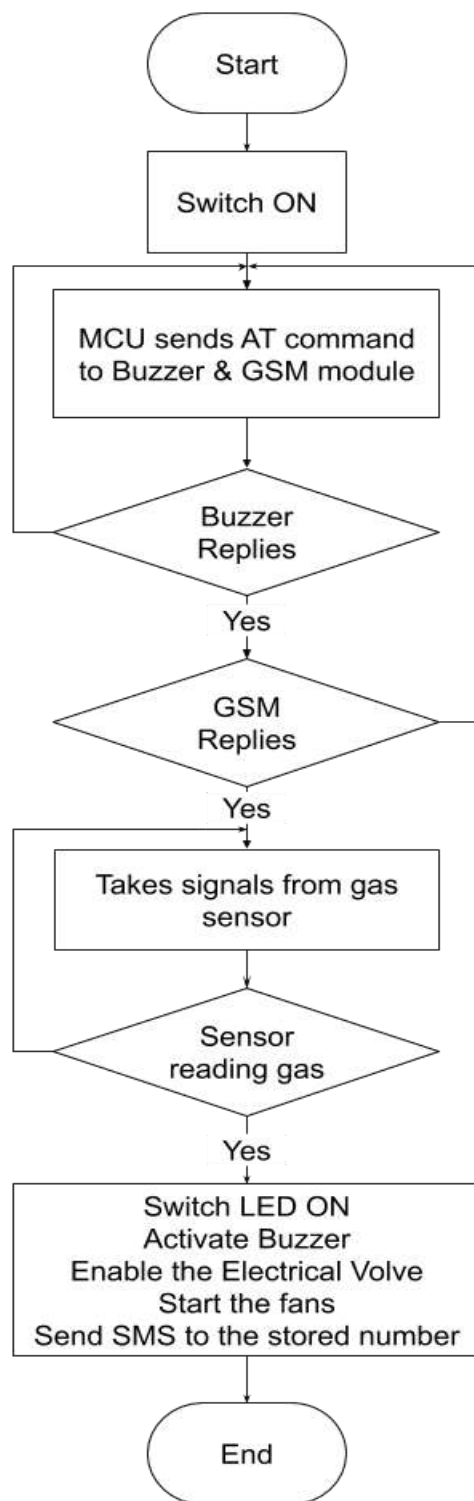


Fig. 1. A flow chart of the gas detector operation.

### Characteristics of an asynchronous electric drive

№	Mark	Model
1	CMOS	PIC16F628A
2	GSM MODULE	SIM800L

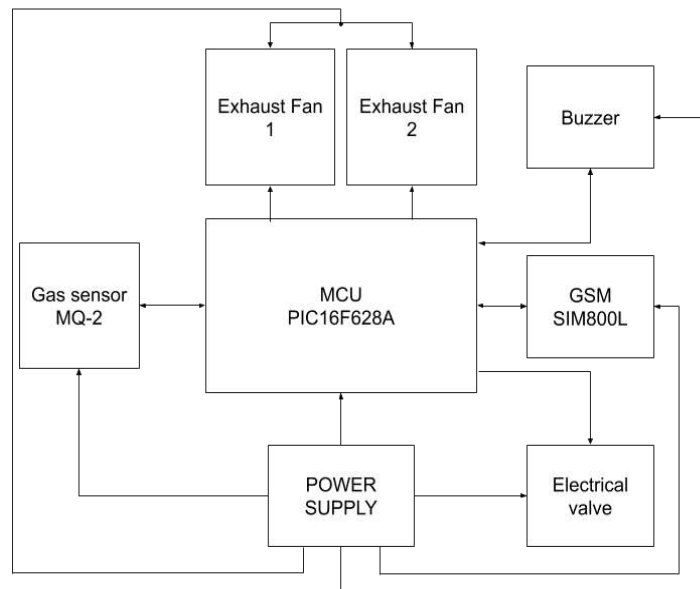


Fig. 2. structural scheme gas detector system

Safety is the cheapest option to prevent accidents and sudden disasters. Gas leakage caused fire is a danger that has occurred in different parts of the world [1]. This study presents the design of a model gas detection and evacuation system. After design and implementation, the device can accurately detected gas leakage, and prevent a potential fire. This smart device offers a number of safety benefits that are vital for early gas leakage detection, and response towards preventing gas leakage with lower budged in countries economically challenged like Afghanistan.

## References

1. List of explosions [Electronic resource]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_21st-century\\_explosions](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_21st-century_explosions) (date of application: 27.01.2020).
2. Akhras G. Smart Materials and Smart Systems for The Future // Canadian Military Journal. 2000. Vol. 1, No. 3. Pp. 25–31.
3. Falohun A., Oke A., and Abolaji B. Dangerous Gas Detection using an Integrated Circuit and MQ-9 // International Journal of Computer Applications. 2016. Vol. 135, No. 7. Pp. 30–34.
4. Sushma R. and Manohar R. An Android Based Automatic Gas Detection and Indication Robot // International Journal of Computer Engineering and Applications. 2014. Vol. 8, Is. 1. Pp. 55–59.
5. Rajitha S. and Swapna T. Security alert system using GSM for gas leakage // International Journal of VLSI and Embedded Systems-IJVES. 2012. Vol. 3, No. 4. Pp. 173–175.

6. Mujawar H., Bachuwar D., and Kasbe S. Design and development of LPG gas leakage detection and controlling system // Solapur University Research Journal. 2015. Vol. IV.

7. Carmela V. and Ana I. Smart gas detection system // Institute of Electrical and Electronics Engineering. 2017.

УДК 621-313.3

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СВЕРЛИЛЬНЫЙ СТАНОК С ТРАНСФОРМАТОРНЫМ БЛОКОМ ПИТАНИЯ

Сагдеев Р.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rsv@dr.com

Предложен вариант самодельного сверлильного станка, представляющего собой блок питания, состоящий из понижающего трансформатора, диодного моста, выпрямительного конденсатора и терминального блока, служащий для подключения двигателя с цанговым патроном. Изложены варианты обработки материалов с помощью данной конструкции, способы улучшения конструкции для дальнейшего более масштабного использования.

**Ключевые слова:** сверлильный станок, шлифование, двигатель, ДПР, электродвигатель, радиоэлектроника, стеклотекстолит, текстолит, трансформатор, обработка материалов, сверление, питание, постоянный ток, постоянное напряжение.

При самостоятельном изготовлении печатных плат методом ЛУТ (лазерно-утюжная технология) или методом фоторезиста необходим инструмент для формирования технологических отверстий, в которые устанавливаются выводы радиоэлементов (резисторы, конденсаторы, индуктивности и т. д.). Промышленные станки обладают высокой ценой, большими габаритами, мощностью, внушительным весом и высоким уровнем шума при работе. Прочность стеклотекстолита намного меньше металла, поэтому для его обработки не требуется мощность промышленного станка.

Создание самодельных конструкций зачастую является делом рук энтузиастов без поступления извне инвестиций на изготовление устройств. Станок дешевый, бесшумный, компактный, универсальный, обладает простой конструкцией. Он удобен для изготовления отверстий в печатных

платах. На валу двигателя установлен цанговый патрон, в который вставляются тонкие свёрла. Для изготовления отверстия можно использовать станок как в ручном режиме, так и использовать вертикальную возвратно-поступательную систему, которую можно собрать из DVD-приводов или использовать штангу от конструкции для проявки фотографии

Учитывая экономическое положение страны в течение истории и в современности, актуальность дешёвых, многоцелевых конструкций всегда будет иметь спрос на рынке и производстве [1].

Идея использования двигателей в качестве самодельных сверлильных станков является распространённым решением, однако зачастую для этого используются не предназначенные для этого моторы китайского производства со слабой обмоткой, подверженные перегоранию даже при небольших нагрузках.

Для манипуляций, связанных с обработкой материалов, двигатель устройства должен иметь запас по мощности и току, обладать высокой надёжностью. В качестве устройства сверления используется двигатель ДПР-42-Н1-03. Коллекторный электродвигатель постоянного тока с полым якорем ДПР-42-Н1-03 (см. таблицу) предназначен для применения в качестве силовых двигателей и для привода различных механизмов кратковременного, повторно-кратковременного и непрерывного действия в аппаратуре промышленной автоматики, телемеханики, радиоэлектроники. Выпускались по техническим условиям ОСТ160.515.007-74 [2]. Двигатели серии ДПР применялись в сервоприводах различных видах техники, где требуется безотказность работы аппаратуры (военная техника, самолёты). Расшифровка ДПР-42-Н1-03: ДПР – электродвигатель с полым ротором; 42 – номер габарита; Н1 – с креплением за наружную поверхность корпуса и одним выходным концом вала; 03 – исполнение по номинальным данным.

#### Технические характеристики двигателя ДПР-42-Н1-03

Напряжение питания, В	27
Номинальная мощность, Вт	2,3
Частота вращения, об/мин	4500
Номинальный вращающий момент, мН*м	4,9
Потребляемый ток, А	0,2
Гарантийная наработка, ч	2500
Масса, кг	0,15

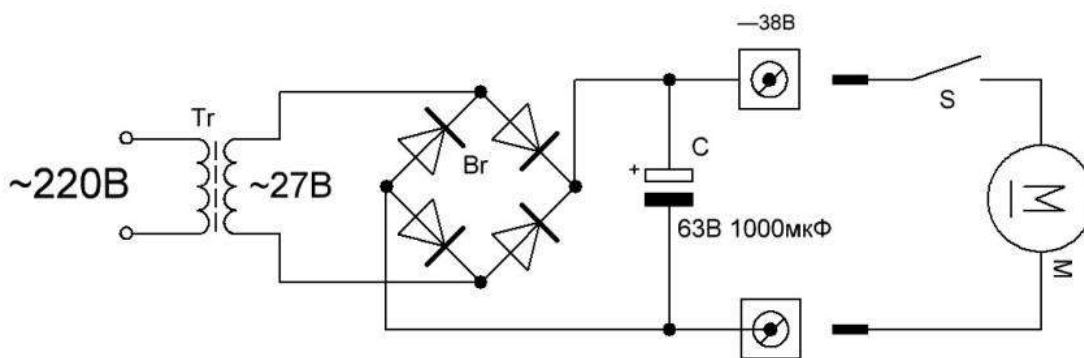


При конструировании различного рода самодельных конструкций электроники появляется надобность не только в сверлении технологических отверстий в печатных платах, но и различного рода шлифовальные работы небольшого размера заготовок из пластика, дерева, мягких металлов. С этой задачей станок также прекрасно справляется, ведь двигатель, который, обладая небольшими размерами, развивает высокие обороты и вращающий момент.

При тестировании самодельных печатных плат лучше использовать трансформаторный блок питания, нежели импульсный. Импульсные блоки питания в большинстве случаев создают основную электромагнитную пелену помех в полосе 1–100 МГц, которая неблагоприятно сказывается на тестировании радиоаппаратуры. Трансформаторный блок питания не создаёт характерные для импульсных блоков питания помех и шумов.

Возможность отсоединения двигателя от блока питания также является немаловажной характеристикой станка (см. рисунок). При отсутствии надобности сверления его можно использовать для питания других аппаратур, например усилителей звука низкой частоты, рассчитанных на диапазон напряжения постоянного тока 35–40 В, мощностью до 50 Вт.

Двигатель имеет запас на износ и высокие перегрузки, поэтому имеется возможность использовать повышенное напряжение. Режимы работы электродвигателя в данной конструкции кратковременный, повторно-кратковременный, продолжительный с невысокими нагрузками.



Принципиальная схема станка

Состав комплекса: понижающий трансформатор на 27 В, 50 Вт; диодный мост из четырёх диодов; электролитический конденсатор на 63 В, 1000 мкФ; терминальный блок двухвыводной; двигатель с цанговым патроном; комплект свёрл, насадок; корпус.

Перспективы использования конструкции в домашнем (радиолюбительском) и промышленном масштабах достаточно велики. При изготовлении корпуса на 3D-принтере, установке двигателя в вертикальные возвратно-поступательные системы (с ручной подачей или даже с управлением на Arduino) можно добиться ускорения действия системы в целом и добиться более безопасной конструкторского исполнения и всё той же дешевизны конструкции при многообразии возможностей использования.

## Литература

1. Зайцев Г.Н., Федюкин В.К., Атрошенко С.А. История техники и технологий: учеб. для вузов. СПб.: Политехника, 2007. 415 с.
2. Электроника и связь [Электронный ресурс]. URL: <https://eandc.ru/catalog/detail.php?ID=18580> (дата обращения: 26.09.2019).

УДК 621.317.321

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Сафин И.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

hol-persid@yandex.ru

Науч. рук. Ахметвалеева Л.В.

Дано описание структуры, характеристик, режимов работы встроенного в микроконтроллер модуля аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Рассмотрено устройство обработки аналогового сигнала на базе микроконтроллера с выводом результата измерения и вычисления.

**Ключевые слова:** аналоговый сигнал, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, встроенный периферийный модуль, измерение аналогового сигнала.

Микроконтроллер – это микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами, сочетающая на одном кристалле функции процессора и периферийных устройств (в частности АЦП), содержит оперативное и постоянное запоминающие устройства [1].

На данный момент почти все современные микроконтроллеры имеют встроенный многоканальный модуль АЦП. Многоканальность означает, что на входе модуля АЦП установлен мультиплексор. Сам АЦП представляет собой преобразователь последовательного приближения с устройством выборки-хранения и фиксированным числом тактов преобразования. Тактовая частота формируется аналогично тому, как это делается для таймеров. Разрешающая способность АЦП от 8 до 12 двоичных разрядов. Абсолютная погрешность не превышает  $\pm 2$  младших разрядов. АЦП может работать в двух режимах: одиночного и непрерывного преобразования [2].

В режиме одиночного преобразования каждое преобразование должно быть инициировано. Когда это сделано, результат помещается в пару регистров данных АЦП, и новое преобразование не запускается. В режиме непрерывного преобразования преобразование запускается только один раз, а затем АЦП автоматически запускает следующее преобразование, как только завершится предыдущее. Особый режим дифференциального преобразования измеряет разницу напряжения между двумя сигналами. Это используется для измерения слабого сигнала с большим смещением [3].

Аналого-цифровое преобразование не является мгновенным, оно занимает некоторое время. Это время зависит от тактового сигнала, используемого АЦП. Время преобразования пропорционально частоте тактового сигнала АЦП.

Для исследования режимов работы АЦП на микроконтроллере нами было разработано устройство на базе встроенного периферийного аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера AVR Atmega128. Измеряемое напряжение и результаты вычислений отображаются на жидкокристаллическом дисплее. Микроконтроллер тактируется от внешнего кварцевого резонатора частотой 12 МГц. В качестве опорного напряжения выбран внутренний источник опорного напряжения. Также используется подстроечный резистор для регулировки номинального уровня напряжения. Для обеспечения работоспособности этого устройства разработана управляющая программа. Алгоритм программы учитывает делитель напряжения, вычисляет связующие коэффициенты. В подпрограмме обработчика прерываний от АЦП результат преобразования перемножается на соответствующий коэффициент и вычисляется величина напряжения подаваемого на вход делителя. После настройки регистров АЦП и таймера глобально разрешаются прерывания, далее вычисляется средний показатель результата преобразования и данные выводятся на дисплей.

Созданная модель в дальнейшем может быть использована в качестве устройства для выполнения лабораторных работ по исследованию характеристик аналогового сигнала.

## Литература

1. Шалыгин М.Г., Вавилин Я.А. Автоматизация измерений, контроля и испытаний: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2019. 172 с.
2. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М.: Додэка-XXI, 2007. 360 с.
3. Analog to Digital Converter Operating Modes – Developer Help [Электронный ресурс]. URL: <https://microchipdeveloper.com/8avr:adcormodes> (дата обращения: 23.01.2020).

УДК 620.179.1:539.17.013

## ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_4$ , ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ $\text{Cu}^{2+}$

Сиразиева Г.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[sirazieva.guzel@mail.ru](mailto:sirazieva.guzel@mail.ru)

Науч. рук. Уланов В.А.

Методом ЭПР выполнено исследование неравномерного распределения щелочноземельных ионов и деформаций кристалла-матрицы в ближайшем окружении зондовых парамагнитных ионов  $\text{Cu}^{2+}$  в смешанных кристаллах  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_4$ . Показано, что с понижением параметра состава  $x$  усиливается деформирующее влияние восьмикратно координированных ионов  $\text{Cu}^{2+}$  на кристаллическую решетку  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_4$ , что наблюдается в виде изменения симметрии магнитных характеристик смешанного кристалла (от орторомбической симметрии для  $x > 0,3$  до тетрагональной – для  $x < 0,3$ ).

**Ключевые слова:** метод ЭПР, ян-теллеровский ион, смешанный кристалл, параметр состава, деформация решетки.

В настоящее время список кристаллических материалов, используемых в приборах электроники и наноэлектроники, расширяется не только вследствие поиска новых химических веществ, но и за счет получения смесей уже известных соединений. Ожидалось, что путем изменения параметра состава смешанного соединения  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_4$  можно получить материал с совершенно новыми свойствами.

В данной работе проведено исследование характера распределения примесей и прочих дефектов в смешанных кристаллах  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_4$ . Исследование выполнено методом парамагнитного зонда. В качестве зонда, наиболее чувствительного к искажениям структуры, использован парамагнитный примесный ион  $\text{Cu}^{2+}$ . Внедряясь в позиции катионов  $\text{Ca}^{2+}$  или  $\text{Sr}^{2+}$ , ион  $\text{Cu}^{2+}$  образует восьмикординированный парамагнитный комплекс. В несмешанных кристаллах  $\text{CaF}_2$  и  $\text{SrF}_2$  координационным многогранником иона  $\text{Cu}^{2+}$  оказывается правильный куб. В результате этот ион оказывается в триплетно вырожденном орбитальном состоянии (т.е., оказывается ян-теллеровским ионом). Исследования ян-теллеровских восьмикратно координированных комплексов двухвалентной меди в кристаллах структурного ряда флюорита методом ЭПР [1–3] показали, что их молекулярное строение и симметрия магнитных свойств в значительной степени зависят от размеров координационных кубов щелочно-земельных ионов, замещаемых в решетках этих кристаллов примесным ионом. Оказалось, что кардинальные изменения в молекулярной структуре и магнитных свойствах примесных комплексов меди в кристаллах структурного ряда флюорита происходят в сравнительно узкой области значений межионных расстояний — от значений, соответствующих кристаллу  $\text{CaF}_2$ , до значений, характерных для  $\text{SrF}_2$ . Именно этот факт оказывается причиной высокой чувствительности парамагнитных комплексов  $[\text{CuF}_8]^{2-}(\text{O}_h)$  к структурным деформациям.

Кристаллы переменного состава  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  выращивались методом Чохральского в атмосфере гелия с небольшим добавлением фтора (2% от общего объема газа). Структура и магнитные свойства примесных комплексов меди в смешанных кристаллах  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  изучались методом ЭПР на частотах 9.3 и 37 GHz при температурах 4.2–270K. Оказалось, что в зависимости от параметра состава  $x$ , спектры ЭПР сильно менялись. В частности, в кристаллах  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  ( $x=0.5$ ) были обнаружены спектры ЭПР, в которых форма линий сильно отличалась от того, что наблюдалось в кристаллах  $\text{CaF}_2:\text{Cu}^{2+}$ . Но симметрия магнитных свойств оставалась орторомбической для всех  $x > 0,3$ . Отличия в спектрах ЭПР комплексов меди, обнаруженные в  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  ( $x = 0,5$ ) и  $\text{CaF}_2:\text{Cu}$  состояли в следующем:

- 1) ширины линий ЭПР при температуре 4,2 К у первых оказались приблизительно в 3–4 раза шире;

- 2) спектры ЭПР в первом случае наблюдались вплоть до температур  $T = 150$  К, в то время как в  $\text{CaF}_2:\text{Cu}$  линии спектров обнаруживались лишь при значительно более низкой температуре ( $T \leq 35$  К);

3) в смешанных кристаллах незначительно изменились параметры лигандного взаимодействия, что указывает на небольшие изменения межионных расстояний в парамагнитных комплексах из-за деформации координационного многогранника иона-комплексобразователя.

Анализ температурной зависимости интегральной интенсивности спектров ЭПР кристаллов  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  ( $x = 0,05$ ) свидетельствовал о том, что здесь имеются как минимум два типа парамагнитных комплексов: «низкотемпературные» (спектры ЭПР наблюдаются при  $T \leq 35$  К) и «высокотемпературные» ( $T \leq 150$  К). Выяснилось также, что с уменьшением параметра состава  $x$  количество высокотемпературных комплексов растет за счет уменьшения количества низкотемпературных. Следует подчеркнуть, что в спектрах ЭПР всех типов ромбических комплексов двухвалентной меди отчетливо наблюдалось ЛСТВ с четырьмя эквивалентными ядрами  $^{19}\text{F}$ , лежащими в одной из плоскостей (110). Поэтому был сделан вывод, что состав этих комплексов во всех изученных кристаллах с различным содержанием примесных ионов ШЗМ примерно одинаков.

Факты, изложенные выше, свидетельствуют о сильных деформациях координационного куба ионов  $\text{Cu}^{2+}$ . Анализ температурной зависимости интегральной интенсивности спектров ЭПР кристаллов  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  ( $x = 0,5$ ) показал, что в ближайшей катионной сфере примесных ионов в среднем половина катионов соответствуют  $\text{Ca}^{2+}$ , другая половина –  $\text{Sr}^{2+}$ .

С понижением параметра  $x$  до величин меньших чем 0,3 ситуация резко меняется. Например, в при  $x = 0,25$  в кристаллах  $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_2:\text{Cu}$  наблюдались спектры парамагнитных центров тетрагональной симметрии. При этом искажения симметрии координационного куба ионов меди здесь оказались существенно более значительными.

## Заключение

Результаты данного исследования показывают, что в кристаллах исследуемого типа метод ЭПР является высокоинформативным методом изучения структурных деформаций в сплавах изоморфных кристаллов, содержащих в своем объеме ян-теллеровские примесные ионы. Очевидно, что более детальное изучение суперсверхтонкой структуры в спектрах ЭПР рассмотренных выше парамагнитных зондов (которое нами планируется в будущем) может представить подробную информацию не только о параметрах магнитных взаимодействий, но и количественную информацию о межионных расстояниях.

## Литература

1. Фазлижанов И.И., Уланов В.А., Зарипов М.М. Локальная структура центров двухвалентной меди в кристалле SrF<sub>2</sub>: исследование методом ДЭЯР // ФТТ. 2001. Т. 43, вып. 6. С. 1018–1024.
2. Hoffmann S.K., Ulanov V.A. Off-centre dynamic Jahn-Teller effect studied by electron spin relaxation of Cu<sup>2+</sup> ions in SrF<sub>2</sub> crystal // J.Phys.: Condens.Matter. 2000. Vol. 12, No. 8. Pp. 1855–1866.
3. Effects of hydrostatic pressure and temperature on EPR spectrum of the off-centre Jahn-Teller [CuF<sub>4</sub>F<sub>4</sub>]<sup>6-</sup> complexes in SrF<sub>2</sub> crystal / V.A. Ulanov [et al.] // J. Phys.: Condens. Matter. 2003. Vol. 15, No. 7. Pp. 1081–1096.

УДК 621-313.3

## РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ-РАДИО

Скобцов А.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

skob97@yandex.ru

Науч. рук. Голенищев-Кутузов А.В.

На данный момент в наше время уходит простое радио в следствие такого, что качество музыки, звука желает лучшего из-за коротковолновых радиопередач и малый диапазон обслуживания радиовещательных систем с амплитудной модуляцией и частотной модуляцией.

Чтобы улучшить качество вещания и звука надо перейти к цифровой передаче, которая эффективнее использует частотный спектр, а также гибкость пропускной способности. Потребителю откроется большой выбор предлагаемых на рынке устройств и программного обеспечения.

**Ключевые слова:** радио, частота, цифровой.

Интернет-радио – понятие обширное. Это может быть как программа на веб странице, так и станция. В данном случае это будет радиоприемник на базе микроконтроллера с Wi-Fi модулем, который имеет большой спектр возможностей по обработке сигналов, и характеризуется высокой мощностью и малым энергопотреблением. Данная разработка предполагает хранить до 255 станций вещаний, которые можно прослушивать при наличии рядом Wi-Fi сигнала, а также возможность их заменить на ваш вкус. Разработка разбивается на несколько блоков.

Первоначальный и главный блок – это цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). В микроконтроллерах обычно они уже идут встроенные, но в нашем варианте будет установлен отдельный модуль ЦАП для того, чтобы на выходе звук был чище. Вторым этапом становится подбор и расчет усилителя сигнала на динамики. Для управления приемником нам понадобится декодер и дисплей. В общем, наша разработка состоит из набора таких блоков, как микроконтроллер с модулем Wi-Fi, декодера, цифро-аналогового преобразователя, усилителя, дисплея и кнопок.

## Литература

1. Васильев В.А Приемники начинающего радиолюбителя. М.: Радио и связь, 1984. 80 с.
2. Ратхор Т.С. Цифровые измерения. Методы и схемотехника. М.: Техносфера, 2004. 376 с.
3. Джереми Блум. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства. СПб: БХВ-Петербург, 2015. 336 с.
4. Описание микроконтроллера Esp32 [Электронный ресурс]. URL: <http://micpic.ru/home/proekty-na-esp32/194-opisanie-mikrokontrollera-esp32> (дата обращения:25.02.2020).

УДК 621.314.58

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО БЛОКА ПИТАНИЯ НА IR2153

Сморозин К.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

kerik\_smorodinka@mail.ru

Науч. рук. Потапов А.А.

Рассчитан и спроектирован импульсный блок питания, построенный по полумостовой схеме. Она выбрана из условия оптимальности между мостовой, которая дороже и сложнее в проектировании, и push-pull, не позволяющая добиться нужных нам характеристик.

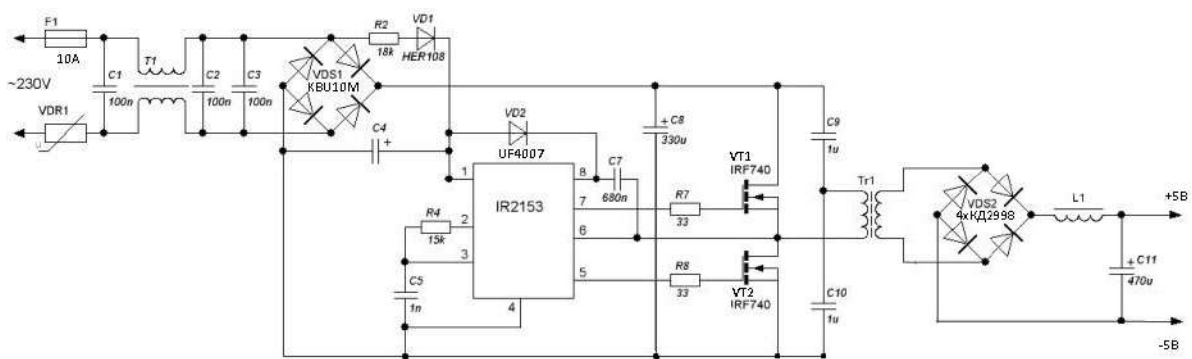
**Ключевые слова:** импульсный БП, полу-мост, ШИМ-контроллер, драйвер.



В современном мире для работы многочисленных электронных устройств применяются импульсные блоки питания (ИБП), постепенно вытесняющие линейные, поскольку они обладают более высокими показателями эффективности. В зависимости от требований к качеству питания электронного устройства, подбирают готовые или проектируют новые решения. Поскольку направление электроники в области преобразовательных устройств очень перспективно и быстро развивается, со временем появляются всё более совершенные конструктивные решения.

Для решения нашей задачи был необходим блок питания (БП) для мощного нагревательного элемента в виде нихромовой спирали. Требовалось наличие блока питания с напряжением 5 В и током 30 А. Среди готовых решений не было найдено подходящих устройств, поэтому было необходимо спроектировать собственный ИБП. Для начала следовало определиться с топологией. Топологию преобразователей можно разделить на категории: пуш-пул, полумост и полный мост, а также обратногоходовой и прямоходовой преобразователь [1]. Была выбрана полумостовая топология, потому что однотактные преобразователи не способны обеспечить требуемую нам мощность, тогда как полный мост имеет избыточную номинальную мощность и дороговизну компонентов, а push-pull отличается более сложной реализацией импульсного трансформатора и настройкой системы управления транзисторами.

Построение полу-мостовой схемы мы реализовали на драйвере IR2153 компании International Rectifier, так как этот драйвер имеет низкую стоимость, прост в управлении и имеет возможность дальнейшей модернизации БП. Микросхема является драйвером управления полевыми и IGBT транзисторами полумоста, и позволяет создать простой импульсный БП. Электрическая схема спроектированного ИБП представлена на рисунке.



Электрическая схема спроектированного ИБП

Характеристики микросхемы [2]:

- пиковый выходной ток  $I_{\text{ВЫХ}} = 400$  мА;
- ток потребления  $I_{\text{CC}}(I_{\text{ПОТ}}) = 25$  мА;
- максимальная рассеиваемая мощность  $P_D = 1$  Вт;
- время нарастания  $t_r = 80$  нс и спада  $t_f = 45$  нс
- минимальная  $t_{\text{min}} = -40$  °С и максимальная  $t_{\text{max}} = 125$  °С рабочие температуры.

Принцип работы импульсного блока питания (см. рисунок) основан на последовательном преобразовании напряжения, поступающего из сети 220В с частотой 50 Гц. С помощью диодного моста  $VDS1$  и фильтра  $C8$  оно преобразуется в близкое к постоянному напряжению, после чего поступает на силовые транзисторы  $VT1$  и  $VT2$ , выполняющих функцию ключа, где преобразуется в переменное прямоугольной формы с частотой 47 кГц. Далее полученное напряжение поступает на обмотки импульсного трансформатора и изменяется по величине до нужного значения. Подключив к вторичной обмотке трансформатора выпрямитель  $VDS2$  в совокупности с фильтром  $C11$  и  $L1$ , мы получаем на выходе постоянное напряжение. Поскольку частота сгенерированного напряжения составляет десятки килогерц, габаритные размеры трансформатора, фильтрующих элементов и всей схемы БП в целом являются сравнительно небольшими.

В начале был проведён расчёт и изготовление трансформатора. Заранее подобрав частоту работы преобразователя равную 47 кГц, для простоты расчёта воспользовались специализированной программой Lite-CalcIT, предназначенное для расчёта импульсных двухтактных трансформаторов – push-pull, мостовых и полумостовых преобразователей [3].

После проведенных расчетов и построения электрической схемы мы приступили к проектированию печатной платы для правильного размещения всех компонентов. Для этого воспользовались известным ПО – Sprint-Layout.

В результате сборки и тестирования данного импульсного БП под управлением ШИМ-контроллера IR2153 оказалось, что собранная нами схема вполне работоспособна и справляется с поставленной задачей. При наличии активного охлаждения в процессе работы микросхема и транзисторы не превышали критическую для них температуру, что указывает на правильность расчета компонентов и подбора нагрузки.

Плюсами данного импульсного источника питания на микросхеме IR2153 являются: простота схемы, небольшие габаритные размеры, высокий КПД по сравнению с линейным блоком питания, умеренное тепловыделение, небольшое количество компонентов, не требует дополнительной настройки после сборки, невысокая стоимость по сравнению с мостовой схемой.

Для расширения функционала данного БП и возможности его применения в сложных и требовательных к качеству питания устройств, планируется провести следующие конструктивные улучшения: добавить на входе БП корректор коэффициента мощности, обратную связь по току или напряжению для более точного контроля за выходными параметрами под нагрузкой, защиту от короткого замыкания, схему софт-старта для ограничения бросков тока при зарядке конденсаторов во время включения БП в сеть.

### Литература

1. Импульсные блоки питания: принципы работы [Электронный ресурс]. URL: <https://electrikblog.ru/impulsnyye-bloki-pitaniya-printsipy-raboty-dlya-novichkov/> (дата обращения: 03.03.2020).
2. Self-Oscillating Half-Bridge Driver [Электронный ресурс]. URL: <https://www.infineon.com/dgdl/ir2153.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c8c5fc16af> (дата обращения: 03.03.2020).
3. ПО «Lite-CalcIT» [Электронный ресурс]. URL: <https://сhem.net/software/lite-calcit.php> (дата обращения: 03.03.2020).

УДК 621.31

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ ДОСТИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В КОНТУРЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Тухватуллин И.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ildar1085@mail.ru  
Науч. рук. Орехов В.В.

Установлено, что электромагнитная совместимость в частотно-регулируемом электроприводе является двуединой задачей, объединяющей электромагнитную совместимость преобразователя частоты с сетью электропитания и с управляемым электродвигателем, при этом вторая составляющая задача довольно часто недооцениваются.

**Ключевые слова:** энергоэффективность и энергосбережение, частотно-регулируемый электропривод, асинхронный двигатель.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в список первоочередных направлений развития науки, технологий и техники РФ. Вопрос энергоэффективности и энергосбережения в этой области важен и практически значим. Одним из основных направлений решения данного вопроса является переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому на основе использования алгоритмов частотного регулирования управляемым электродвигателем [1, 2].

Целью данной работы является разработка обследования ЭМС во всем силовом контуре преобразования электрической энергии частотно – регулируемого электропривода.

В настоящее время частотно-регулируемый электропривод находит, прежде всего применение в электроэнергетике, на транспорте, коммунальном хозяйстве, добывающей и перерабатывающей промышленности, а также в специальной технике. В таких электроприводах для управления режимами работы управляемых асинхронных двигателей (АД), в том числе и для снижения их энергопотребления, крупнейшие мировые производители электротехнического оборудования в качестве силовых полупроводниковых преобразователей предлагают специализированные устройства – преобразователи частоты (ПЧ) (см. рисунок).



Частотные преобразователи для асинхронных двигателей

Преимущественное распространение в промышленности и бытовой технике получил регулируемый электропривод на базе двухзвенных полупроводниковых ПЧ, силовая часть которых состоит из выпрямителя (управляемого или неуправляемого) и автономного инвертора. Такие устройства преобразуют электроэнергию питающей сети в электроэнергию с требуемыми значениями напряжения, тока и частоты в два этапа. На первом этапе с помощью выпрямителя создается преобразование тока и напряжения сети с частотой 50 Гц в постоянные ток и напряжение. На втором этапе постоянные ток и напряжение преобразуются автономным инвертором напряжения (АИН) на IGBT-транзисторах с высокочастотным (до 20 кГц) широтно-импульсным управлением

(ШИМ) выходным напряжением в переменные, но уже с новыми, требуемыми для обеспечения желаемого режима работы электродвигателя значениями тока, напряжения и частоты. Управляемый электродвигатель связан с сетью электропитания через два звена и происходит двукратное преобразование электроэнергии.

Использование [3] регулируемого электропривода турбо механизмов с таким преобразователем частот позволяет выполнить новую энергосберегающую технологию, в которой экономится не только электроэнергия (до 50 %), но и сберегается тепловая энергия и снижается расход воды.

Тем не менее, наряду с достоинствами частотно-регулируемый электропривод обладает значительным недостатком, обусловленным тем, что из-за особенностей построения частотного преобразователя его выпрямитель потребляет несинусоидальный ток, загрязняющий сеть электроснабжения высшими гармониками (5, 7, 11 гармоника и т. д.).

Несинусоидальные токи преобразователей частоты неминуемо приводят к образованию несинусоидального напряжения в электрической цепи, питающей преобразователь. Следствием этого являются возможные нарушения в работе устройств, получающих питание от тех же шин, что и преобразователь частоты. Эти нарушения определяются степенью несинусоидальности напряжения и в той или другой степени касаются большинства электротехнических устройств.

Вместе с этим при работе АД от преобразователя с ШИМ выходным напряжением снижается его мощность на 10–25 %, момент на валу – до 20 %, увеличивается температура корпуса, возрастают диэлектрические и добавочные потери [4]. ШИМ-инвертор преобразователя частоты генерирует широкий спектр высших гармоник с частотой 150 кГц – 30 МГц. Кроме того, методы ШИМ-управления, оказав благотворное влияние на выходной ток АИН и приблизив его к синусоиде, одновременно превратили ранее «безболезненную» для двигателя прямоугольную форму выходного напряжения в серию прямоугольных импульсов, следующих с высокой частотой и имеющих передний фронт высокой крутизны, приводящих к появлению значительных перенапряжений на зажимах двигателя (до 1000 В) при номинальном напряжении 400 В. В результате этих процессов срок службы изоляции АД сократился до 3–4 лет [5]. Этот факт в течение длительного времени «не афишировался» потребителю так как влияние высокочастотной ШИМ-модуляции напряжения на изоляцию двигателя имело временной характер, т. е. снижался срок службы двигателя, а пробой наблюдался не сразу, а через 3–5 лет эксплуатации.

Таким образом, каждый работающий двухзвенный ПЧ представляет собой источник кондуктивных и индуктивных электромагнитных помех. В результате экономия на электроэнергии выливается в повышенную аварийность оборудования и может привести к еще большим неподвижным финансовым тратам. Указанные обстоятельства обусловили возникновение актуальной и практически значимой двуединой задачи электромагнитной совместимости (ЭМС) в контуре преобразования электроэнергии, объединяющей в себе электромагнитную совместимость ПЧ как с системой электропитания (СЭП), так и с управляемым АД

Поэтому при внедрении того или иного ПЧ в электроприводе особое внимание следует уделить его электромагнитной совместимости, что особенно актуально для отечественного потребителя, выполняющего модернизацию нерегулируемого электропривода с применением ПЧ в основном производства западных фирм и в подавляющем большинстве случаев не имеющего возможности замены серийного электродвигателя на специальный IGBT-совместимый.

Недостатком существующих по этой тематике разработок является акцентирование внимания в основном на ЭМС ПЧ с сетью электропитания.

В общем случае ЭМС ПЧ представляет собой актуальную а так же непростую по своему содержанию научно-техническую задачу, по решению которой в настоящее время ведется активная работа.

Достигнута относительно низкая стоимость многофункционального измерительного комплекса для обследования электромагнитной совместимости и возможность его реализации и перестройки под любые электроприводы в условиях пользователя. Если учесть ограниченные возможности обследования электромагнитной совместимости в высокочастотной части контура преобразования электроэнергии с управляемым двигателем, что приводит к уменьшению потенциала энергосбережения средствами частотно-регулируемого электропривода до 10–15% и сокращению срока службы стандартных двигателей до 3–4 лет, то экономическая эффективность внедрения разработанного измерительного комплекса не вызывает сомнения.

Результатом достижения эффективной ЭМС станет сокращение случаев необоснованного и некорректного выбора дорогостоящего оборудования – преобразователей частоты управляемого электропривода и снижение негативных последствий их воздействия на приводной двигатель.

## Литература

1. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. М.: Академия, 2008. 208 с.
2. Электропривод и автоматизация промышленных установок как средство энергосбережения / Авербах И.А. [и др.]. Екатеринбург: УПИ, 2002. 26 с.
3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.
4. Казаков Ю.Б., Шумин А.А., Андреев В.А. Зависимость потерь в асинхронных двигателях от параметров широтно-импульсного регулирования напряжения // Вестник ИГЭУ. 2007. № 3. С. 1–4.

УДК 621.31

### АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ

Тухватуллин И.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
ildar1085@mail.ru  
Науч. рук. Орехов В.В.

Показано, что решение задачи энергосбережения средствами частотно-регулируемого электропривода без учета электромагнитной совместимости его составных частей приводит к повышенным энергетическим затратам, выливается в повышенную аварийность оборудования и может привести к еще большим финансовым тратам.

**Ключевые слова:** частотно-регулируемый электропривод, аппаратно-программный измерительный комплекс, электромагнитная совместимость.

Задача обследования контура преобразования электрической энергии частотно-регулируемого электропривода, устанавливающего эффективность энергоиспользования, определения показателей качества электроэнергии и помехообразующих свойств потребителей электроэнергии является технически сложной, так как обследуемые процессы характеризуются большим количеством показателей и норм. Процессы в электрооборудовании быстропротекающие, а значения большинства

показателей эффективности энергоиспользования, показателей качества электроэнергии и помехообразующих свойств потребителей электроэнергии не могут быть получены прямым измерением, их необходимо рассчитывать по результатам прямых измерений. Необходимо выполнить большой объем измерений с высокой точностью и одновременной математической и статистической обработкой результатов измерения значений параметров [1].

Для решения подобных задач можно использовать технологию создания виртуальных измерительных приборов, позволяющие создать измерительную систему, состоящую из персонального компьютера оснащенного программой разработки виртуальных измерительных приборов, блока согласования и измерения на основе устройств сбора данных не вносящих значительные амплитудные и фазовые искажения в исследуемые напряжения и токи в широком частотном диапазоне.

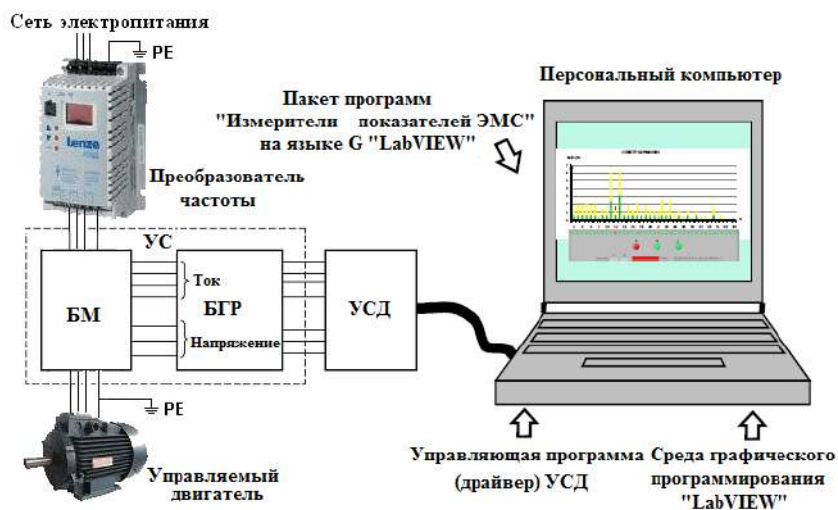
Структурная схема аппаратно-программного измерительного комплекса (см. рисунок) для обследования электромагнитной совместимости в контуре преобразования электрической энергии частотно-регулируемого электропривода должна иметь каналы измерения напряжения, каналы для измерения тока и содержать в себе следующие блоки:

- персональный компьютер (ПК), оснащенный прикладной программой графического программирования наборов виртуальных приборов, выполняющих функции измерения, обработки соответствующего параметра электрической сети и индикации результатов;
- устройство сбора данных (УСД), оснащенное соответствующим программным обеспечением – драйвером;
- блок гальванической развязки (БГР);
- блок элементов масштабирования (МБ).

Блок гальванической развязки и блок элементов масштабирования образуют устройство согласования (сопряжения) (УС) электроанализатора с обследуемой электрической сетью. Структурная схема такого аппаратно-программного измерительного комплекса приведена на рисунке.

Необходимость в устройстве сопряжения обусловлена следующими обстоятельствами. Для передачи измеренного аналогового сигнала в персональный компьютер и обработки его прикладными программными средствами необходимо выполнить его преобразование в дискретный сигнал (оцифровку). Это действие осуществляется с помощью аналого-цифровых преобразователей. Получение данных для обработки их в персональном компьютере производится по схеме, в которой периферийное устройство подключается к компьютеру через устройство сопряжения.





Структурная схема аппаратно-программного измерительного комплекса для обследования электромагнитной совместимости

Кроме того, при построении измерительных систем цифровой обработки сигналов для сбора и обработки данных, контроля и управления, особенно связанных с функционированиями в производственных условиях, приходится сталкиваться с необходимостью обеспечения гальванической развязки измерительных цепей, цепей ввода/вывода данных, с одной стороны, и цепей исследуемой электрической сети, с другой. При этом гальваническая развязка (изоляция) в цепях аналоговых сигналов используется в основном для решения следующих задач:

- измерения напряжений и токов с устройств масштабирования находящихся под значительным напряжением относительно земли;
- исключения влияния паразитных связей через общую с другими устройствами земляную шину и токов утечки от других устройств на чувствительные измерительные цепи;
- защиты человека и приборов от опасных воздействий напряжений и токов.

Совокупность устройств масштабирования и гальванической изоляции образуют блок согласования аппаратно-программного измерительного комплекса с обследуемой электрической сетью. Блок согласования может быть разработан различными способами. Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. При выборе наиболее рационального способа согласования следует в первую очередь руководствоваться следующим:

- устройство согласования должно обеспечивать требуемую частотную полосу пропускания (предполагаемая полоса пропускания до 40-й гармоники напряжения сети);

– линейность в полосе пропускания (преобразовывать ток и напряжение с точностью до 0,1 % в широком частотном диапазоне – 0...500 кГц);

– сравнительно небольшие габаритные размеры компонентов, реализующих развязку.

Это предполагает проведение анализа возможных способов построения устройств согласования и выбор рационального.

Традиционные средства гальванической развязки (трансформаторная и оптоэлектронная) вносят значительные амплитудные и фазовые искажения в исследуемый сигнал на высоких частотах, либо сложны и недостаточно надежны.

Виртуальную измерительную систему с требуемыми метрологическими характеристиками можно собрать из различных аппаратных и программных компонент. При внесении изменений в системы, как правило, можно повторно использовать одни и те же компоненты виртуальных приборов, не приобретая дополнительные технические средства и программное обеспечение.

Процесс создания виртуального аппаратно-программного измерительного комплекса для обследования ЭМС имеет в своем составе две части: первая из них – аппаратная, представляет собой техническую разработку устройства сопряжения компьютера с обследуемым электроприводом; вторая часть – программная, включает в себя разработку программ виртуальных измерительных приборов [2, 3].

Итак, для решения задачи электромагнитной совместимости в частотно-регулируемом электроприводе необходимо в первую очередь выполнить большой объем измерений с высокой точностью и одновременной математической и статической обработкой результатов измерения, позволяющих производить глубокий анализ сложных процессов возникновения электромагнитных помех с целью определения эффективных средств, обеспечивающих электромагнитную совместимость контура преобразования электроэнергии, что является в большинстве случаев достаточно сложным и трудоемким процессом и нереализуемым с использованием традиционных специализированных приборов контроля качества электроэнергии, область применения которых ограничена значениями частоты напряжения сети электропитания. Это обуславливает необходимость разработки многофункционального измерительного комплекса для обследования электромагнитной совместимости во всем контуре преобразования электрической энергии частотно- регулируемого электропривода.

## Литература

1. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты // Фундаментальные исследования. 2016. № 4. С. 112–117.

2. ГОСТ Р 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

3. Суранов, А.Я. LabVIEW 7.0: Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2005. 512 с.

УДК 621.311.04

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И МЕТОДЫ ИХ РЕГИСТРАЦИИ

Фасахова А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alija.fasahova@mail.ru

Науч. рук. Голенищев-Кутузов А.В.

Безопасность эксплуатации энергетических систем ключевым образом зависит от технического состояния высоковольтного оборудования, используемого в них. Измерительный комплекс даёт возможность, на основе компьютерного анализа ряда параметров частичных разрядов (ЧР), возникающих задолго до полного пробоя изоляции, диагностировать состояние высоковольтных изоляторов.

**Ключевые слова:** частичный разряд, изоляторы, диэлектрик.

Исследование проводится для определения срока службы изоляторов, вплоть до полной выработки их реального ресурса. При этом на первый план выходят методы диагностики, которые обеспечивают контроль текущего состояния высоковольтных изоляторов на месте их эксплуатации под рабочим напряжением и, желательно, в процессе нормальной работы, через измерение характеристик частичных разрядов, возникающих в изоляторах. Основным вопросом, на который должна ответить диагностическая система, является следующий: возможна или невозможна дальнейшая безопасная эксплуатация высоковольтного

изолятора. Известны несколько основных методов диагностики характеристик частичных разрядов – акустический, электромагнитный, электрический.

Эти методы позволяют выявлять дефекты изоляции на самых ранних стадиях их возникновения, отслеживать их развитие, оценивать текущее состояние изоляции и возможность дальнейшей эксплуатации оборудования.

Главным диагностическим признаком, отличающим исправные изоляторы от дефектных, является значительное отличие в количестве и интенсивностях ЧР, а также фазовый сдвиг этих значений. Разработанная двухканальная система измерения характеристик ЧР может быть применена для оперативного контроля и мониторинга состояния высоковольтной изоляции энергетических систем.

### Литература

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.
2. Дистанционный контроль технического состояния фарфоровых высоковольтных изоляторов / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 3-4. С. 99–107.
3. Комплексная бесконтактная диагностика работоспособности высоковольтных изоляторов / / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Дефектоскопия. 2019. № 8. С. 34–40.

УДК 621.389

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНЫХ КОРРЕКТОРОВ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Шакиров Р.Л.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
valmod555@gmail.com  
Науч. рук. Еникеева Г.Р.

Рассмотрена проблема использования импульсных источников питания, исследуются активные корректоры коэффициента мощности (ККМ), обосновывается их использование, выявляются их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** импульсный источник питания (ИИП), выпрямитель, конденсатор, коэффициент мощности (КМ), активная мощность, полная мощность, корректор коэффициента мощности, повышающий преобразователь, микросхема.

В настоящее время большинство потребителей электроэнергии используют импульсные сетевые преобразователи, искажающие синусоидальную форму входного тока и напряжения и приводящие к сдвигу фаз между ними. Именно по этой причине существуют строгие правила, ограничивающие уровень нелинейных искажений, допускаемых в сетях переменного тока [1, 2]. Корректоры коэффициента мощности позволяют устранить нелинейные искажения, поэтому актуальность исследования таких устройств не вызывает сомнений.

Новизна исследования заключается в описании проблемы использования ИИП, выявлении достоинств и недостатков активных ККМ.

Личный вклад автора – выявление достоинств и недостатков активных ККМ. Практическая ценность и перспективы использования результатов исследования заключаются в том, что разработчики электронной техники, опираясь на данное исследование, смогут проанализировать рациональность использования активных ККМ в своих разрабатываемых импульсных источниках питания.

Типовая структура входных узлов ИИП содержит: диодный мост и емкостной фильтр. Проблемой ИИП является то, что заряд входного конденсатора, а, следовательно, и потребление энергии от сети, производится только в короткие фазы во время «верхушек» полуволн синусоиды (рис. 1). Поэтому при зарядке емкости происходят броски тока в сети, которые могут достигать сотни ампер. Это приводит к искажению формы сетевого напряжения [3, 4].



Рис. 1. Форма тока и напряжений во входной цепи ИИП

Для оценки эффективности передачи электроэнергии от сетевого источника в нагрузку используется коэффициент мощности (КМ), который определяется, как отношение активной мощности, потребляемой нагрузкой, к полной мощности. Чем больше КМ, тем рациональнее потребляется энергия из сети. Максимальное значение КМ равно 1. Для того чтобы приблизить значение КМ к единице, применяют устройства, которые называются корректорами коэффициента мощности [4].

В современных мощных ИИП широко применяются активные ККМ, которые включаются между входным выпрямителем и накопительным конденсатором, за которым находится DC/DC преобразователь (рис. 2).

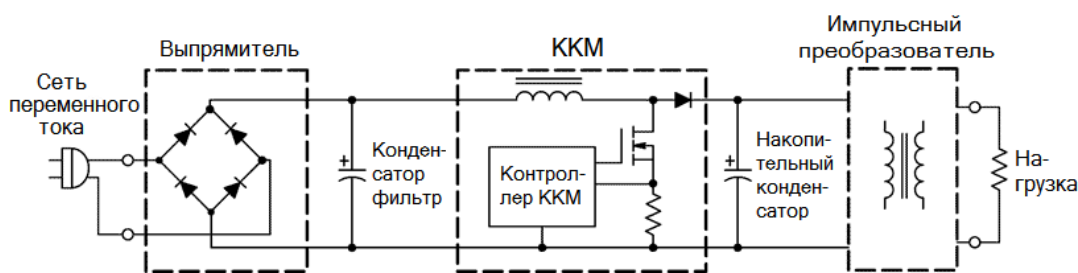


Рис. 2. Структурная схема ИИП с ККМ

Основу абсолютного большинства активных ККМ составляет повышающий преобразователь, т.к. только он обеспечивает непрерывность тока в цепи питания преобразователя; также структура на основе повышающего преобразователя позволяет получить ККМ с наименьшей стоимостью [5]. Модуль ККМ содержит микросхему контроллера ККМ, дроссель, мощный MOSFET-ключ, выпрямительный диод, цепи датчика обратной связи. Микросхема ККМ с соответствующими элементами формирует входной ток, повторяющий форму входного напряжения, что позволяет достичь значения коэффициента мощности 0,9 и выше [6].

Достоинствами активных ККМ являются обеспечение высокого (от 0,9) коэффициента мощности, способность работать с широким диапазоном входных напряжений, стабилизация выходного напряжения, обеспечение защиты от перегрузок и от перенапряжений

Опыт общения с ремонтниками электронной техники позволяет выявить следующие недостатки: наличие ККМ в блоках питания уменьшает их надежность, так как корректоры часто выходят из строя, а, следовательно, выходит из строя сам блок питания; ККМ уменьшает КПД источников питания, так как выделяются потери на коммутирующих элементах и силовом дросселе; при наличии ККМ возрастает стоимость источника питания: зачастую коммутирующие элементы корректора стоят на порядок дороже коммутирующих элементов ИИП.

## Литература

1. ГОСТ IEC 61000-3-2-2017. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с входным током не более 16 А в одной фазе). М.: Стандартиформ, 2018. 24 с.

2. ГОСТ Р 51317.4.1-2000 (МЭК 61000-4-1-2000). Испытания на помехоустойчивость. Виды испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 10 с.

3. Феклистов А. Для чего нужна коррекция коэффициента мощности в импульсном источнике питания? // Радиоаматор: международный радиолобительский журнал. 2015. № 5. С. 18–21.

4. Ромадина И. Контроллеры корректора коэффициента мощности ON Semi [Электронный ресурс] // Электронные компоненты. 2010. № 12. С. 70–73. URL: [https://russianelectronics.ru/files/54067/EK-12-2010\\_70-73.pdf](https://russianelectronics.ru/files/54067/EK-12-2010_70-73.pdf) (дата обращения: 25.02.2020).

5. Карзов Б.Н., Кастров М.Ю. Схемы коррекции коэффициента мощности с учетом фильтрации помех сетевого напряжения // Практическая силовая электроника. 2009. № 2 (34). С. 2–7.

6. Bindra A. Понимание различных методов коррекции коэффициента мощности для AC/DC преобразователей [Электронный ресурс] // Радиолоцман: электрон. журн. 2012. С. 29–32. URL: <https://www.rlocman.ru/book/book.html?di=140863> (дата обращения: 26.02.2020).

УДК 621.389

## КОНТРОЛЛЕРЫ КОРРЕКТОРОВ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Шакиров Р.Л.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

valmod555@gmail.com

Науч. рук. Еникеева Г.Р.

Чтобы вывести на рынок свою продукцию, разработчикам импульсных источников питания необходимо придерживаться современных стандартов, ограничивающих уровень нелинейных искажений, допускаемых в сетях переменного тока. По этой причине в электронных устройствах класса *D*, потребляющих более 75 Вт, необходимо использовать коррекцию коэффициента мощности. Тезис посвящен описанию новейших контроллеров корректоров коэффициента мощности с интересными особенностями.

**Ключевые слова:** импульсные преобразователи, коэффициент мощности (КМ), корректор коэффициента мощности (ККМ), контроллер, микросхема.

Чтобы удовлетворять требованиям стандарта IEC 61000-3-2-2017 [1] в модулях AC/DC преобразователей, питающих электронные устройства с потреблением более 75 Вт, необходимо использовать коррекцию коэффициента мощности. Главным элементом в ККМ является контроллер. Освоение современных контроллеров корректоров актуально для упрощения схмотехники, снижения себестоимости, сокращения времени на разработку и главное – получения совершенных параметров, соответствующих стандартам.

Новизна проведенных исследований заключается в рассмотрении новейших микросхем контроллеров ККМ с особенностями, их отличающих от других устройств данного класса.

Личный вклад автора – поиск и отбор самых необычных и новых контроллеров ККМ среди множества остальных. Сейчас представлено огромное количество микросхем ККМ, поэтому зачастую контроллеры даже с интересными особенностями теряются среди многочисленного количества информации и остаются без должного внимания. Данный обзор, думается, поможет разработчикам импульсных преобразователей; опираясь на него, разработчики смогут определиться с выбором контроллера ККМ. В этом практическая ценность исследования.

Новейшие контроллеры корректоров КМ представлены в таблице.

### Новейшие контроллеры ККМ

Производитель	Infineon Technologies		Texas Instruments	ON Semiconductor	STMicroelectronics
Наименование контроллера	IR1155S	IRS2505L	UCC29910A	NCP1615	STNRGPF12
Корпус	SOIC-8	SOT-23	TSSOP	SOIC-14 (16)	TSSOP38
Ток запуска	175 мкА	60 мкА	5 мА	12 мА	–
Частота ШИМ, кГц	48...200	24...52	94...106	26	–
Ток управления драйвера, мА	1,5 А	450 мА	6 мА	800 мА	7,75 мА
Температура работы, °С	–25...125	–55...150	–40...105	–40...150	–40...105
Особенность	Режим One Cycle Control	Самый компактный контроллер (2,8×2,6 мм)	Понижающая топология ККМ	Для высоковольтных ККМ с потреблением менее 30 мВт в режиме ХХ	Цифровой двухканальный многофазный контроллер
Цена, руб.	61	34	370	150	730



В 2011 г. компания IR (ныне является собственностью Infineon) презентовала микросхемы ККМ IR1115xS с повышенным коэффициентом мощности, особенностью которых является режим работы One Cycle Control (ОСС). В основе представленного режима лежит принцип, который не нуждается в измерении переменного тока. ОСС позволяет упростить схемотехнику и ускорить разработку новых изделий [2].

UCC29910A – понижающий контроллер ККМ, который выпускается с 2011 г.; это уникальная разработка компании Texas Instruments. Отличается высоким КПД даже при минимальной нагрузке и широким диапазоном входного напряжения наряду с высоким коэффициентом мощности. Понижающая топология позволяет получить низкое типовое выходное напряжение 84 В DC при входном диапазоне 90...264 В AC [3].

С 2013 г. компания Infineon, выпускает один из самых миниатюрных в мире интегральных ККМ IRS2505L, который идеален для построения компактных импульсных выпрямительных устройств [4].

В 2014 г. компания ON Semiconductor, представила новые микросхемы серии NCP1615, предназначенные для высоковольтных высокоэффективных контроллеров корректоров коэффициента мощности (с потреблением менее 30 мВт в режиме холостого хода!) [5].

С 2019 г. компания STMicroelectronics (ST) выпускает двухканальный многофазный повышающий контроллер ККМ STNRGPF12. Этот контроллер, рассчитанный на приложения мощностью более 600 Вт, повышает КПД и надежность разнообразного оборудования [6].

## Литература

1. ГОСТ IEC 61000-3-2-2017. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с входным током не более 16 А в одной фазе). М.: Стандартинформ, 2018. 24 с.

2. Плюснин М.С. Самым большим набором функций: новые корректоры коэффициента мощности // Новости электроники. 2011. № 10. С. 29–32.

3. Корректоры коэффициента мощности от Texas Instruments АО «КОМПЭЛ» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.compel.ru/lib/39328> (дата обращения: 28.02.2020).

4. Компактный изолированный корректор коэффициента мощности для систем освещения [Электронный ресурс]. URL: <https://www.compel.ru/lib/92809> (дата обращения: 27.02.2020).

5. NCP1615: новый высоковольтный высокоэффективный контроллер корректора коэффициента мощности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mt-system.ru/news/semiconductor/ncp1615-novuj-vysokovoltnyj-vysokojeffektivnyj-kontroller-korrektora-kojefficient> (дата обращения 27.02.2020).

6. STMicroelectronics разработала цифровой корректор коэффициента мощности для промышленных приложений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rlocman.ru/news/new.html?di=600339> (дата обращения 28.02.2020).

УДК 621.384.3

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

Шарафутдинов А.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aidar.sharafutdinov1996@yandex.ru

Науч. рук. Потапов А.А.

Посвящается вопросам экономии электрической энергии и денежных средств на обслуживание освещения помещений за счет применения автономных источников электропитания – фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) (вместо питания от энергосистемы) с применением экономичных светодиодных светильников (вместо газоразрядных).

**Ключевые слова:** фотоэлектрический преобразователь, светодиодный светильник, инвертор, контроллер, экономия, АКБ (аккумулятор).

Актуальность данной работы обусловлена возможностью автономного питания электрической энергией потребителей и переход полностью на альтернативную энергетику.

Система автономного освещения на солнечных батареях предназначена для освещения помещений, участков и придомовых территорий. Особенно актуально применение таких систем освещения в местах удаленных от общих сетей электроснабжения, где подведение сетевого электричества либо невозможно, либо очень дорого [1].

Бесспорным преимуществом этих систем является полная автономность и независимость от подачи электроэнергии общими сетями электроснабжения, отсутствие проводов подключения к сетям, а так же отсутствие платы за использование электроэнергии [2].

Принцип работы схемы, изображенной на рисунке, заключается в следующем. После того как солнечный свет попадает на ФЭП солнечный свет преобразуется в электричество, после электричество по проводнику идет к контроллеру заряда АКБ, который заряжает АКБ [3]. Далее напряжение увеличивается с помощью инвертора до нужных значений и только после этого идет к потребителю, в данном случае это светодиодные светильники, если разработать более мощную СЭС, то можно запитать и другие потребители энергии.

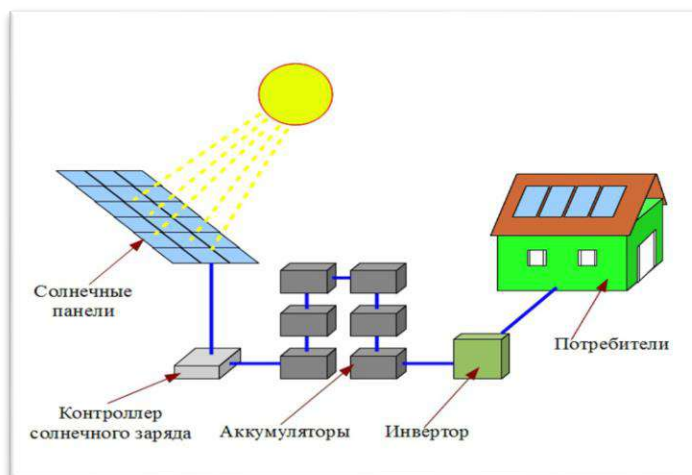


Схема подключения ФЭП

## Литература

1. Василькова Т.М., Комиссаров Д.А. Способы экономии электроэнергии в осветительных сетях жилого дома // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 86. С. 150–152.
2. Бобыль А.В., Малышкин В.Г., Эрк А.Ф. Методы оценки экономической эффективности солнечных электростанций. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 97. С. 49–56.
3. Елистратов В.В., Аронова Е.С. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 164 с.

## Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

УДК 539.143.4

### USB СПЕКТРОФОТОМЕТР

Абдуллин Т.Р.<sup>1</sup>, Шайхутдинов Я.О.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>perm1ss10n@mail.ru, <sup>2</sup>jara2105@mail.ru

Науч. рук. Погорельцев А.И.

Приведены результаты разработки и изготовления USB спектрофотометра, работающего в диапазоне 300–1000нм. Спектрофотометр по USB порту подключался к компьютеру. Для обработки изучаемых спектров было использовано программное обеспечение, полученное в рамках открытого международного проекта Theremino. Разработанные детали спектрофотометра были изготовлены на 3D-принтере Anet A8. Проведены предварительные тестовые исследования работы спектрофотометра.

**Ключевые слова:** оптическая спектроскопия, фотометрия, спектрофотометр, коэффициент пропускания, оптическая плотность.

Для классификации и исследования веществ широко используется оптическая спектроскопия в ультрафиолетовом (30–400нм) и видимом (400–800нм) диапазонах (UV/VIS). Она применяется практически во всех сегментах рынка, в исследованиях, на производстве и при контроле качества.

UV/VIS спектроскопия основана на поглощении света образцом. В зависимости от поглощаемого образцом количества света и его длины волны можно получать ценную информацию, например, о чистоте образца. Кроме того, количество поглощенного света связано с количеством образца, а значит, методом оптической спектроскопии можно проводить и количественный анализ.

Образец облучают электромагнитными лучами разной длины волны в видимом и смежных диапазонах, т. е. в ультрафиолетовом (УФ) и частично в ближнем (800...1300 нм) инфракрасном (ИК) спектрах. В зависимости от вещества, свет частично поглощается. Оставшийся, т. е. прошедший, свет записывается как функция длины волны подходящим детектором, что дает UV/VIS спектр образца. В результате,

поскольку каждое вещество поглощает свет по-разному, существует уникальная и конкретная взаимосвязь между веществом и его UV/VIS спектром. Спектр можно затем использовать для идентификации образца или количественного определения его содержания. Спектры поглощения разных образцов записываются с помощью спектрофотометра – прибора для измерения UV/VIS спектра образца.

По геометрии компонентов, образующих оптическую систему для записи спектров, в конструкции UV/VIS спектрофотометров, как правило, используются следующие две конфигурации: сканирующий и матричный спектрофотометры.

Разрабатываемый нами спектрофотометр относится к матричному типу. В этой конфигурации образец освещают пучком света, состоящим из всех спектральных компонентов УФ- и видимого диапазона (UV/VIS). Проходящий свет затем расщепляется дифракционной решеткой, расположенной после кюветы, как показано на рис. 1 и 2 [1, 2].

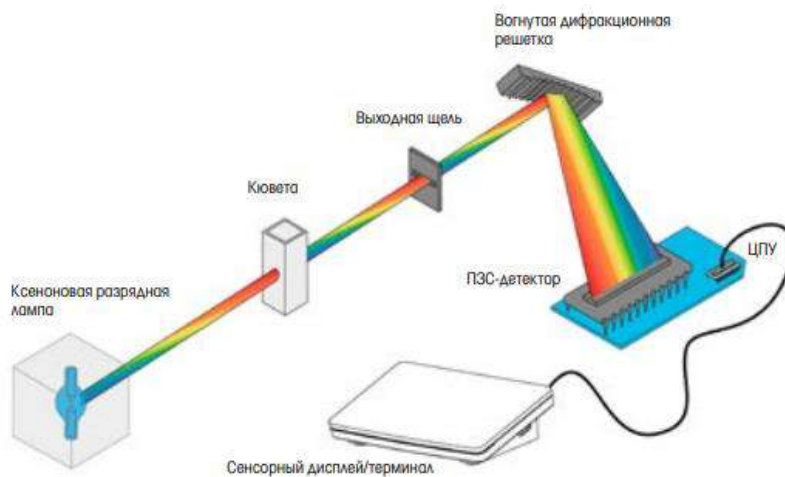


Рис. 1. Оптическая схема матричного спектрометра с дифракционной решеткой на отражение



Рис. 2. Оптическая схема матричного спектрометра с дифракционной решеткой на пропускание (образец помещается либо перед щелью, либо непосредственно после нее)

Эта конструкция также известна как «обратная оптика»; свет расщепляется решеткой уже после прохождения через образец. Затем расщепленный свет разной длины волны направляется на детектор. Детектор, представляющий собой длинный массив фоточувствительного полупроводникового материала, позволяет одновременно измерять все длины волн прошедшего светового пучка. С помощью этой установки измерение всего UV/VIS спектра обычно выполняется быстрее, чем с помощью обычного сканирующего спектрофотометра, так как спектр записывается одновременно на всех длинах волн. Кроме того, матричный детектор выполняет интегрирующую функцию – накапливает отдельные измерения, тем самым улучшая сигнал, что намного повышает отношение сигнала к шуму и таким образом позволяет добиться более качественного сигнала измеряемого спектра.

В нашей конструкции были использованы несколько типов решеток: стандартная – 1200 штр./мм, голографическая – 1000 штр./мм и самодельная из DVD диска – 1320 штр./мм. В качестве детектора были использованы USB камеры чувствительностью 2 и 5 Мп. Для расширения диапазона частот в сторону ИК-спектра у объективов камер был удален ИК-фильтр. Практически все детали спектрофотометра – корпус, держатели USB камеры и дифракционной решетки, оптическая щель, кюветодержатель были изготовлены на 3D-принтере Anet A8. Оптические щели имели ширину 1, 0,8 и 0,5 мм. Камера подсоединялась через USB порт к компьютеру. В качестве программного обеспечения была использована разработка от открытого международного проекта Theremino [3].

На данном спектрофотометре были выполнены калибровочные и тестовые исследования.

## Литература

1. Руководство по спектрофотометрии в УФ- и видимом диапазоне: основы и применение [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mt.com/dam/MT-RU/Brochures/LAB/ANA/UV\\_VIS/1789\\_UVVIS\\_Spectrophotometry\\_Guide\\_ru\\_LR.pdf](https://www.mt.com/dam/MT-RU/Brochures/LAB/ANA/UV_VIS/1789_UVVIS_Spectrophotometry_Guide_ru_LR.pdf) (дата обращения: 14.04.2020).
2. Diffraction Grating Spectrometer Design and Collected Spectra. Theremino System [Электронный ресурс]. URL: [https://www.theremino.com/wpcontent/uploads/files/Spectrometer\\_Complements\\_ENG.pdf](https://www.theremino.com/wpcontent/uploads/files/Spectrometer_Complements_ENG.pdf) (дата обращения: 14.04.2020).
3. Theremino [Электронный ресурс]. URL: <http://www.theremino.com/> (дата обращения: 14.04.2020).

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ КУГАНАКСКОЙ ГЛИНЫ

Аглиуллин В.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

agliullin.00@bk.ru

Науч. рук. Бунтин А.Е.

Предложена перспективная рецептура улучшения механических характеристик различных материалов (в частности, прочности), представляющая собой введение в эти материалы нанодисперсных добавок. В качестве матрицы была взята глина Куганакского происхождения, обладающая низкой прочностью. В качестве наномодификаторов использовались гидрозолы алюминия и кремния, так как они однородны по химическому составу с составом исследуемой глины. Результатом эксперимента стало повышение прочности в 1,5–2 раза.

**Ключевые слова:** нанодисперсные добавки, глина, прочность.

Общей закономерностью влияния нанодисперсных добавок различной природы на структуру и свойства материалов является ярко выраженная зависимость прочностных свойств материалов от наличия в них этих добавок и их количества. В основе эффекта наномодифицирования лежит поверхностное адсорбционное взаимодействие вещества матрицы с наночастицами, собственные свойства которых в зависимости от концентрации также оказывают влияние на матрицу. Применение нанодобавок выгодно с технико-экономической точки зрения, так как улучшение эксплуатационно-технических характеристик материалов покрывает затраты на наномодификаторы [1].

В качестве объекта исследования использована глина Куганакского месторождения Республики Башкортостан, имеющая следующий состав:  $\text{SiO}_2$  – 64,2 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 24,6 %;  $\text{FeO}$  – 4,6 %;  $\text{CaO}$  – 3,8 %;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,3 %;  $\text{MgO}$  – 1 %;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,5 %;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,3 % [2]. Основным ее недостатком является низкая прочность. В качестве модификаторов использовались стабилизированные гидрозолы оксидов кремния и алюминия с размером частиц 4–10 нм. Были использованы именно эти гидрозолы, так как их химические свойства аналогичны свойствам глины, что создает однородность химического состава.

При проведении исследования выделяют следующие этапы:

1. Изготовление образцов базового и модифицированного составов.
2. Смешивание глины и дистиллированной воды (в которую предварительно вводились нанозоли в различной комбинации и концентрации).
3. Формование смеси в форме куба размерами 25×25×25 мм.
4. Высушивание в естественных условиях (с частичным вакуумированием, достигаемым наложением на образцы пищевого полиэтилена).
5. Обжиг образцов при температуре 1000 °С.
6. Исследование сушильных, прочностных и обжиговых свойств.

Механизм действия этих наномодификаторов заключается в том, что активные наноразмерные частицы гидрозолей оксидов алюминия и кремния адсорбируются на поверхностях микрочастиц алюмосиликата, формируя структурированные алюмосиликатные комплексы (граничные слои) в виде высокодисперсной фазы, обладающей повышенной удельной поверхностью, что обеспечивает повышение их активности и возможность участия в образовании новых структур в качестве активных центров [3].

В результате установлена эффективность использования модифицирующих добавок нанодисперсных золь оксидов алюминия и кремния. Добавки обеспечивают улучшение прочностных характеристик природных алюмосиликатов на основе глины Куганакского месторождения (в частности, прочность повышается в 1,5–2 раза, а влагопоглощение становится менее 5 %).

## Литература

1. Хозин В.Г., Абдрахманова В.Г., Низамов Р.К. Общая концентрационная закономерность эффектов наномодифицирования строительных материалов // Строительные материалы. 2015. № 2. С. 25-33.
2. Латыпова Ф.М., Биколова В.Ж., Игбердина Г.И. Исследование адсорбционных свойств модифицированных глин Куганакского месторождения // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2010. Вып. 8. С. 40–41.
3. Бунтин А.Е., Женжурист И.А. Влияние добавок гидрозолей оксидов алюминия и кремния на свойства формовочных смесей // Литейное производство. 2011. № 8. С. 36–40.



## НОВЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Алемасов Е.П.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alemasov.evgeniy@mail.ru

Науч. рук. Шмидт Е.В.

Рассматриваются новые достижения в физике термоэлектрических материалов. Делается краткий обзор новых открытий в области термоэлектрических материалов и их применение в производстве с целью повышения эффективности. Затронута проблема возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** термоэлектрические материалы, возобновляемые источники энергии, термоэлектрические эффекты.

Развитие современной техники неразрывно связано с поиском новых источников энергии. Энергия должна вырабатываться экологически чистым путем, должна быть возобновляемая и не связана с углеродом. Электричество – наиболее удобный вид энергии, как для использования, так и для передачи и хранения.

В начале XIX века два ученых, Томас Зеебек и Жан Пельтье, сделали два очень важных открытия, которые можно назвать взаимобращенными. Один из них открыл, что приложение разницы потенциалов вызывает изменение температуры. Другой обнаружил, что приложение температурного градиента вызывает разницу потенциала. Иными словами, электрический ток появляется при перепаде температур на концах термоэлектрического материала, с другой стороны, тело охлаждается или нагревается при пропускании электрического тока. Сегодня мы называем эти эффекты законами Пельтье и Зеебека [1].

Хоть в то время термоэлектричество и термоэлектрические элементы не получили должного практического применения, сегодня они наверстывают свое забвение в энергетике. Это началось в 30-е гг. прошлого века благодаря работам А.Ф. Иоффе. Именно в эти годы была заложена основа развития современной термоэлектрической энергетике.

Основными характеристиками термоэлектрических материалов являются коэффициент Зеебека ( $\alpha$ ), удельная теплопроводность ( $\lambda$ ), удельная электропроводность ( $\sigma$ ). Электродвижущая сила, возникающая в цепи разнородных проводников электрического тока при наличии градиента

температуры на концах разомкнутой цепи, может быть выражена через разность температур и так называемый коэффициент Зеебека – коэффициент термоэлектродвижущей силы материалов, составляющих цепь

$$E = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot (T_{\Gamma} - T_{\chi}), \quad (1)$$

где  $\alpha_p$  и  $\alpha_n$  – коэффициенты Зеебека соответственно дырочной и электронной ветви термоэлемента;  $T_{\Gamma}$  и  $T_{\chi}$  – температуры соответственно горячего и холодного спая ветвей.

Добротность термоэлектрического материала определяет производительность термоэлектрических устройств и рассчитывается по формуле:

$$ZT = \frac{\sigma \cdot \sigma^2}{\lambda} T, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – удельная теплопроводность материала;  $\sigma$  – удельная электропроводность;  $\alpha$  – коэффициент Зеебека.

Коэффициент  $ZT$ , который расшифровывается как «термоэлектрическая добротность», не имеет физической размерности, но говорит о том, что термоэлектрический материал должен быть плохим проводником тепла, но хорошим проводником электрического тока.

К практическому использованию термоэлектрического эффекта и термоэлектрической генерации тока, описанными законами Пельтье и Зеебека, подтолкнули прогнозы, сделанные А.Ф. Иоффе в середине 50-х гг. прошлого столетия. Согласно его выводам, эффективные термоэлектрические материалы следует искать среди узкозонных полупроводников, образованных переходными элементами V и VI периодов. Последовавшие за этим прогнозом исследования привели к созданию семейства термоэлектрических преобразователей на основе легированных теллуридов висмута и свинца [2].

В наше время среди ученых идет поиск новых термоэлектрических материалов и методов их создания в лабораторных условиях, так как термоэлектрическая генерация может стать серьезным конкурентом других способов получения электроэнергии.

На сегодняшний день несколько компаний-резидентов «Фонда Сколково» занято созданием устройств на основе сульфида самария (SmS), основное свойство которого – повышение КПД. В планах компании разработка как термоэлектрических генераторов, так и охлаждающих устройств и тензодатчиков.

В начале 2019 г. ученые Хьюстонского университета создали новое термоэлектрическое соединение, состоящее из тантала, железа и сурьмы и обладает производительностью в 11,4 %. Это значит, что материал вырабатывает 11,4 Вт электричества на каждые 100 Вт тепла, которые потребляет.

В середине 2019 г. ученые-специалисты университета MIT заявили, что создали новый материал, состоящий из магния и висмута и созданный в форме, несущей отрицательный заряд, известный как *n*-тип, был почти так же эффективен, как и традиционный материал висмут-теллур. Данный материал не требует больших затрат на создание, а также должен расширить использование термоэлектрических модулей для охлаждения. Чтобы создать термоэлектрический модуль с использованием нового материала, исследователи объединили его с версией традиционного сплава висмут-теллур, несущей положительный заряд, или *p*-типа. Это позволило им использовать вдвое меньше теллура, чем большинство современных модулей.

Группа ученых-физиков из Австрии, Китая и Японии нашли семейство веществ с необычайно высокой термоэлектрической эффективностью, то есть способностью превращать тепловую энергию напрямую в электричество. Самое высокое значение оказалось у соединения  $\text{Fe}_2\text{V}_{0,8}\text{W}_{0,2}\text{As}$ : оно более чем в два раза превышало предыдущие рекорды.

Такие исследования ведутся и среди российских ученых. Ученые Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» совместно с коллегами из Российской академии наук, Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Южно-Уральского государственного университета и Национального института материаловедения (Япония) разработали методику получения перспективных термоэлектрических материалов на основе оксиселенидов  $\text{BiCuSeO}$  (висмут-медь-селен-кислород), которая позволит создавать такие материалы быстро и без потери качества.

Имеющиеся термоэлектрические материалы сегодня применяются в промышленности (термостаты в холодильниках, плата, отвечающая за охлаждение процессора компьютера и т. д.). В будущем данные технологии, по мнению ученых, можно будет использовать в автомобильной промышленности с целью повышения эффективности и понижения расхода топлива, а также для создания автономных генераторов электричества под действием высоких температур.

## Литература

1. Шевельков А.В. Химические аспекты создания термоэлектрических материалов // Успехи химии. 2008. Вып. 77. С. 3–21.

УДК 54.05, 544.03, 537.31

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ И ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ И ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Гарипов Р.Р.<sup>1</sup>, Хантимеров С.М.<sup>2</sup>, Сулейманов Н.М.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

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

<sup>1</sup>gari\_rtrf@mail.ru

Были изготовлены образцы композиционного материала на основе эпоксидной смолы и модифицированных конических углеродных нанотрубок. Представлены результаты исследования концентрационной зависимости электропроводности и экранирующих свойств композиционного материала.

**Ключевые слова:** конические углеродные нанотрубки, композиционный материал, электропроводность, экранирование.

Углеродные наноструктуры (УНС) и, в частности, углеродные нанотрубки (УНТ) обладают целым рядом уникальных свойств, которые позволяют использовать их в различных областях науки и техники [1]. Разработка эффективных технологий получения углеродных наноструктур открывает большие возможности их применения: для создания электродов топливных элементов и водород-аккумулирующих материалов, для создания наноразмерных транзисторов, холодных эмиттеров электронов и суперконденсаторов, в качестве добавок к полимерным и неорганическим композитам для повышения механической прочности, электропроводности, термостойкости, изменения магнитных свойств [2, 3].

Целью данной работы являлось получение композиционного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и функционализированных углеродных нанотрубок и изучение его электропроводящих и экранирующих свойств.

Для проведения экспериментов были изготовлены образцы композиционного материала на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и конических углеродных нанотрубок (кУНТ), о которых более подробно описано в работе [4]. Функционализация кУНТ осуществлялась путем термохимической обработки в смеси  $\text{HNO}:\text{HCl}$  (1:3) по методике, описанной в работе [5].

Измерение электропроводности образцов композиционного материала проводилось четырехзондовым методом [6]. На рис. 1 представлена концентрационная зависимость электропроводности образцов композита.

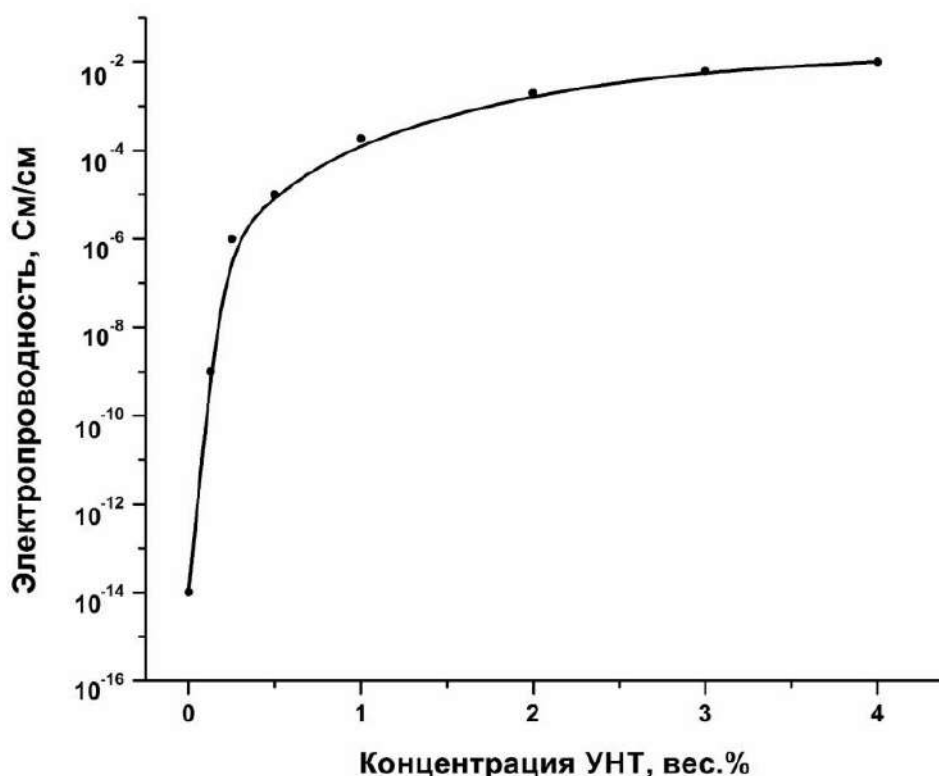


Рис. 1. Концентрационная зависимость электропроводности композиционного материала

Из рисунка видно, что концентрационная зависимость электропроводности композиционного материала имеет нелинейный характер и приближается к уровню насыщения при концентрациях около 3 %.

Исследование экранирующих свойств композиционного материала проводилось методом ЛОВ-спектроскопии (лампа обратной волны) на трех образцах. На рис. 2 представлены спектры пропускания образцов композиционного материала с различным содержанием кУНТ в диапазоне частот 350–650 ГГц.

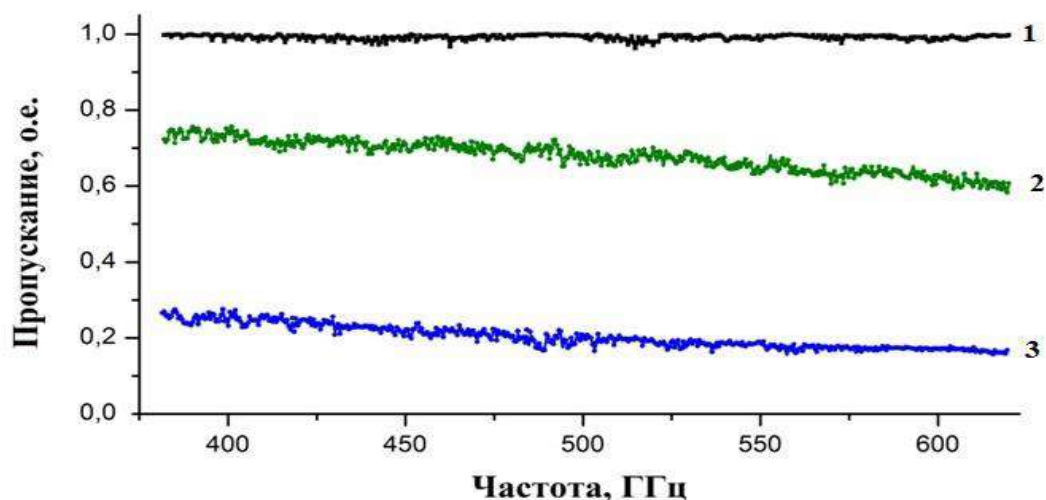


Рис. 2. Спектры пропускания образцов композиционного материала: 1 – без кУНТ; 2 – 0,25 вес. % кУНТ; 3 – 0,5 вес. % кУНТ

Из спектров пропускания видно, что композиционный материал способен экранировать определенную дозу излучения: для образца с содержанием кУНТ 0,25 вес. % коэффициент пропускания снижается в 1,3–1,6 раз, а для образца с содержанием кУНТ 0,5 вес. % снижается в 4–5 раз относительно исходного (без кУНТ). При этом с повышением частоты электромагнитного излучения наблюдается снижение коэффициента пропускания.

Таким образом, в работе были исследованы электропроводящие и экранирующие свойства композитов на основе полимерного связующего и конических углеродных нанотрубок. Данный материал может применяться в качестве покрытий для защиты от электромагнитного излучения электронных приборов и устройств, а также производственных и жилых помещений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160021.

## Литература

1. Слипченко Н.И., Удовицкий В.Г., Кропотов А.Ю. Технологические аспекты создания электронных устройств на основе углеродных нанотрубок // Радиоэлектроника и информатика. 2010. № 1. С. 3–12.
2. Khalid S., Ibrahim K. Carbon nanotubes—properties and applications: a review // Carbon Letters. 2013. Vol. 14, No. 3. Pp. 131–144.

3. On the effect of electric field application during the curing process on the electrical conductivity of single-walled carbon nanotubes – epoxy composites / M.V.C. Morais [et al.] // Carbon. 2019. Vol. 150. Pp. 153–167.

4. Carbon nanotubes from polyethylene precursors: structure and structural changes caused by thermal and chemical treatment revealed by hrem / N.A. Kiselev [et al.] // Carbon. 1998. Vol. 36, Is. 7-8. Pp. 1149–1157.

5. Исследование влияния термохимической обработки на структуру одностенных углеродных нанотрубок / Р.Р. Гарипов [и др.] // Новые материалы и перспективные технологии: сб. матер. 4-го междисциплинар. науч. форума с междунар. уч. Москва, 2018. С. 120–124.

6. Effect of electrochemical treatment on electrical conductivity of conical carbon nanotubes / S.M. Khantimerov [et al.] // Journal of Nanotechnology. 2016. Vol. 2016. 5 p.

УДК 537.12

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИНЕРАЛОВ МЕТОДОМ ЯМР В ЛОКАЛЬНОМ ПОЛЕ

Гарькавый С.О.<sup>1</sup>, Шмидт Е.В.<sup>2</sup>

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

<sup>1,2</sup>ololoiev77@mail.ru

Науч. рук. Матухин В.Л.

Приведены результаты изучения полупроводникового минерала халькопирита  $\text{CuFeS}_2$  методом ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле.

**Ключевые слова:** твердотельные термоэлектрические преобразователи, ядерный магнитный резонанс, спин-решеточная релаксация, магнитные полупроводники.

Халькопирит – минерал с формулой  $\text{CuFeS}_2$ . Представляет собой сложное сульфидное соединение, кристаллизующееся в тетрагональной сингонии. Халькопирит – наиболее часто встречающийся минерал меди. В природе он чаще всего встречается в магматогенных месторождениях медно-никелевых сульфидных руд на суше и в гидротермальных источниках срединно океанических хребтов на дне Мирового океана.  $\text{CuFeS}_2$  давно известен как магнитный полупроводниковый минерал [1–3]. Образцы, полученные из гидротермальных рудопроявлений островных дуг

Тихого океана, показали эффективные термоэлектрические свойства [4]. Одним из наиболее действенных методов изучения свойств данного соединения являются методы ядерного магнитного резонанса. Поскольку термоэлектрические свойства полупроводниковых материалов сильно зависят от особенностей электронной структуры, информация о сверхтонких полях и ядерных квадрупольных взаимодействиях является весьма важной для исследования халькопирита.

В данной работе приводятся результаты сравнительных анализов спектральных и релаксационных характеристик образцов полученных из континентальных и океанических месторождений. К образцам континентального происхождения относятся: образец из Талнахского месторождения (г. Норильск), образец из месторождения «Нижняя залежь» (г. Сибай). К образцам гидротермального происхождения относятся: образцы из рудных полей «Семенов-2», «Победа» и «Юбилейное» (на площади Российского разведочного района Срединно-Атлантического хребта), а также образец из рудного поля «Сольвара-1» (в задуговом бассейне восточный Манус, Тихий океан, море Бисмарка),

Образцы представляли собой поликристаллические порошки с размером зерен 0,3–1 мм. Измерения проводились на многоимпульсном спектрометре ЯМР/ЯКР Tecmag-Redstone.

Спектры ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле в образцах минерала  $\text{CuFeS}_2$  были исследованы при комнатной температуре. Спектр каждого из изотопов состоит из трех линий – центральной линии и двух квадрупольных сателлитов, возникающих из-за взаимодействия квадрупольного момента ядра меди с градиентами электрических полей (ГЭП). Полученные спектры соответствуют рентгеноструктурным данным, согласно которым в халькопирите отсутствуют кристаллографически неэквивалентные позиции атомов меди. Спектры образцов халькопирита гидротермального происхождения практически полностью совпадали с частотами спектра образцов континентального происхождения [5], однако они продемонстрировали меньшую интенсивность резонансных линий, сравнительно большую ширину, а также небольшое смещение в сторону высоких частот. Также спектры гидротермальных образцов обладали «сложной» формой. Уширение обнаруженных резонансных линий в спектре может свидетельствовать о большом распределении локальных магнитных и электрических полей в исследованных образцах



халькопирита. Это распределение может указывать на заметное отклонение состава исследованных образцов от стехиометрического. Этот вывод подтверждается исследованиями типоморфизма халькопиритов в океанических рудах Срединно-Атлантического хребта, согласно которым в образцах, полученных из месторождения «Семенов-2» наблюдается дефицит железа, и в качестве примеси присутствует цинк [6]. Следует отметить, что наибольшее уширение резонансных линий в исследованных образцах халькопирита наблюдается именно в образце, полученном из месторождения «Семенов-2».

Главной особенностью наблюдаемых спектров ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в образцах  $\text{CuFeS}_2$ , полученных из гидротермальных полей, является асимметричная форма центральной линии, что предполагает присутствие, как минимум, двух перекрывающихся линий. В первом порядке теории возмущений линия центрального перехода ( $1/2 - 1/2$ ) в спектре ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  не подвержена действию ядерных квадрупольных взаимодействий и может характеризовать как распределение локальных магнитных полей, так и дефектность в структуре. Наличие двух перекрывающихся центральных компонент, указывает на существование вблизи резонансных ядер структурных областей с различным типом искажений. Такие области могут быть связаны с нарушением упорядоченного расположения атомов Fe и Cu в металлической подрешетке халькопирита.

В исследованиях [7] сообщают о наличии в халькопирите системы суперпарамагнитных кластеров. Образование таких кластеров возможно при нарушении упорядоченного чередования атомов меди и железа в металлических слоях кристаллической структуры халькопирита. Один атом железа, поменявшись с соседним атомом меди приводит к образованию кластера из пяти соседних атомов железа в ферромагнитном металлическом слое. При большом беспорядке размеры кластеров железа могут увеличиваться. Появление магнитных кластеров в халькопирите вызывает разброс магнитных полей в месте расположения резонансных ядер меди и может привести к асимметричной форме линий центрального перехода спектра ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$ .

Следует отметить, что на данном этапе исследований нельзя исключить также существование различного рода примесей, которые могут быть источником уширения резонансных линий в сильно дефектных образцах халькопирита. Точечные дефекты, примесные атомы, различного

рода структурные неоднородности и другие дефекты кристаллической решетки могут влиять на сигналы ЯМР. При этом увеличение концентрации дефектов вызывает увеличение количества носителей заряда, уменьшение интенсивности и уширение резонансных линий поглощения. Известно, что скорость релаксации прямо пропорциональна концентрации носителей заряда. Эффект оказываемый дефектами особенно важен в случае ЯМР квадрупольных ядер, т.к. ядра, обладают электрическим квадрупольным моментом. Это связано с тем, что дефекты вызывают распределение, как локальных магнитных полей, так и внутрикристаллических градиентов электрических полей, с которыми резонансные ядра взаимодействуют в кристаллической решетке. Результаты измерений времен спин-решеточной и спин-спиновой релаксации показывают различия в значениях скорости релаксации ядер  $^{63}\text{Cu}$  в исследованных образцах магнитного полупроводника  $\text{CuFeS}_2$ . Эти различия могут быть обусловлены различиями в дефектной структуре изучаемых образцов.

В полупроводниковых соединениях релаксация квадрупольных ядер осуществляется за счет двух составляющих – дипольного и квадрупольного вкладов. Дипольный вклад обуславливается взаимодействием ядерного магнитного дипольного момента с локальными магнитными полями. Квадрупольный вклад обуславливается взаимодействием ядерного квадрупольного момента с градиентами электрических полей в месте расположения резонансных ядер. Заметное различие в значениях гиромагнитных отношений  $r_M = \left( ^{65}\gamma_N / ^{63}\gamma_N \right)^2 = 1,167$  и квадрупольных моментов  $r_Q = \left( ^{65}Q / ^{63}Q \right)^2 = 0,872$  ядер двух распространенных изотопов меди  $^{63}\text{Cu}$  и  $^{65}\text{Cu}$  позволяет разделить магнитный и электрический квадрупольный вклады в ядерную спин-решеточную релаксацию. Скорость спин-решеточной релаксации оказывается пропорциональной спектральной плотности флуктуаций внутренних полей, вызывающих релаксационные переходы в ядерной спиновой системе, на частоте ЯМР [8]. Полученные результаты измерений времен спин-решеточной релаксации указывают на магнитный механизм спин-решеточной релаксации в халькопирите.

В представленной работе метод ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле был использован для сравнения и изучения образцов халькопирита, добытых на суше и в океане. Обнаружено, что образцы имеющие гидротермальное

происхождение обладают большей шириной линий спектра по сравнению с образцами имеющими континентальное происхождение, помимо этого наблюдается небольшой сдвиг спектров океанических образцов в сторону более высоких частот, по сравнению с континентальными образцами. Уширение линий спектра, в первую очередь, может быть вызвано нестехиометрическим составом образцов и наличием примесей. Незначительный сдвиг спектров океанических образцов, вероятно, обусловлен примесным замещением. Результаты измерения времен ядерной релаксации позволяет судить о магнитном механизме спин-решеточной релаксации в соединении  $\text{CuFeS}_2$ .

### Литература

1. N. Tsujii. Possible Enhancement of Thermoelectric Properties by Use of a Magnetic Semiconductor: Carrier-Doped Chalcopyrite  $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_{1+x}\text{S}_2$  // *Journal of Electronic Materials*. 2013. Vol. 42, Is. 7. Pp. 1974–1977.

2. N. Tsujii, T. Mori, Y. Isoda. Phase Stability and Thermoelectric Properties of  $\text{CuFeS}_2$ -Based Magnetic Semiconductor // *Journal of Electronic Materials*. 2014. Vol. 43, Is. 6. Pp. 2371–2375.

3. Thermoelectric transport properties of diamond-like  $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_{1+x}\text{S}_2$  tetrahedral compounds / Yulong Li [et al.] // *Journal of Applied Physics*. 2014. Vol. 116, Is. 20. Pp. 203705–203706.

4. Thermoelectricity Generation and Electron–Magnon Scattering in a Natural Chalcopyrite Mineral from a Deep-Sea Hydrothermal Vent / Ran Ang [et al.] // *Angewandte Chemie International Edition*. 2015. Vol. 54, Is. 44. Pp. 12909–12913.

5. Electron-density distribution in  $\text{CuFeS}_2$  as determined by  $^{63,65}\text{Cu}$  NMR in an internal magnetic field / A.I. Pogoreltsev [et al.] // *Journal of Applied Spectroscopy*. 2013. Vol. 80, Is. 3. Pp. 351–356.

6. Бабаева С.Ф., Андреев С.И. Типоморфизм состава халькопиритов в океанических рудах Срединно-Атлантического хребта [Электронный ресурс] // *Годичное собрание РМО и Федоровская сессия 2012*. С.76–78. URL: <http://www.minsoc.ru/FilesBase/2012-1-26-0.pdf> (дата обращения: 27.01.2020).

7. В.В. Попов, С.А. Кижаяев, Ю.В. Рудь. Магнитные и тепловые свойства  $\text{CuFeS}_2$  при низких температурах // *Физика твердого тела*. 2011. Т. 53, вып. 1. С. 70–75.

8. *Magnetic Resonance and Its Applications* / V.I. Chizhik [et al.]. Springer International Publishing Switzerland, 2014. 782 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНИЗОПРОПИИ ЖЁСТКОСТИ ЯЧЕЙКИ ШТЕЙНЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Драцкая А.И.<sup>1</sup>, Скворцова А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МБОУ «Гимназия №5», г. Королёв

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО НИУ «МАИ», г. Москва

<sup>1</sup>dratskayaa@yandex.ru, <sup>2</sup>saa2509@mail.ru

Науч. рук. Лебедев В.В.

Предлагается изготовить новый композиционный материал, глядя на мыльные плёнки. Они самые лёгкие и прочные, поэтому такая форма должна быть у арматуры перед заливкой наполнителем. Показано решение задачи создания самого лёгкого армирования не только квадрата, как у Штейнера, но и куба – это 13 отрезков. Арматурные ячейки Штейнера по-разному изгибаются в разных направлениях. Начато изучение анизотропии жёсткости, получены численные данные. По этим данным изготовлены образцы композиционного материала. Предложена технология эпоксидного литья в парафиновые формы.

**Ключевые слова:** композиционный материал, армирование, жёсткость.

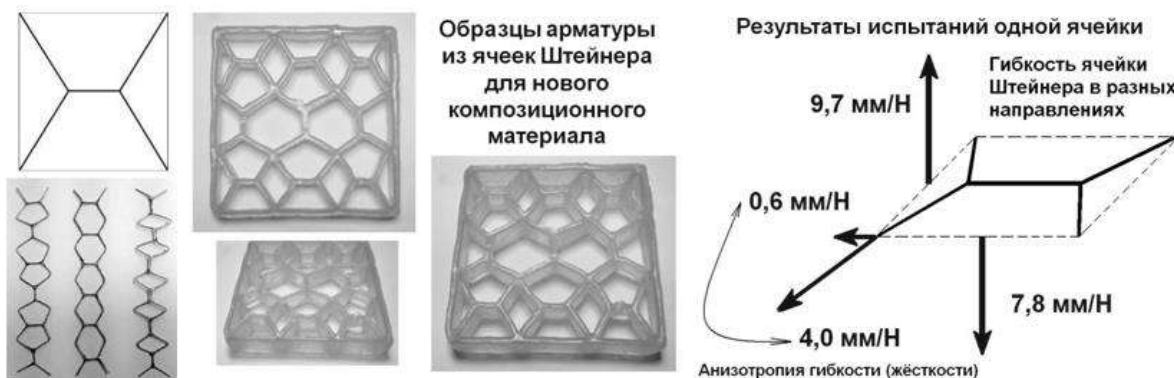
Сначала была решена задача о соединении четырёх вершин квадрата самой короткой линией. Это математическая задача Штейнера. Был предложен новый авторский способ решения этой задачи с помощью мыльных плёнок. Если посмотреть на мыльные плёнки на кубическом каркасе, то сразу видно решение этой задачи из пяти отрезков. Это квадратная ячейка Штейнера [1]. Потом была решена задача о соединении восьми вершин куба самой короткой линией. Сначала была гипотеза, что такая линия содержит 12 отрезков, потому что это показывали мыльные плёнки на кубическом каркасе. Но мыльные плёнки могут натягиваться по поверхностям, но не могут превратиться в тонкие линии, иначе сразу порвутся. Физическая модель не смогла показать правильное математическое решение. До него пришлось догадаться с помощью мыльных плёнок и уже известной квадратной ячейки Штейнера. Получилась линия из 13 отрезков, а не из 12, как показывали мыльные плёнки. Полученное решение названо кубической ячейкой Штейнера [2].

Потом началось изучение физических свойств ячеек Штейнера. Полученные короткие линии не полностью симметричны. Это значит, что ячейка Штейнера анизотропна по прочности и жёсткости. В разных направлениях она по-разному будет изгибаться.

Цель работы – создание нового легкого и прочного композиционного материала. Несколько моделей нового материала были изготовлены, испытаны и показаны на разных конференциях. Для следующей работы понадобилось изучить прочность и жёсткость ячейки Штейнера в разных направлениях [3].

Ячейка Штейнера – это силовая арматура или ниточки, которые надо залить эпоксидной смолой. Арматура будет самой лёгкой, потому что ячейка Штейнера самая короткая. Это математическая основа нового лёгкого композиционного материала [4].

Новая задача – как соединить множество ячеек Штейнера между собой в новом материале. Для кубической ячейки существуют три способа соединения двух ячеек. В этой работе изучается только квадратная ячейка. Две квадратные ячейки можно соединить двумя способами, прочность и жёсткость материала будет различной. Из проволоки было спаяно несколько таких ячеек, а потом ячейки были соединены по-разному. Было изучено три арматуры композиционного материала. В первой арматуре все перемычки лежат на одной линии, во второй расположены поперечно, в третьей чередуются. Есть много других вариантов, но пока не изученных. Задача: изучить жёсткость и гибкость всех соединений и одной ячейки Штейнера в разных направлениях. Для решения этой задачи по очереди зажимали каждую конструкцию в штатив, нагружали подвешиванием разного числа грузов на ниточке, измеряли прогиб линейкой, записывали результаты в таблицу, переносили в компьютер, вычисляли жёсткость и гибкость в программе EXCEL, там же строили графики, определяли ошибки, а потом делали выводы. Выводы подтвердили гипотезу об анизотропии жёсткости и прочности ячейки Штейнера. Эта гипотеза видна сразу, потому что три спаянные конструкции по-разному изгибаются в разных направлениях, как показано на рисунке.



Ячейка Штейнера, арматура и анизотропия жёсткости

1. У каждой квадратной ячейки Штейнера есть три главные гибкости, или наоборот, жёсткости. Гибкость измеряется в мм/Н, т. е. на сколько мм прогнётся конструкция от нагрузки 1 Н.

2. Если сила направлена поперёк ячейки, то гибкость конструкции почти не зависит от способа соединения ячеек Штейнера и равна 8–9 мм/Н. То есть на столько мм прогибается одна ячейка от силы 1 Н.

3. Если сила направлена вдоль ячейки, то гибкость сильно зависит от способа соединения ячеек. Это означает, что гибкость одной ячейки различна в разных направлениях, то есть анизотропна. При повороте ячейки Штейнера гибкость изменяется в семь раз.

4. Самая большая гибкость 4 мм/Н одной ячейки Штейнера будет при горизонтальном расположении перемычки, а самая маленькая гибкость 0,6 мм/Н будет при вертикальном расположении перемычки. Гибкость ячейки Штейнера в двух направлениях различается почти в семь раз.

5. Анизотропию жёсткости ячейки Штейнера можно применить практически. Это доказано изготовлением нескольких образцов не только арматуры, но и нового композиционного материала. Арматура – это капроновые ниточки, наполнитель – это эпоксидная смола.

6. Предложена парафиновая технология отливки нового композиционного материала из эпоксидной смолы. Надо изготовить парафиновую форму, сделать в ней канавки и залить. Парафин расплавить в баночке в горячей воде, вылить в лоточек и остудить. В парафине вырезать канавки в форме ячеек Штейнера, то есть самые лёгкие, положить в канавки капроновые нити и залить их эпоксидной смолой. На следующий день лоточки с парафином и застывшей смолой опустить в кипящую воду, парафин вытечет, останется новый композиционный материал с предсказанными свойствами анизотропии жёсткости. Образцы новых материалов и парафиновая технология демонстрируются на моделях.

Особенно интересна круглая заготовка. Ею заинтересовалась большая фирма-покупатель новых видов металлопроката. Это четыре трубы в одной трубе. Формой новой перемычки заинтересовались специалисты в области огнеупорных кирпичей на выставке «МеталлЭкспо-2019» в ноябре 2019 года в Москве. Работа доложена в Казани, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Жуковском, МАИ, МФТИ, НИЯУ МИФИ, МГСУ, СПбПУ, К(П)ФУ, РКК, «Энергия», в Совете молодых учёных РАН, в РАЕ. Есть публикации, медаль НИУ МГСУ и 3-е место в конкурсе и приз 10000 руб. от Совета молодых учёных и специалистов города Королёва Московской области.

## Литература

1. Драцкая А.И. Задача Штейнера для нового композиционного материала // Наука и инновации в технических университетах: сб. матер. XII Всерос. форума студентов аспирантов и молодых учёных. Санкт-Петербург, 2018. С. 49–51.
2. Драцкая А.И., Скворцова А.А., Якимова Е.И. Оптимизация арматурного перекрытия в строительных конструкциях // Наука будущего – наука молодых: сб. тез. участников форума. Н. Новгород, 2017, С.187–189.
3. Драцкая А.И., Скворцова А.А. Структуры на основе минимальных поверхностей // Биомедицина, материалы и технологии XXI века: сб. матер. I-й Междунар. шк.-конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Казань, 2016.
4. Драцкая А.И. Математика нового композиционного материала [Электронный ресурс]. URL: <https://youtu.be/hRUs8yz1JeI> (дата обращения: 14.04.2020).

УДК 514.86

## ФРАКТАЛЬНАЯ КОНДЕНСАЦИЯ И ФРАКТАЛЬНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Екимовская А.А.

МАОУ «Центр образования №32», г. Череповец

any\_ekimovskaya03@mail.ru

Науч. рук. Екимовская В.А.

Задача о качественном распылении жидкости топливной форсункой, краскопультом или увлажнителем воздуха привела к изучению математических особенностей дробления капелек тумана. Математическая задача появилась при наблюдении капелек конденсата на холодных поверхностях. После начала исследования задача перешла в область математики, связанную с фракталами. Цель работы заключается в исследовании площади покрытия многоугольника фрактальными кругами. Практический эффект – распылитель жидкости.

**Ключевые слова:** форсунка, фрактал, жидкость.

Математическая задача была сформулирована после наблюдения капелек тумана и конденсата на холодных поверхностях, а также пузырьков в мыльной пене. Сразу появился вопрос о размере пузырьков

или капелек. Могут ли размеры капелек быть произвольными? Почему наблюдается некоторая упорядоченность в расположении капелек конденсата? Ответы на эти вопросы связаны с фрактальной математикой [1].

Запотевшая за ночь полиэтиленовая плёнка было сфотографирована полупрофессиональной зеркальной фотокамерой для получения снимка с самым большим разрешением и максимальной информативностью. Как исходная фотография, так и увеличенный её фрагмент сразу же определили первый вопрос для исследования: «Почему капельки воды на запотевшей полиэтиленовой плёнке в основном дробятся в треугольниках, вписываясь в них?» Сразу после начала исследования задача перешла в область математики, связанную с фракталами, потому что была замечена закономерность в уменьшении размеров пузырьков [1, 2]. Применение теории фракталов позволило математически обосновать наблюдаемую закономерность расположения капелек в конденсате на холодной поверхности, связанную с капиллярностью и поверхностным натяжением, которые изучал Д.И. Менделеев [1, 3]. Получены результаты, связанные с фрактальными последовательностями окружностей, вписанных в многоугольники. Получена общая формула заполнения правильных многоугольников фрактальными кругами с уменьшением размеров фрактальных окружностей при решении задач [4–6].

**Задача 1.** Правильный треугольник с фрактальными кругами. Вычислить отношение площадей вписанных в правильный треугольник фрактальных кругов к площади треугольника.

Определено отношение площадей всех вписанных в треугольник фрактальных кругов к площади этого треугольника.

Процесс решения задачи кратко показан на рис. 1.

**Последовательность площадей фрактальных кругов**

$$S_1; \frac{S_1}{3}; \frac{S_1}{3 \cdot 3^2}; \frac{S_1}{3 \cdot 3^4}; \frac{S_1}{3 \cdot 3^6}; \dots; \frac{S_1}{3 \cdot 3^{2n-2}}; \dots$$

В этой последовательности первый член обособлен и не описывается общей формулой, поэтому

$$S_{\text{кр3}} = S_1 + \frac{b_1}{1-q} = S_1 + \frac{\left(\frac{S_1}{3}\right)}{1-\frac{1}{9}} = S_1 + \frac{3S_1}{8} = \frac{11S_1}{8}$$



$$\frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{ABC}}} = \frac{\left(\frac{11\pi a^2}{96}\right)}{\left(\frac{a^2\sqrt{3}}{4}\right)} = \frac{11\pi}{24\sqrt{3}} = \frac{11\pi\sqrt{3}}{72} \approx 0,831325$$

**Задача 1 решена**

Рис. 1. Решение задачи о фрактальных кругах в треугольнике



**Лемма 1.** Коэффициент подобия окружностей, вписанных в угол. Был определён коэффициент подобия двух касающихся друг друга окружностей, вписанных в угол, считая меньшую окружность подобную большей.

Доказательство этой леммы иллюстрируется схемой, представленной на рис. 2.

**Метод индукции (от частного к общему) в математике применяется реже метода дедукции (от общего к частному)**

**Обоснование метода – математическая задача появилась из физики**

**Лемма 1.**  
**Коэффициент подобия окружностей, вписанных в угол**  
 Коэффициент подобия двух касающихся друг друга окружностей, вписанных в угол  $\varphi$ , равен  $k_\varphi = \frac{1 - \sin \frac{\varphi}{2}}{1 + \sin \frac{\varphi}{2}}$ , считая меньшую окружность подобную большей.



**Пример-проверка: для угла 60 градусов (Задача 1)**

$$k_{60} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{1 - \sin \frac{60^\circ}{2}}{1 + \sin \frac{60^\circ}{2}} = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{1 - \frac{1}{2}}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{1}{3}$$

Рис. 2. Доказательство обобщающей леммы

**Задача 2.** Квадрат с фрактальными кругами. Вычислить отношение площадей вписанных в квадрат фрактальных кругов к площади квадрата.

Определено отношение площади всех фрактальных кругов в квадрате к площади квадрата. Получилось, что в квадрате очень мало площади приходится на фрактальные круги второго и более высокого уровней, для них «просто нет места», тогда как в правильном треугольнике такое место для фрактальных кругов второго уровня было. Это показано на рис. 3.

**Формальная постановка второй задачи**  
**Задача 2. Квадрат с фрактальными кругами.**  
**Вычислить отношение площадей вписанных в квадрат фрактальных кругов к площади квадрата.**

$$k_{90} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{1 - \sin 45^\circ}{1 + \sin 45^\circ} = \frac{1 - \frac{\sqrt{2}}{2}}{1 + \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{2 - \sqrt{2}}{2 + \sqrt{2}} = \frac{(2 - \sqrt{2})(2 - \sqrt{2})}{(2 + \sqrt{2})(2 - \sqrt{2})} = \frac{4 - 4\sqrt{2} + 2}{4 - 2} = 3 - 2\sqrt{2} \approx 0,1716$$

**Последовательность площадей фрактальных кругов**

$$S_1, 4S_1(3 - 2\sqrt{2})^2, 4S_1(3 - 2\sqrt{2})^4, 4S_1(3 - 2\sqrt{2})^6, \dots, 4S_1(3 - 2\sqrt{2})^{2n-2}, \dots$$

В этой последовательности первый член обособлен и не описывается общей формулой

**Результат решения задачи 2**

$$\frac{S_{k_{90}}}{S_{kv}} = \frac{\pi(3\sqrt{2} - 2)}{8} \approx 0,88068$$

**Задача 2 решена**



Рис. 3. Решение задачи 2

**Задача 3.** Правильный  $n$ -угольник с фрактальными кругами. Вычислить отношение площадей вписанных в правильный  $n$ -угольник фрактальных кругов к площади правильного  $n$ -угольника.

Определено отношение общей площади всех фрактальных кругов к площади правильного  $n$ -угольника (рис. 4).

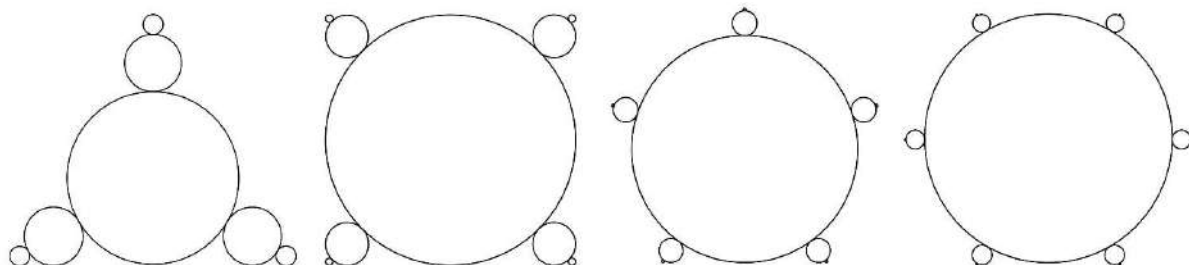


Рис. 4. Дробление фрактальных кругов в многоугольниках

Проверено соответствие общей формулы частному случаю правильного треугольника. При  $n = 3$  получаем уже известный результат. Общая формула, полученная в результате решения задачи 3, привела к тому же самому результату, что и частная формула при решении 1-й задачи.

## Выводы

1. Получена общая формула отношения площади кругов, как сходящейся геометрической прогрессии, к площади правильного многоугольника.

2. Фрактальные круги в правильных треугольниках наиболее часто и в основном встречаются в природе из-за наиболее медленного убывания геометрической прогрессии, а потому медленного роста в них давления от поверхностного натяжения.

3. Намечен план исследования фрактальных шаров в многогранниках в трёхмерном пространстве.

4. Предложено новое техническое устройство – фрактальная форсунка.

## Литература

1. Кириллов А.А. Повесть о двух фракталах. Современная математика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mccme.ru/dubna/2007/notes/kirillov-preprint.pdf> (дата обращения: 14.04.2020).

2. Поверхностное натяжение // Физический энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров; ред. кол. Д.М. Алексеев [и др.]. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 551–552.

3. Площадь правильного многоугольника [Электронный ресурс]. URL: <https://www.resolventa.ru/spr/planimetry/regular.htm#reg1> (дата обращения: 14.04.2020).

4. Екимовская А.А. Фрактальное заполнение правильного треугольника кругами // V Музруковские чтения: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Саров, 2019.

5. Екимовская А.А. Фрактальная модель конденсата // Наука и инновации в технических университетах 2019: сб. матер. 13-го Всерос. форума студентов аспирантов и молодых учёных. Санкт-Петербург, 2019.

6. Екимовская А.А., Лебедев В.В. Фрактальная конденсация // Междунар. инновац. конф. молодых учёных и студентов по современным проблемам машиноведения МИКМУС-2019. Москва, 2019.

УДК 691-408.62

## МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА САРРЮСА – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Екимовская В.А.  
ФГБОУ ВО НИУ «МГСУ», г. Москва  
lera.ek00@mail.ru  
Науч. рук. Лебедев В.В.

С целью уменьшения габаритных размеров конструкций и элементарных ячеек композиционных материалов предложено улучшение известного трёхмерного механизма Саррюса. Для достижения цели соединительные шатуны площадок складываются не наружу, как в прототипе, а внутрь. Это важно для ферм. При доработке получилась модель трёхмерного ауксетика, то есть перспективного материала с отрицательным коэффициентом Пуассона.

**Ключевые слова:** механизм, шарнир, рычаг, ферма, ауксетик.

В работах Д.С. Лисовенко исследованы ауксетика, то есть материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона [1]. При растягивающей нагрузке такие материалы увеличивают толщину, а не сжимаются, как обычно мы наблюдаем это в природе. Оказалось, что такими свойствами

обладает система трёхмерных механизмов Саррюса [2]. Этот механизм позволяет получить прямолинейное движение звена. Однако традиционная схема механизма Саррюса не проявляет ауксетических свойств, потому что в нём соединительные шатуны складываются наружу. При растяжении двух параллельных площадок соединяющие их два рычага, коромысло и шатун, распрямляются, поэтому размеры конструкции уменьшаются в поперечном направлении. В некоторых схемах этого механизма применялось сложение соединительных рычагов внутрь конструкции, но полного развития и окончательного оформления технического предложения такая идея не получила, потому что рычаги мешают друг другу двигаться.

Новым техническим предложением является создание фигурных соединительных рычагов, складывающихся внутрь конструкции с целью уменьшения поперечных габаритных размеров. Если соединительные рычаги изготовить в виде пластин не квадратной или прямоугольной формы, а в виде трапеций с такими углами при основании, чтобы при сложении пластины не задевали друг за друга, то механизм будет работать точно так же, как и прототип. Модель такого механизма была изготовлена из бумаги, на ней была подтверждена правильность нового технического решения.

Недостатком предлагаемого механизма Саррюса является ограничение величины растяжения параллельных площадок при сложении соединительных рычагов внутрь конструкции. Если в традиционной схеме механизма Саррюса соединительные рычаги можно изготовить в виде прямоугольников с большой боковой стороной, обеспечив разведение параллельных площадок на удвоенную большую сторону прямоугольника, то при внутреннем сложении расстояния ограничены размерами рабочих площадок механизма. Чтобы устранить этот недостаток, была предложена схема последовательного соединения нескольких механизмов Саррюса. Эта схема работает как при внешнем сложении соединительных рычагов сколь угодно большой длины, так и при внутреннем сложении ограниченных по длине рычажных звеньев. Схема доработки известного традиционного механизма Саррюса до принципиально новой конструкции показана на рисунке. На первой фотографии изображён традиционный механизм Саррюса, но два таких устройства соединены последовательно. На второй фотографии показано, как внутреннее сложение рычагов может уменьшить габариты механизма. На третьем рисунке показан сложенный традиционный механизм Саррюса. На предпоследней фотографии приведена модель нового механизма Саррюса, который складывается

в один квадрат, а не в пять квадратов, как традиционное устройство. Наконец, последняя фотография иллюстрирует ауксетические свойства соединения множества предложенных механизмов, то есть отрицательный коэффициент Пуассона.

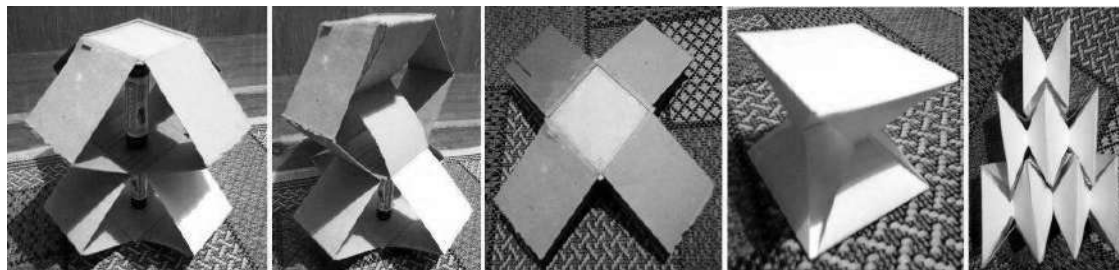


Схема доработки механизма Саррюса

В процессе изучения нового механизма Саррюса было открыто свойство ауксетика при комбинации таких конструкций. В поперечном сечении новый механизм Саррюса повторяет ячейку часто цитируемого ауксетика [3]. При этом рычажные механизмы-сечения в известной схеме соединяются друг с другом в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Однако такой ауксетик является двумерным с расширением в одном направлении при растяжении в другом направлении. Новый механизм позволяет изготовить трёхмерный ауксетик с расширением в двух направлениях при растяжении в третьем направлении. Более того, квадратную рабочую площадку можно заменить другими видами фигур, например, правильными многоугольниками.

Идея создания новой ячейки ауксетика появилась после изучения работ А.И. Драцкой по мыльным плёнкам, натянутым на проволочный кубический каркас [4, 5]. Действительно, известный плоский ауксетик получается, если из ячейки Штейнера исключить отрезок-перемычку. Ячейка Штейнера – это плоская линия, из пяти отрезков, которая самым коротким способом соединяет четыре вершины квадрата. Точно также можно исключить отрезки из пространственной кубической структуры и ожидать появления свойств ауксетика. Так оно и получилось. Ауксетические свойства изучает А.И. Драцкая, а целью этой работы является техническое применение нового механизма Саррюса с внутренним сложением рычагов.

Практическое применение новый механизм Саррюса с уменьшенными габаритными размерами может найти в космической технике для развёртывания больших ферменных конструкций, например, солнечных

батарей. Энергопотребление перспективных космических аппаратов и станций увеличивается при сохранении жёстких ограничений на массу и габариты конструкций. В земных условиях новый механизм Саррюса может быть применён для создания подъёмных строительных лесов, площадок, ферм или для переносных быстро возводимых укрытий. Прочностной расчёт конструкций с фермами Саррюса основан на параметрическом исследовании нагрузки стержней или пластин при различных углах взаимной ориентации. Новый механизм, как и традиционное устройство, обладает одной степенью свободы, поэтому для фиксации рабочих площадок или всей конструкции в конечном виде потребуется установить дополнительные упоры, нагрузка на которые тоже будет зависеть от рабочих углов между рычагами.

Таким образом, новый механизм Саррюса позволяет не только уменьшить габаритные размеры перспективных конструкций, но и обладает ауксетическими свойствами при определённой комбинации его конструкций.

## Литература

1. Лаврентьев С.Ю., Лисовенко Д.С., Ченцов А.В. Механические свойства двумерной ауксетической конструкции // 44-е Гагаринские чтения 2018: сб. матер. Междунар. молод. науч. конф. Москва, 2018. С. 76–78.
2. Механизм Саррюса [Электронный ресурс]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1562130> (дата обращения: 14.04.2020).
3. Ауксетики – материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона. Кафедра Статистической физики Физического факультета Санкт-Петербургского государственного университета [Электронный ресурс]. URL: [https://vk.com/video-3519369\\_163344968](https://vk.com/video-3519369_163344968) (дата обращения: 14.04.2020).
4. Драцкая А.И. Геометрические формы новых композиционных материалов на основе мыльных плёнок [Электронный ресурс] // Старт в науке V: сб. матер. V Междунар. конкурс науч.-исслед. и твор. работ учащихся. Москва, 2018. URL: <http://files.school-science.ru/pdf/5/35386.pdf> (дата обращения: 14.04.2020).
5. Драцкая А.И. Прямой метод решения задачи Штейнера о соединении восьми вершин куба самой короткой линией [Электронный ресурс] // Старт в науке VI: сб. матер. VI Междунар. конкурс науч.-исслед. и творч. работ учащихся. Москва, 2018. С. 381–388. URL: <http://files.school-science.ru/pdf/6/5c08dce6bb499.pdf> (дата обращения: 14.04.2020).

## ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГРАДИЕНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЯДРАХ La В СИСТЕМЕ $\text{La}_2\text{CuO}_4$ . ПЕРЕХОД 5/2-3/2

Китанин Д.С.<sup>1</sup>, Фролов А.С.<sup>1</sup>, Мухлина Е.С.<sup>1</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kitaninds@gridcom-rt.com

Науч. рук. Погорельцев А.И.

Приведены результаты исследования изменений по температуре градиентов электрических полей на ядрах La в системе  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ . Исследовался переход 5/2-3/2. В качестве «опоры» использовались частоты ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР), полученные из экспериментального исследования купрата лантана методом ЯКР  $^{139}\text{La}$ . Изучалась температурная зависимость расщепления ЯКР линий для данного перехода. Был проведен анализ распределения электронной плотности в рамках теории Р. Бейдера и функции локализации электронов (ELF).

**Ключевые слова:** резонансная спектроскопия, ядерный квадрупольный резонанс, градиент электрического поля (ГЭП), квадрупольные параметры, ab initio расчеты электронной структуры, распределение электронной плотности, функция локализации электронов (ELF).

Ранее нами [1] были выполнены исследования особенностей магнитного упорядочения в системе  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  методами ЯКР  $^{139}\text{La}$ . Спектр ЯКР  $^{139}\text{La}$  состоял из 9 линий в частотном диапазоне 2–20 МГц. Этот сложный спектр образуется в результате взаимодействия квадрупольного момента ядра с градиентом электрического поля (ГЭП) и его магнитного момента с локальным магнитным полем в месте расположения ядра. На рис. 1 приведена температурная эволюция расщепления линии ЯКР  $^{139}\text{La}$  для перехода 5/2–3/2.

Приведенные на рис. 1 данные были использованы для получения соответствующих ЯКР частот – если считать, что параметр асимметрии мал ( $\eta < 0,1$ ), то частота  $\nu_Q$  определяется полусуммой верхней и нижней наблюдаемых частот при заданной температуре. Таким образом мы получили ряд ЯКР частот при различных температурах. Эти частоты были использованы в качестве «опорных» при расчетах температурной зависимости ГЭП. Оценки параметров градиента электрического поля на ядре La проводили кластерным методом – использовался кластер  $\text{La}_{10}\text{Cu}_5\text{O}_{29}^n$  ( $n$  – заряд кластера, который необходимо подобрать) – рис. 2.

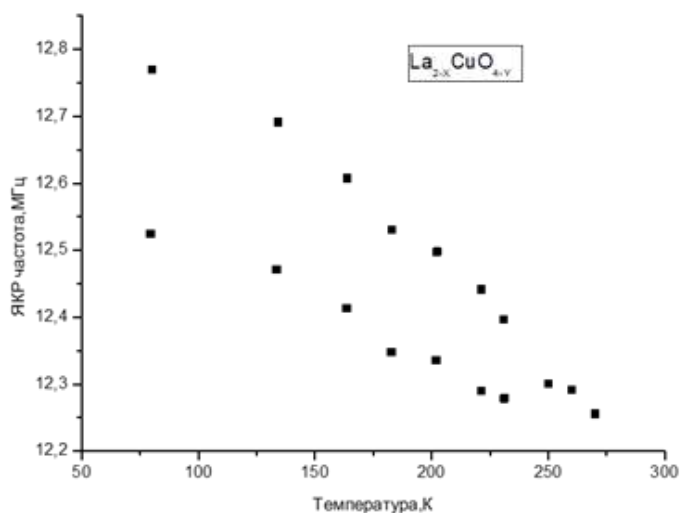


Рис. 1. Температурная эволюция спектра ЯКР  $^{139}\text{La}$  в системе  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ , соответствующая переходу  $5/2 - 3/2$

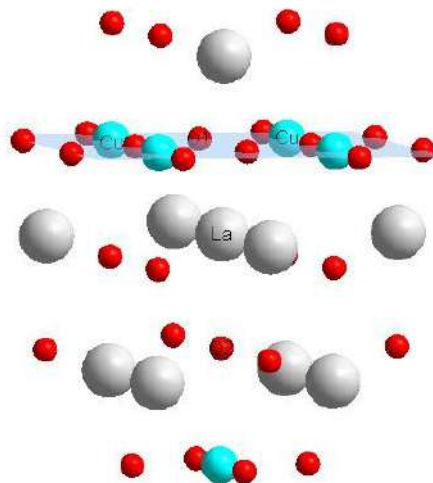


Рис. 2. Кластер  $\text{La}_{10}\text{Cu}_5\text{O}_{29}^n$

Расчеты градиентов электрических полей на ядрах  $^{139}\text{La}$  были выполнены в рамках самосогласованного ограниченного метода Хартри – Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF). Была использована программа Firefly [2]. Заряд кластера менялся в диапазоне от  $-10$  до  $10$ . При использовании выбранной модели удалось получить хорошее соответствие практически со всеми экспериментальными точками температурной зависимости  $\nu_Q$  – наибольшее отклонение от эксперимента составляло  $20$  кГц.

Для ряда точек был выполнен анализ карт распределения электронной плотности в рамках теории Р. Бейдера [3], а также проведены исследования методом ELF (функция локализации электронов) [4].



## Литература

1. La-139 NQR Investigation in  $\text{La}_2\text{CuO}_f$  / A.I. Pogoreltsev [et al.] // NQI newsletter. 1995. Vol. 1, No. 4. P. 12.
2. Granovsky A.A. Firefly computational chemistry program [Electronic resource]. URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html> (date of application: 14.04.2020).
3. R.F.W. Bader. Atoms in Molecules: A Quantum Theory. Clarendon Press, 1994. 458 p.
4. Becke A.D. and Edgecombe K.E. A simple measure of electron localization in atomic and molecular systems // Journal of Chemical Physics. 1990. Vol. 92, Is. 9. Pp. 5397–5404.

УДК 621-313.3

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В СИСТЕМЕ $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_4$ . НЕМАГНИТНАЯ ФАЗА

Плотникова Ю.Д.<sup>1</sup>, Фролов А.<sup>2</sup>, Ахметзянова Г.И.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>kozyr\_j@list.ru, <sup>3</sup>gulshat\_ahmetzyanova@mail.ru

Науч. рук. Погорельцев А.И.

Приведены результаты предварительных исследований распределения электронной плотности в системе  $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_4$ . Исследовалась немагнитная фаза. В качестве «опоры» использовали частоту несколько ниже начала фазового перехода для системы  $\text{La}_2\text{Cu}_{0,92}\text{Ni}_{0,08}\text{O}_4$ , которая была выбрана 12,6 МГц. Был проведен анализ распределения электронной плотности в рамках теории Р. Бейдера и функции локализации электронов. Показано, что наблюдаются заметные различия в распределении электронной плотности по линиям связи Cu-O и Ni-O, что в конечном итоге может привести к наблюдаемому изменению ГЭП на ядрах лантана.

**Ключевые слова:** резонансная спектроскопия, ядерный квадрупольный резонанс, градиент электрического поля (ГЭП), квадрупольные параметры, ab initio расчеты электронной структуры, распределение электронной плотности, функция локализации электронов (ELF).

Ранее нами [1] были выполнены исследования системы  $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_4$  ( $x = 0,0 \dots 0,08$ ) методом ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) на ядрах  $^{139}\text{La}$ . Было, в частности установлено, что допирование купрата лантана  $\text{La}_2\text{CuO}_4$  никелем приводит к заметному уширению резонансных линий.

В настоящей работе мы провели предварительные исследования распределения электронной плотности в системе  $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_4$ . В качестве «опоры» с учетом уширения спектральных линий использовали частоту на 200 кГц ниже начала фазового перехода (12,8 МГц) для системы  $\text{La}_2\text{Cu}_{0,92}\text{Ni}_{0,08}\text{O}_4$ , которая составляет 12,6 МГц. Оценки параметров градиента электрического поля (ГЭП) на ядре La проводили кластерным методом – использовался кластер  $\text{La}_{10}\text{Cu}_4\text{NiO}_{29n}$  ( $n$  – заряд кластера, который необходимо подобрать) – рис. 1. Атом Ni замещал атом Cu в медь-кислородной плоскости. Оценки градиентов электрических полей (ГЭП) на ядрах  $^{139}\text{La}$  были выполнены в рамках самосогласованного ограниченного метода Хартри – Фока с открытыми оболочками (SCF-LCAO-ROHF). Была использована программа Firefly [2]. Заряд кластера менялся в диапазоне от  $-10$  до  $10$ .

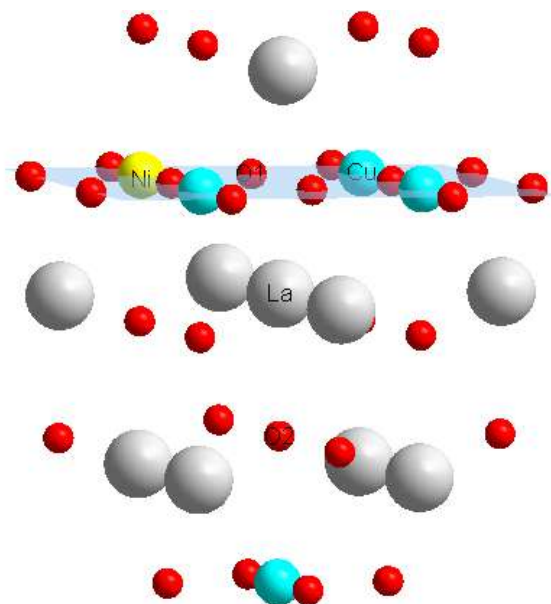


Рис. 1. Кластер  $\text{La}_{10}\text{Cu}_4\text{NiO}_{29n}$

Частоты для перехода  $5/2-3/2$  получались решением соответствующего секулярного уравнения. Достаточно хорошее согласие с экспериментом было получено для  $n = -3$  (ROHF базис MIDI). В этом случае квадрупольная частота  $\nu_Q = 12,6105$  МГц, а параметр асимметрии  $\eta = 0,0115$ . Для кластера  $\text{La}_{10}\text{Cu}_4\text{NiO}_{29-3}$  строились карты распределения электронной плотности. Анализ распределения электронной плотности проводился в рамках теории Р. Бейдера [3]. Далее полученные бейдеровские волновые функции были использованы для исследования методом ELF (функция локализации электронов) [4].

На основе проведенного анализа можно предположить, что при допировании купрата лантана атомами Ni происходит заметное перераспределение электронной плотности в области атома Ni, что, в конечном итоге, и приводит к наблюдаемому изменению ГЭП на ядрах лантана.

### Литература

1. Особенности магнитного упорядочения в системе  $\text{La}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{T}_x)\text{O}_4$  ( $T = \text{Zn}, \text{Ni}$ ) по данным ЯКР  $^{139}\text{La}$  / А.И. Погорельцев [и др.] // Письма в ЖЭТФ. 1995. Т. 62, вып. 7. С. 552–556.

2. Granovsky A.A. Firefly computational chemistry program [Electronic resource]. URL: <http://classic.chem.msu.su/gran/firefly/index.html> (date of application: 14.04.2020).

3. R.F.W. Bader. Atoms in Molecules: A Quantum Theory. Clarendon Press, 1994. 458 p.

4. Becke A.D. and Edgecombe K.E. A simple measure of electron localization in atomic and molecular systems // Journal of Chemical Physics. 1990. Vol. 92, Is. 9. Pp. 5397–5404.

УДК 539.143.43

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗМЕРОВ КРИСТАЛЛИТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА И РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В РЕЛАКСАЦИИ ЯДЕРНЫХ СПИНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ СОЕДИНЕНИИ $\text{CuFeS}_2$

Севастьянов И.Г.<sup>1</sup>, Гавриленко А.Н.<sup>2</sup>, Шульгин Д.А.<sup>3</sup>,

Матухин В.Л.<sup>4</sup>, Шмидт Е.В.<sup>5</sup>

<sup>1,2,4,5</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

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

<sup>1</sup>sevilya1985@mail.ru, <sup>2</sup>ang\_2000@mail.ru, <sup>3</sup>dima.shulgin@rambler.ru,

<sup>4</sup>matukhinvl@mail.ru, <sup>5</sup>ev-shmidt@mail.ru

Приводятся результаты экспериментального исследования размеров кристаллитов с помощью электронного микроскопа и влияния размеров кристаллитов порошка на форму и ширину линий ЯМР  $^{63}\text{Cu}$  в халькопирите, а также на времена спин-решеточной и спин-спиновой релаксации.

**Ключевые слова:** ядерный магнитный резонанс (ЯМР), спин-решеточная релаксация, спин-спиновая релаксация, размерный эффект, электронный микроскоп, полупроводниковые солнечные элементы.

В настоящей работе проведен анализ результатов исследований методами ядерного резонанса перспективного полупроводникового соединения халькопирит, который принадлежит к ряду медно-железных сульфидов [1]. Выполненные низкотемпературные исследования при 77 К резонансных спектров в данном соединении [2, 3] на ядрах  $^{63}\text{Cu}$  выявили их сложную структуру, связанную с наличием внутреннего магнитного поля, обусловленного присутствием в их составе магнитного атома железа Fe.

Изначально размеры кристаллитов оценивались «на глаз» – использовались сита с различной пропускающей способностью, однако, для самых мелких образцов подходящего инструментария не было и пришлось использовать математические методы для получения информации о размерах, такие как усреднение. В дальнейшем же были проведены исследования с помощью электронного микроскопа, которые позволили уточнить и скорректировать данные о размерах кристаллитов. Ниже приведен один из снимков кристаллита полученный с помощью электронного микроскопа (рис. 1).

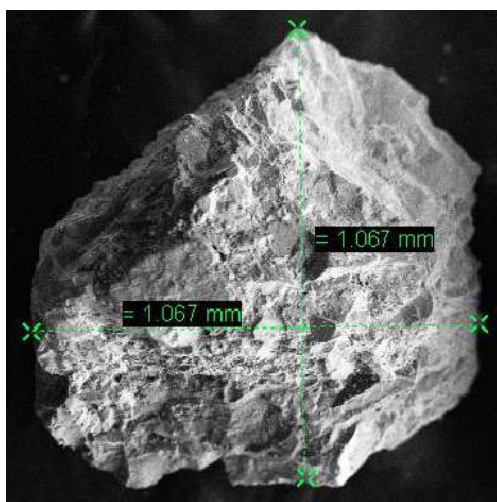


Рис. 1. Образец под микроскопом

Влияние размеров кристаллитов порошка на ширину линий ЯМР иллюстрирует таблица, где  $d$  – средний размер (диаметр) кристаллита порошка.

Ширина центральной линии в зависимости от размеров кристаллитов

$d$ , мкм	600	75	28	0,3
Linewidth, кГц	110,87	243,88	504,51	745,13

Для образца из крупных кристаллов ( $d = 600$  мкм) получено обобщённое  $T_1 = 1,021$  с; для измельченных образцов после обработки и округления получили:  $d = 75$  мкм –  $T_1 = 0,96$  с,  $d = 28$  мкм –  $T_1 = 0,82$  с  $d = 0,3$  мкм –  $T_1 = 0,623$  с (рис. 2).

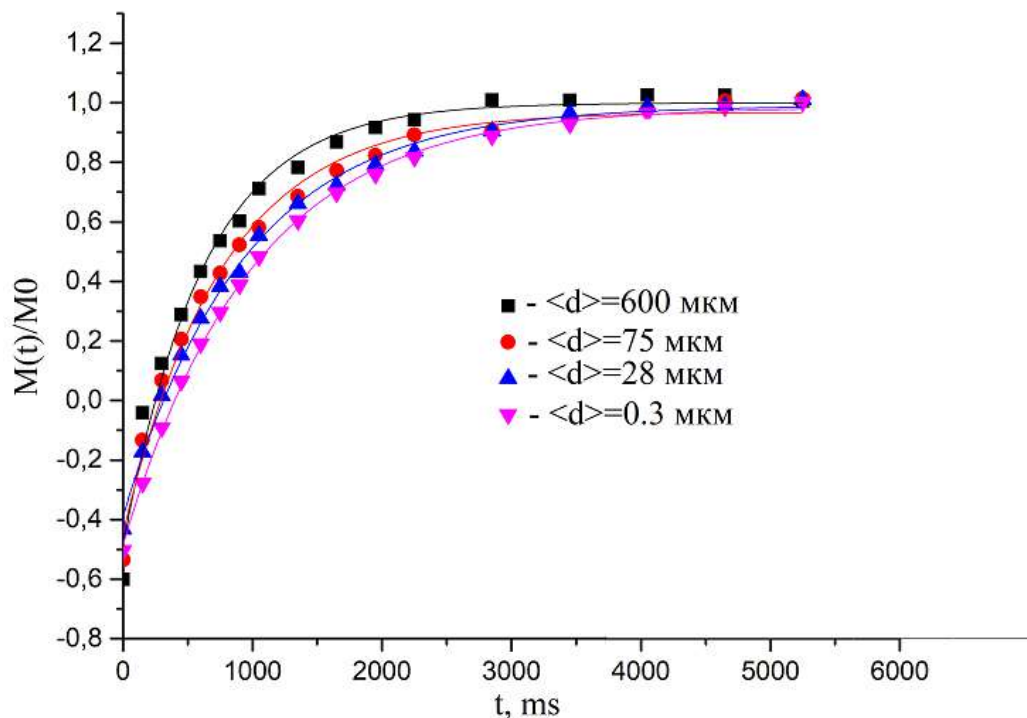


Рис. 2. Результаты эксперимента по вычислению  $T_1$

Установлено, что ширина линий ЯМР при прямом методе детектирования увеличивается, а время спин-решеточной релаксации сокращается с уменьшением среднего размера кристаллитов, что обусловлено, главным образом, процессом спин-спиновой диффузии. Мы предполагаем, что такие изменения могут быть связаны с увеличением количества дефектов у более мелких образцов или с изменением отношения площади поверхности кристаллитов к их объёму.

### Литература

1. Cabri, L.J. New Data on Phase Relations in the Cu-Fe-S System // Economic Geology. 1973. Vol. 68, No. 4. Pp. 443–454.
2. Особенности распределения электронной плотности в  $\text{CuFeS}_2$  по данным ЯМР  $^{63,65}\text{Cu}$  в локальном поле / А.И. Погорельцев [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2013. Т. 80, № 3. С. 362–367.

3. Оценки констант сверхтонкого взаимодействия и распределение спиновой плотности в области ядер меди в кубаните / А.И. Погорельцев [и др.] // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 35, № 8. С. 126–132.

УДК 620.9

## АНОДНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО ГЕРМАНИЯ ДЛЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Фатыхов Р.Р.<sup>1</sup>, Хантимеров С.М.<sup>2</sup>, Сулейманов Н.М.<sup>3</sup>, Базаров В.В.<sup>4</sup>, Лядов Н.М.<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань

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

<sup>1</sup>nice.fatyhov@mail.ru

Были изготовлены образцы пористого германия, полученные путем ионной имплантации ионов  $\text{Co}^+$  в монокристаллические пластины германия. Методом сканирующей электронной микроскопии исследована их морфология и установлено, что при дозе облучения ионами  $\text{Co}^+$  равной  $6 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> в полученных образцах возникают поры, размеры которых достигают 50 нм. Обсуждается возможность применения таких материалов в качестве анодов литий-ионных аккумуляторов.

**Ключевые слова:** литий-ионный аккумулятор, электрод, анодный материал, пористый германий, ионная имплантация, интеркаляция.

В настоящее время литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) внесли важный вклад в развитие технологий портативных устройств и рассматриваются как основной кандидат для энергоснабжения спутников, электромобилей в качестве резервного источника питания [1]. Как известно, ЛИА состоят из катода и анода, которые разделены электролитом, но их границы прозрачны для ионов лития (рис. 1) [2]. Принцип работы ЛИА основан на периодической интеркаляции и деинтеркаляции ионов лития в материалы анода и катода. В качестве катода обычно используются литиевые оксиды переходных элементов, в частности  $\text{LiCoO}_2$ . Многие работы исследователей направлены на изучение свойств данного катодного материала с целью улучшения его удельных характеристик [3, 4].

В качестве коммерческого анодного материала в ЛИА используется графит, однако он имеет относительно низкую теоретическую емкость, что служит препятствием для получения высокоемкостных аккумуляторов [5].

В последнее время в мире широко исследуются возможности использования различных наноструктурированных и пористых материалов с целью повышения удельных характеристик ЛИА.

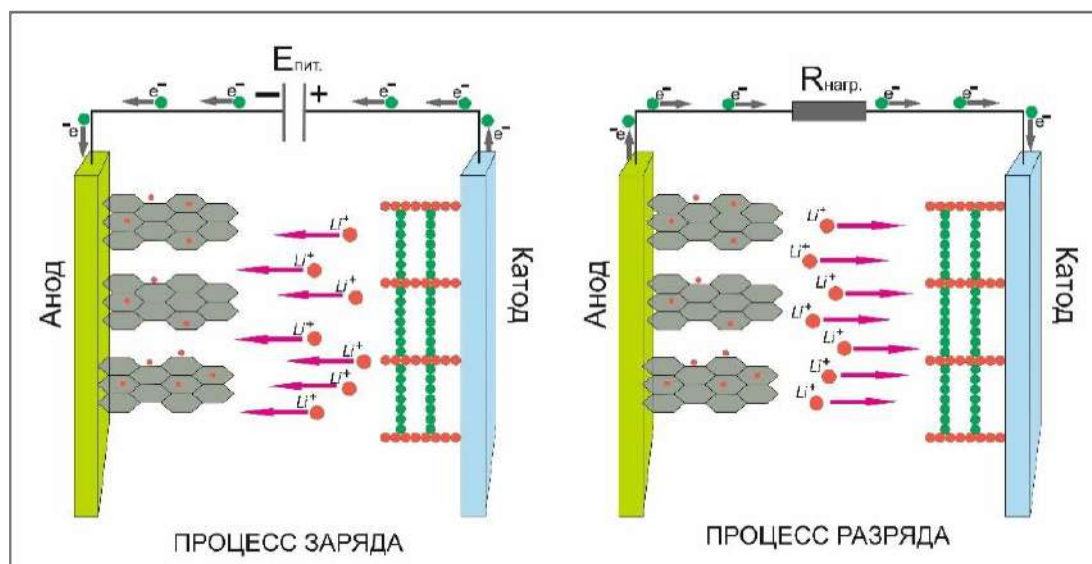


Рис. 1. Принцип работы литий-ионной ячейки: процесс заряда и разряда

В данной работе исследуются новые материалы для анодов ЛИА на основе пористого германия, полученные путем ионной имплантации ионов  $\text{Co}^+$  в монокристаллические пластины германия. Для этого монокристаллические пластины Ge толщиной несколько сотен мкм подвергались облучению ионами  $\text{Co}^+$  с энергией 40 кэВ при дозе  $D = 6 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. В результате этого приповерхностный слой монокристаллической пластины Ge приобрел пористую структуру.

Исследование морфологии полученных образцов Ge было выполнено методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на установке Carl Zeiss EVO 50XVP. Было установлено (рис. 2), что в результате облучения ионами  $\text{Co}^+$  происходит формирование пор на поверхности образца Ge, и размер пор достигает  $\sim 50$  нм.

Предполагается, что данный размер пор позволит ионам лития беспрепятственно адсорбироваться как на поверхности, так и в порах, что позволит увеличить емкость и скорость заряда/разряда относительно традиционно используемого графита.

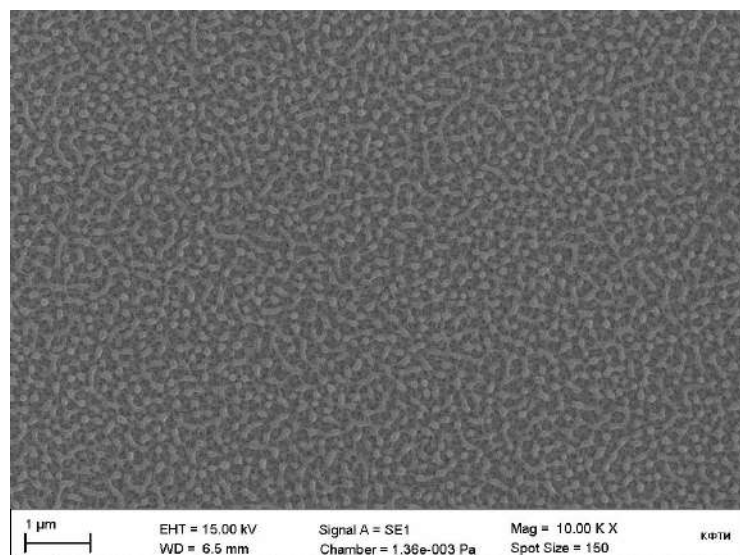


Рис. 2. СЭМ-изображение поверхности образца Ge, подвергнутого облучению ионами  $\text{Co}^+$

Таким образом, был разработан анодный материал на основе пористого Ge с размерами пор порядка 50 нм. В последующих экспериментах планируется формирование пор различного размера на поверхности образца Ge путем варьирования дозы облучения ионами  $\text{Co}^+$  и исследование его зарядно-разрядных характеристик.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10216).

## Литература

1. Goodenough J.B., Kyu-Sung P. The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective // *Journal of the American Chemical Society*. 2013. Vol. 135, Is. 4. Pp. 1167–1176.
2. Da Deng. Li-ion batteries: basics, progress, and challenges // *Energy Science & Engineering*. 2015. Vol. 3, Is. 5. Pp. 385-418.
3. Kalluri S., Yoon M., Joet M. al. Li-Ion Cells: Surface Engineering Strategies of Layered  $\text{LiCoO}_2$  Cathode Material to Realize High-Energy and High-Voltage Li-Ion Cells // *Advanced Energy Materials*. 2017. Vol. 7, Is. 1.
4. Shao-Horn Y. et al. Atomic resolution of lithium ions in  $\text{LiCoO}_2$  // *Nature Materials*. 2003. Vol. 2, Is. 7. Pp. 464-467
5. Li Y. et al. Separation and recovery of carbon powder in anodes from spent lithium-ion batteries to synthesize grapheme [Electronic resource] // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-46393-4> (date of application: 11.02.2020).



## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ КАЛИБРОВОЧНОГО ГРАФИКА НА СПЕКТРОФОТОМЕТРЕ 722N

Хван Д.В.<sup>1</sup>, Галлямов Т.И.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>dima.khvan.00@mail.ru, <sup>2</sup>timur230101@gmail.com

Науч. рук. Погорельцев А.И.

Приведены результаты исследований специфики построения калибровочных графиков на спектрофотометре 722N. Проведено обсуждение характеристик спектрофотометра. Рассмотрены пути нахождения рабочей длины волны облучения для построения калибровочного графика. Для ряда растворов соединений проведены построения калибровочных графиков.

**Ключевые слова:** оптическая спектроскопия, фотометрия, спектрофотометр, коэффициент пропускания, оптическая плотность.

Спектрофотометр 722N (рис. 1) относится к классу однолучевых сканирующих спектрофотометров.



Рис. 1. Спектрофотометр 722N

Диапазон исследуемых частот – 320...1020 нм. Кнопка **РЕЖИМ** производит переключение режимов. Светодиод, загорающийся у одной из букв, показывает режим, в котором в данный момент работает спектрофотометр:

**A** – определение оптической плотности  $D$ ;

**T** – определение пропускания  $\tau$ , %;

**C** – определение концентрации;

**F** – ввод коэффициента  $F$ .

Принцип действия обычного сканирующего спектрофотометра основан на измерении коэффициента пропускания на каждой отдельной длине волны. Свет сначала разделяют на отдельные длины волн с помощью дифракционной решетки. Решетка поворачивается, чтобы можно было выбрать каждую длину волны, которая направляется сквозь кювету. Коэффициент пропускания записывают на данной конкретной длине волны. Весь спектр получают непрерывным изменением длины волны света (т. е. сканированием), поступающего в раствор образца, посредством поворота решетки (рис. 2) [1]:

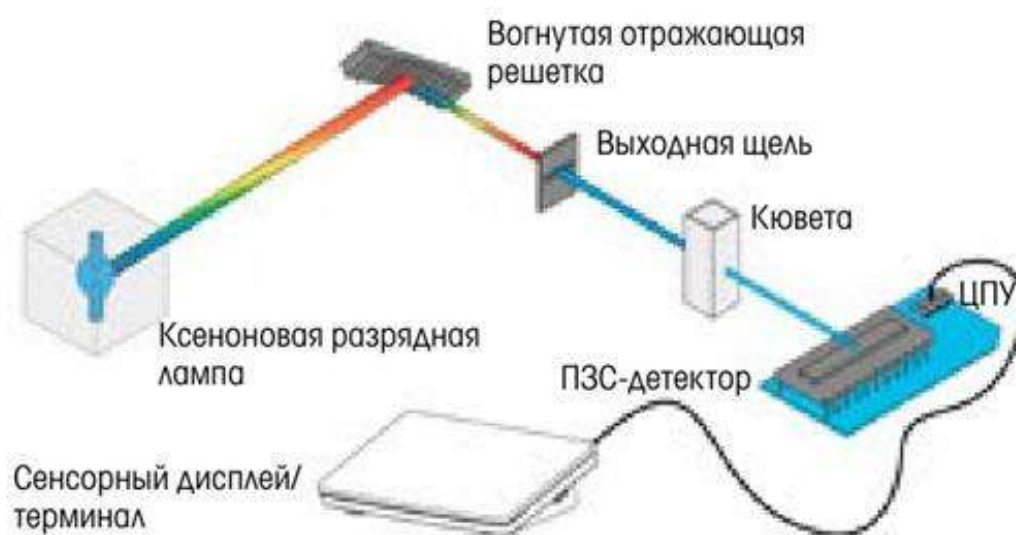


Рис. 2. Упрощенная оптическая схема сканирующего спектрометра

Количественные измерения или определение концентрации вещества методом UV/VIS спектроскопии основаны на законе Ламберта – Бера, согласно которому поглощение раствора прямо пропорционально концентрации поглощающего вещества в растворе и длине пути в кювете:

$$A = \varepsilon cd,$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент молярной экстинкции (поглощение света образцом толщиной в 1 см, содержащим 1 М раствор исследуемого вещества при длине волны  $\lambda$ );  $c$  – молярная концентрация раствора;  $d$  – оптический путь, или толщина образца, см.

Физический смысл молярного коэффициента поглощения становится ясен, если принять  $l = 1$  см,  $c = 1$  моль/л, тогда  $A = \varepsilon$ . Следовательно, молярный коэффициент поглощения равен оптической плотности одномолярного раствора с толщиной слоя 1 см. Молярный коэффициент поглощения – индивидуальная характеристика вещества, он зависит от природы вещества и длины волны и не зависит от концентрации и длины кюветы.

В то же время необходимо отметить, что основным параметром, измеряемым в UV/VIS спектроскопии, является коэффициент пропускания  $T = I/I_0$ , т. е. это отношение интенсивности пропускаемого света  $I$  к исходной интенсивности  $I_0$ . На самом деле коэффициент поглощения  $A$  представляет собой дополнительный результат, широко используемый при записи UV/VIS спектров. По определению он равен взятому со знаком минус логарифму коэффициента пропускания  $A = -\log(T)$ . Таким образом, при измерениях на каждой фиксированной длине волны необходимо проводить два измерения – измерение  $I_0$  (интенсивность холостого раствора – растворитель и т. п.) и измерение  $I$  (интенсивность раствора с образцом).

Для определения неизвестной концентрации раствора образца сначала необходимо построить калибровочную линию. Для этого измеряют поглощение света несколькими эталонными растворами разной известной концентрации на заранее заданной фиксированной длине волны и строят график зависимости  $A$  от  $c$ . Согласно закону Ламберта – Бера это будет линейная зависимость. Затем проводятся измерения  $A$  для образца с неизвестной концентрацией, и по величине измеренного  $A$  из графика определяют концентрацию  $c$ .

Первый шаг в количественном анализе – выбор подходящей длины волны. Обычно выбирают длину волны максимума пика, т. е. соответствующую пику диапазона поглощения, потому что в этом случае изменение поглощения для заданной концентрации будет максимальным и обеспечит большую чувствительность и точность измерений. Относительный эффект других веществ и примесей будет при этом меньше. Кроме того, меньше будет и скорость изменения поглощения с длиной волны, и измерение не будет так сильно зависеть от небольших ошибок в установке длины волны.

Для нахождения пика поглощения на спектрофотометре 722N необходимо вручную провести измерения всего спектра, что занимает достаточно много времени. Мы для определения пика поглощения использовали изготовленный нами USB спектрофотометр [2, 3]. В настоящее время для ряда образцов проводятся тестовые измерения.

### Литература

1. Руководство по спектрофотометрии в УФ- и видимом диапазоне: основы и применение [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mt.com/dam/MTRU/Brochures/LAB/ANA/UV\\_VIS/1789\\_UVVIS\\_Spectrophotometry\\_Guide\\_ru\\_LR.pdf](https://www.mt.com/dam/MTRU/Brochures/LAB/ANA/UV_VIS/1789_UVVIS_Spectrophotometry_Guide_ru_LR.pdf) (дата обращения: 14.04.2020).
2. Diffraction Grating Spectrometer Design and Collected Spectra. Thermano System [Электронный ресурс]. URL: [https://www.theremino.com/wpcontent/uploads/files/Spectrometer\\_Complements\\_ENG.pdf](https://www.theremino.com/wpcontent/uploads/files/Spectrometer_Complements_ENG.pdf) (дата обращения: 14.04.2020).
3. Thermano [Электронный ресурс]. URL: <http://www.theremino.com/> (дата обращения: 14.04.2020).

УДК 621.316.7

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И УМЕНЬШЕНИЯ ГЕНЕРАЦИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Альзаккар А.М.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ahmadalzakkar86@gmail.com

Науч. рук. Валеев И.М.

Представлены моделирование различных способов компенсации реактивной мощности электрической сети с использованием программы Matlab, где были смоделированы сеть, также проанализированы различные случаи для компенсации реактивной мощности и произведен выбор способа, который даст низкие значения гармоник.

**Ключевые слова:** гармоника, спектр, полное гармоническое искажение (ПГИ), нарушенное оборудование, антирезонансный, порядок резонанса.

Электричество обычно распределяется в виде трех волн напряжения, образующих трехфазную синусоидальную систему [1, 2]. Одной из характеристик такой системы является форма ее волны, которая всегда должна оставаться как можно ближе к чистой синусоидальной волне. Если искажения выходят за определенные пределы, как это часто бывает в сетях, включающих источники гармонических токов и напряжений, таких как дуговые печи, преобразователи статической мощности, системы освещения и т. д [3]. Форма сигнала должна быть исправлена [4].

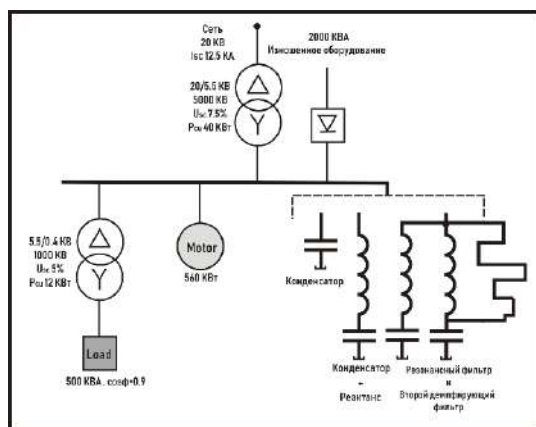


Рис. 1. Заданная электрическая сеть [4]

## Методика исследования

1-Конденсаторная батарея наиболее подходит для компенсации реактивной мощности:

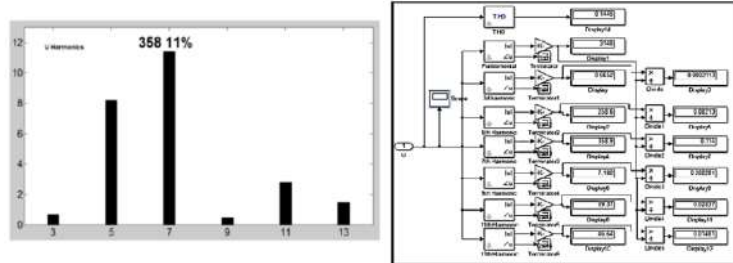


Рис. 2. Гармоники напряжения и гармонический спектр

Из рис. 2 общее гармоническое искажение напряжения 14,25 % для 5,5 кВ сети, по сравнению с максимально допустимым значением 5 %. Этот процент недопустим. Поэтому решение только с конденсаторами неприемлемо [5].

Таблица 1

Величины гармонических напряжений

Номера гармоник	3	5	7	9	11	13
Величина напряжения, %	0,02	8,21	11	0,22	2,8	1,4

2-резонансный шунтирующий фильтр, настроенный на 5-ю гармонику, и демпфирующий фильтр, настроенный на 7-ю гармонику:

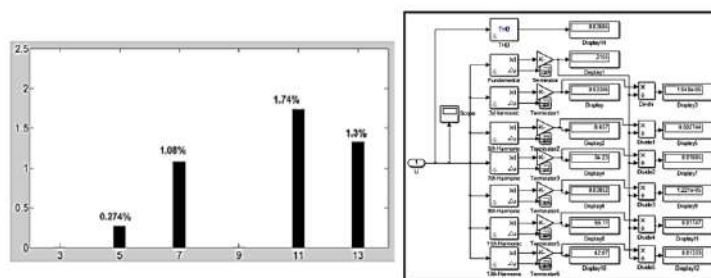


Рис. 3. Гармоники напряжения и гармонический спектр

Таблица 2

Величины гармонических напряжений

Номера гармоник	3	5	7	9	11	13
Величина напряжения, %	–	0,274	1,08	–	1,74	1,3

Из рис. 3 допустимо общее искажение напряжения в 3,6 %.

## Выводы и заключение

1. В случае электрических сетей, где кривая гармонического сопротивления сети (КГСС) меньше (5 %), реактивная мощность может быть компенсирована напрямую посредством конденсаторной батареи для компенсации реактивной мощности.

2. В случае электрических сетей, где (КГСС) больше (5 %), фильтры должны быть размещены параллельно с конденсаторной батареей для компенсации реактивной мощности.

3. Фильтры следует использовать для удаления электрических сетей от гармонических электрических устройств и компенсационных конденсаторов.

## Литература

1. Performance Evaluation of Harmonics on Power Quality: Case Study [Electronic resource] / Waleed Kaleid [et al.] // Proc. of the Int. Energy & Engineering Conf. Gaziantep University, Turkey, 2016. Pp. 564–579. URL: [https://www.researchgate.net/publication/320430821\\_PERFORMANCE\\_EVALUATION\\_OF\\_HARMONICS\\_ON\\_POWER\\_QUALITY\\_CASE\\_STUDY](https://www.researchgate.net/publication/320430821_PERFORMANCE_EVALUATION_OF_HARMONICS_ON_POWER_QUALITY_CASE_STUDY) (date of application: 15.02.2020).

2. Harmonics in power systems: Causes, effects and control: Whitepaper [Electronic resource]. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8ab2a02e-ad94-41cb-a362-438f016aa704/drive-harmonics-in-power-systems-whitepaper.pdf> (date of application: 15.02.2020).

3. Harmonics in Electrical Power Systems and how to remove them by using filters in ETAP [Electronic resource]. / Z. Hameed [et al.] // Conference on Engineering & Emerging Technologies. Pakistan, 2016. URL: <https://superior.edu.pk/wp-content/uploads/2017/04/60.pdf> (date of application: 15.02.2020).

4. Mehta A.J. and Mokariya K.L. Harmonics in Power System And its Mitigation Techniques [Electronic resource]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/319416698\\_Harmonics\\_in\\_Power\\_System\\_and\\_its\\_Mitigation\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/319416698_Harmonics_in_Power_System_and_its_Mitigation_Techniques) (date of application: 15.02.2020).

5. K. Sree Latha and M. Vijayakumar. Implementation of FC-TCR for Reactive Power Control [Electronic resource] // Journal of Electrical and Electronics Engineering. 2013. Vol. 5, Is. 5. Pp. 1–5. URL: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol5-issue5/A0550105.pdf> (date of application: 15.02.2020).

## **К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА КАЗАНИ**

Волданов Л.Ф.<sup>1</sup>, Заббарова К.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>abrakadabra4005@mail.ru, <sup>2</sup>Karinagilyazova97@mail.ru

Науч. рук. Аухадеев А.Э.

Обосновывается целесообразность проектирования тяговой подстанции для электроснабжения городского электрического транспорта города Казань на перекрестке проспекта Хусаина Ямашева – улицы Рашида Мусина при вводе в эксплуатацию нового электроподвижного состава повышенной вместимости.

**Ключевые слова:** тяговая подстанция, электрический транспорт, трансформатор, выпрямитель, кабель, постоянный ток, трамвай, троллейбус.

Целью проведенного исследования являлось обоснование необходимости размещения новой подстанции на перекрестке проспекта Хусаина Ямашева и улицы Рашида Мусина, которая будет обеспечивать стабильное и надежное энергоснабжение нового электроподвижного состава повышенной вместимости, планируемого к вводу в эксплуатацию на маршруты, проходящие на данном перекрестке.

На первом этапе рассчитываем мощность проектируемой тяговой подстанции:

$$P = W \cdot U = 2498 \cdot 0,6 \approx 1500 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

На втором этапе выбираем расположение подстанции: полученные длины секций и участков рельсовой сети являются исходными параметрами для выбора координат размещения подстанций и секционных разделов. Подстанцию разместим в непосредственной близости от транспортных линий, в центре тяговых нагрузок участков, при условиях наименьшей длины питающих линий. В расчетах расстояние от подстанции до контактной сети принимаем 200 м. Секции имеют одностороннее питание.



Третий этап – выбор питающего кабеля. Согласно единым техническим указаниям по выбору и применению силовых кабелей выбирается трехжильный кабель марки ААБл-10 3×150 мм<sup>2</sup> с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией в свинцовой оболочке и броней из двух стальных лент.

В результате проведенного исследования обоснована необходимость проектирования и определены основные параметры новой подстанции на перекрестке проспекта Хусаина Ямашева и улицы Рашида Мусина.

### Литература

1. Основы электрического транспорта: учеб. для студентов // М.А. Слепцов [и др.]; под общ. ред. М.А. Слепцова. М.: Академия, 2006. 464 с.

2. Сопов В.И., Прокушев Ю.А. Электроснабжение электрического транспорта: учеб. пособие. Новосибирск: НГТУ, 2006. 132 с.

3. Ефремов И.С., Кобзев В.М., Шевченко В.В. Технические средства городского электрического транспорта. М.: Высшая школа, 1985. 448 с.

4. Афанасьев А.С. , Долаберидзе Г.П. , Шевченко В.В. Контактные и кабельные сети трамваев и троллейбусов: учебник. М.: Транспорт, 1992. 327 с.

УДК621-313.3

### ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ IGBT-МОДУЛЯ

Галиахметов В.Д.<sup>1</sup>, Хизбуллин А.Р.<sup>2</sup>

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

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

<sup>1</sup>valer\_orl2000@mail.ru, <sup>2</sup>Robert.Khizbullin@mail.ru,

Науч. рук. Хизбуллин Р.Н.

Основным фактором срока службы асинхронного электродвигателя (АЭД) является состояние изоляции обмоток. Ухудшению изоляции способствуют аномальные и аварийные режимы работы машины, которые приводят к увеличению температуры нагрева выше допустимых значений, приводящих к выходу машины из строя. Повышенная температура электрических машин влияет на долговечность изоляции обмоток, на работу подшипников и др.

**Ключевые слова:** IGBT-модуль, правило Монтзингера, встроенный датчик температуры

Повышенная температура обмоток вызывает тепловое старение изоляции, приводящее к необратимому снижению электрической и механической прочности. Правило Монтзингера гласит, что повышение температуры на 8–10 °С сокращает срок службы изоляции в два раза.

Базовые принципы и допущения, принятые при построении тепловой модели IGBT-модуля:

1. Тепловой расчет выполняется на основе информации о мгновенных значениях переменных:

- токов, протекающих через элементы модуля (транзисторы и обратные диоды);
- входного напряжения инвертора;
- мгновенного состояния всех элементов модуля.

Такой подход обеспечивает инвариантность алгоритма теплового расчета к интегральным, усредненным на периоде основной гармонике, значениям переменных, а также к способу формирования и виду широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Усреднение переменных допускается только на малых интервалах, значения которых меньше самой малой тепловой постоянной времени кристаллов. Анализ параметров тепловых моделей серий FP, FS с IGBT 3-го поколения фирмы EUPEC показал, что тепловые постоянные времени кристаллов в основном лежат в интервале от 0,002 до 0,1 °С. Среднеквадратичная оценка постоянной времени кристаллов при аппроксимации тепловой модели одним экспоненциальным участком составляет величину, близкую к 0,03 °С для всех типоразмеров модулей. С учетом этого интервал усреднения потерь может выбираться, исходя из условия:  $T_{hc} \leq 2$  мс. Полагаем, что на интервалах времени, меньших  $T_{hc}$ , надежную защиту модуля обеспечивает двухуровневая максимально-токовая защита: первый уровень – программный (на основе измерения мгновенных значений выходных токов фаз), второй – аппаратный, реализованный на основе контроля насыщения IGBT [1–5].

2. Наиболее эффективная защита от теплового разрушения кристаллов во всех возможных режимах работы инвертора, в том числе и при несимметричной загрузке силовых ключей, реализуется на основе поэлементного расчета температуры всех транзисторов и обратных диодов IGBT-модуля. Уменьшить количество участвующих в тепловом расчете элементов модуля можно, вводя дополнительные ограничения на допустимые режимы работы преобразователя, например:

– ограничение величины тока в генераторных режимах работы нагрузки преобразователя ( $\cos(\varphi) < 0$ ) на определенном расчетном уровне позволяет контролировать температуру только транзисторов модуля, так как температура обратных диодов оказывается заведомо ниже предельно допустимых значений;

– допущение о симметрии выходных токов преобразователя позволяет строить его тепловую защиту на основе контроля температур элементов одного плеча трехфазного моста.

3. Временные изменения температуры, вызванные взаимосвязью отдельных элементов модуля, пренебрежимо малы по сравнению с эффектами самонагрева кристаллов [1–5]. Увеличение температуры из-за тепловой связи элементов друг с другом может считаться относительно медленно изменяющейся величиной, измеряемой встроенным датчиком температуры корпуса IGBT-модуля.

4. Потери включения диода пренебрежимо малы по сравнению с потерями выключения. Основные этапы расчета тепловых процессов IGBT-модуля, выполняемые на каждом интервале усреднения потерь:

– расчет времени проводящего состояния элементов модуля  $T_{condi}$  ( $i = \overline{1, p}$ ), где  $p$  – число элементов модуля, участвующих в его тепловом расчете;

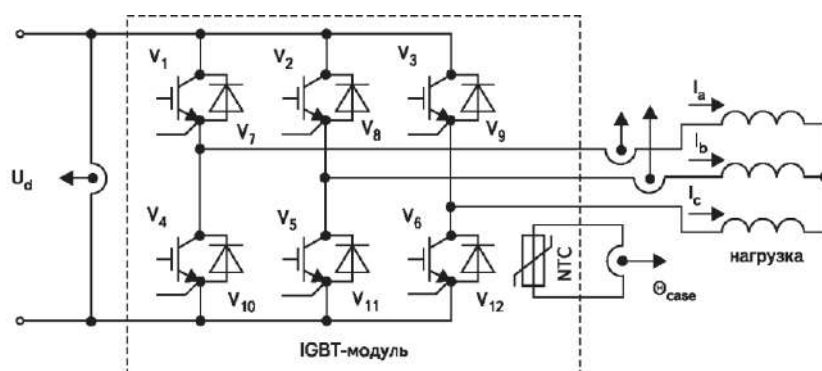
– расчет числа включений  $N_{вкл}$  и выключений  $N_{выкл}$  элементов модуля;

– расчет тока  $I$  через элемент;

– расчет мощности потерь в элементах инвертора;

– расчет температуры кристаллов.

Рассмотрим этапы расчета тепловых процессов модуля более подробно. Топология цепей модуля и нагрузки с принятыми обозначениями, нумерацией элементов и датчиками представлены на рисунке.



Топология цепей IGBT-модуля и нагрузки

## Литература

1. Соркин М.Д. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Способы защиты от аварийных режимов [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2005. № 3 (33). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/> (дата обращения: 27.01.2020).

2. Математические модели нагрева и охлаждения асинхронных двигателей для микропроцессорного реле тепловой защиты / Г.А. Бугаев [и др.] // Электромеханика. 2001. № 2. С. 51–54.

3. Беспалов В.Я. Упрощенная математическая модель нестационарного нагрева и охлаждения обмотки статора асинхронного двигателя // Электричество. 2003. № 4. С. 20–26.

4. Сивокобыленко В.Ф. Контроль нагрева асинхронного электродвигателя по данным измерений параметров текущего режима. Диагностика элементов и узлов электротехнических систем // Вестник Национального технического университета «ХПИ». 2008. Вып. 30. С. 544–546.

5. Hizbullin R., Hizbullin R. Ways to improve safety in the power industry: an automated hardware complex for pre-shift inspection of personnel of power enterprises [Electronic resource] // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 124. URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/50/e3sconf\\_ses18\\_05037.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/50/e3sconf_ses18_05037.pdf) (date of application: 15.02.2020).

УДК 681.513.3

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК СЛЕДЯЩЕГО ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСТАТИЗМОМ ВТОРОГО ПОРЯДКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЗАДАЮЩИХ И ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Зайнуллин И.И.<sup>1</sup>, Филиппов А.Н.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>ilnur1996@gmail.com, <sup>2</sup>cs.s1997@yandex.ru

Науч. рук. Бугаков В.М.

Рассмотрен синтез регулятора контура положения следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка, обеспечивающего получение заданных точностных характеристик. Проведено исследование зависимости ошибок от вида задающих и возмущающих воздействий.

**Ключевые слова:** электропривод, двигатель постоянного тока, астатизм второго порядка, контур тока, контур скорости, контур положения, стандартная настройка на оптимум по модулю.

В качестве электромеханического преобразователя в разрабатываемом электроприводе применен двигатель постоянного тока МИ-32. ЭП имеет контур тока и контур скорости, в которых реализована стандартная настройка на оптимум по модулю. Для расчета ПИ-регулятора контура тока и П-регулятора контура скорости приняты следующие параметры блока питания, датчика тока и тахогенератора:  $K_{\text{бп}} = 14$ ;  $T_{\text{бп}} = 0,0052$  с;  $K_{\text{дт}} = 0,73$  Ом;  $T_{\text{дт}} = 0,004$  с;  $K_{\text{тг}} = 0,0458 \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{рад}}$ ;  $T_{\text{тг}} = 0,008$  с.

Для синтеза регулятора использовался метод ЛЧХ, основанный на сопоставлении ЛЧХ  $L_{\text{н}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{н}}(\omega)$  разомкнутой нескорректированной системы с так называемыми желаемыми ЛЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{ж}}(\omega)$ , при формировании которых учитывались требования к точностным характеристикам и динамическим показателям электропривода, сформулированные в техническом задании.

Желаемая передаточная функция ЭП с астатизмом второго порядка

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{K_{\varepsilon}(T_{1\text{ж}}s + 1)}{s^2(T_{2\text{ж}}s + 1)} = \frac{24,2437(0,6736s + 1)}{s^2(0,0321s + 1)}. \quad (1)$$

Передаточная функция неизменяемой части ЭП

$$W_{\text{н}}(s) = \Phi_{\text{кв}}^{\text{ом}}(s) \cdot K_{\text{дп}} = \frac{K_{\text{дп}} / K_{\text{тг}}(T_{\text{тг}}s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{кв}}s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{кв}}s + 1} = \frac{1257,86(0,0018s + 1)}{9,248 \cdot 10^{-5}s^2 + 0,0136s + 1}. \quad (2)$$

Далее вычисляется передаточная функция регулятора положения  $W_{\text{рп}}(s) = W_{\text{ж}}(s)/W_{\text{н}}(s)$  и строится ее ЛАЧХ (рис. 1).

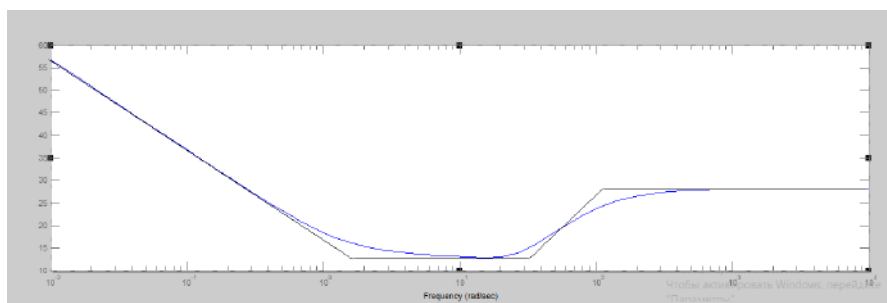


Рис. 1. ЛАЧХ регулятора положения

Полученную ЛАЧХ следует аппроксимировать четырьмя асимптотами и придать регулятору положения свойства ПИД-регулятора:

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{W_{\text{ж}}(s)}{W_{\text{н}}(s)} = \frac{K_{\text{рп}}(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{T_1s(T_3s + 1)} = \frac{6,3981(0,76923s + 1)(0,03205s + 1)}{0,76923s(0,00833s + 1)}$$

Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка показана на рис. 2.

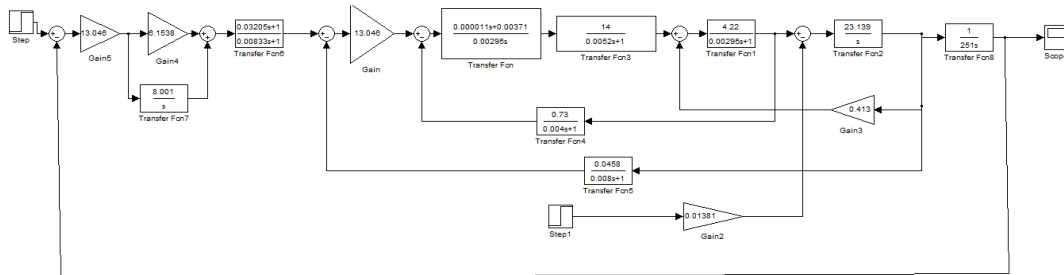


Рис. 2. Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка

Моделирование структурной схемы динамической модели производилось с применением программы Matlab. Результаты моделирования представлены на рис. 3 и 4, из которых видно, что ошибки системы зависят от вида задающих и возмущающих воздействий.

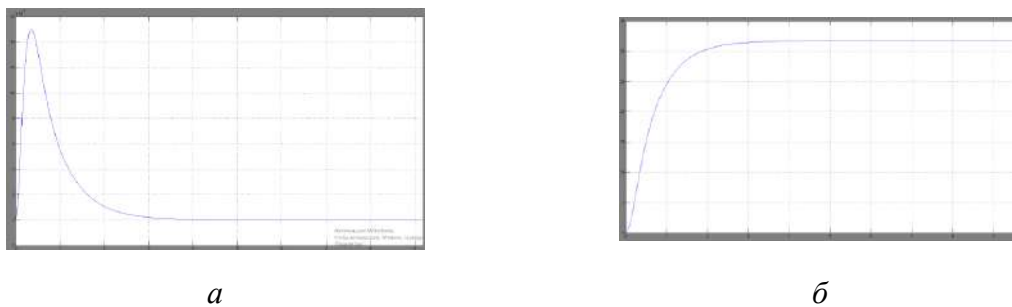


Рис. 3. Графики ошибок системы при линейно (а) и квадратично (б) возрастающем задающем воздействии



Рис. 4. Графики моментных составляющих ошибок системы при ступенчатом (а) и линейно возрастающем (б) моменте сопротивления

## Литература

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Медведев Г.М. Основные этапы проектирования электроприводов // Развитие технических наук в современном мире: сб. мат. научных трудов по итогам междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 2015. Вып. 2. С. 180–183.

2. Бутаков В.М., Баязитов В.О., Дудкин И.М. Расчет характеристик электроприводов // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сб. науч. трудов по итогам междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2017. Вып. 4. С. 94–98.

УДК 629

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Закирова Н.Ж.<sup>1</sup>, Истоппенников М.А.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Zakirova\_nargiza29.01.96@mail.ru, <sup>2</sup>istoplennikov97@mail.ru

Науч. рук. Павлов П.П.

Рассмотрены диагностические наладочно-испытательные стенды для различных видов оборудования, а также автоматизированные системы технического диагностирования элементов электроподвижного состава и их функции.

**Ключевые слова:** диагностирование, система, стенд, автоматизированная система, локомотив, подвижной состав.

Испытательные, наладочные и диагностические стенды в значительной степени определяют уровень оснащённости локомотивного депо. При ремонте современных локомотивов 50–75 % всего объема выполняемых работ приходится на контрольно-диагностические и регулировочные операции. С появлением новых локомотивов со сложными электронными системами управления задача диагностирования становится еще более актуальной [1, 2].

В настоящее время в депо имеются разнообразные диагностические наладочно-испытательные стенды для различных видов оборудования: тяговых двигателей, автотормозов, электрических аппаратов, систем управления, механического оборудования и др. Постепенно эти стенды автоматизируются. Во многих случаях в составе комплексов появляются ПЭВМ в качестве информационно-управляющей подсистемы.

В системе управления депо диагностические стенды выполняют функцию получения объективной информации о состоянии тягового подвижного состава (ТПС) [3]. Основная тенденция – создание в депо информационно-управляющих вычислительных комплексов на базе пользовательских компьютеров (ПЭВМ). С появлением ПЭВМ переход к автоматизированной системе технического диагностирования (АСТД) существенно ускорился. Испытательные стенды и станции также становятся новым очень важным для депо видом автоматизированных рабочих мест (АРМ).

Опыт создания и эксплуатации систем диагностирования показал, что целесообразной является двухуровневая система технического диагностирования. Первый уровень характеризуется использованием АСТД для проверки работоспособности оборудования непосредственно на локомотиве. Поиск отказа производится до заменяемого блока. Второй уровень диагностирования позволяет осуществить ремонт и настройку замененного оборудования на стенде [4].

На ТПС следует создавать бортовые системы диагностирования. Зарубежный и отечественный опыт говорит о целесообразности наличия бортовой системы диагностирования, получающей и обрабатывающей информацию от датчиков встроенных систем диагностирования агрегатов ТПС [5, 3].

Бортовая система диагностирования является внешней по отношению к оборудованию и контролирует так называемые основные диагностические сигналы (входы и выходы объекта диагностирования): ток (общий, двигателей и др.), напряжение (на токоприемнике, двигателях, в цепях управления и др.), положение контроллера машиниста, положение крана машиниста, состояние пульта машиниста, давление в тормозной магистрали, давление в тормозных цилиндрах и др.

В случае необходимости следует фиксировать так называемые дополнительные диагностические сигналы. Их контроль, как правило, невозможен без обеспечения контролепригодности самих агрегатов локомотива. Нужны встроенные системы диагностирования, являющиеся частью объектов диагностирования. Примеры встроенных систем: самодиагностика микропроцессорных блоков управления (электровозы ЭП1, ЭП10 и др.), диагностика дизелей и др. В качестве полноценного аналога бортовой системы диагностирования можно рассматривать систему диагностирования и организацию системы ремонта скоростного электропоезда ICE (Германия) [6].



Бортовые и стационарные системы диагностирования дополняют друг друга. Бортовые и встроенные системы диагностирования являются системами проверки правильности функционирования, а стационарные – проверки работоспособности. Все уровни решают задачу локализации места дефекта с различной глубиной поиска. Наряду с перечисленными видами диагностики следует иметь в виду испытательные поездки с вагонами-лабораториями.

АСТД следует рассматривать как важную часть информационной сети депо, выполняющую две основных функции:

- непосредственное диагностирование оборудования;
- подготовку исходной информации для АРМ технологов локомотивных депо.

Контроль внедрения и использования АСТД в депо должен быть выделен в отдельную отраслевую программу.

### Литература

1. ГОСТ Р 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2009. 9 с.

2. Хаертдинова А.Р., Корольков А.Ю., Павлов П.П. Диагностирование отказов электротехнического оборудования электроподвижного состава // Вопросы образования и науки: теорет. и метод. аспекты: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, 2015. Т. 6. С. 108–109.

3. Гараева А.Р. Истоппенников М.А, Павлов П.П. Определение технического состояния электротехнического оборудования электроподвижного состава // Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития: матер. Всерос. науч.-исслед. конф. Самара, 2017. С. 37–38.

4. Гараева А.Р., Истоппенников М.А, Павлов П.П. Поиск отказов в контрольно-проверочной аппаратуре сложных технических систем // Транспорт, наука, образование в XXI веке: опыт, перспективы, инновации: сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2017. С. 31–33.

5. ГОСТ Р 53480-2009. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010. 27 с.

6. Виноградов Ю.Н., Цихалевский И.С., Худояров Д.Л. Совершенствование пунктов технического обслуживания электровозов // Железнодорожный транспорт. 2007. № 4. С. 59–61.

## ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ НА МИКРО-ГЭС

Исламова Г.Н.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Guleni6@mail.ru

Науч. рук. Садыков М.Ф.

Предлагается использовать аккумулирующий распределительный блок, позволяющий осуществить бесперебойное электроснабжение всех устройств на микро-ГЭС. Указаны преимущества использования интеллектуальных систем на микро-ГЭС и принцип работы аккумулирующего устройства.

**Ключевые слова:** микро-ГЭС, аккумулирование, интеллектуальная система освещения, электрообеспечение.

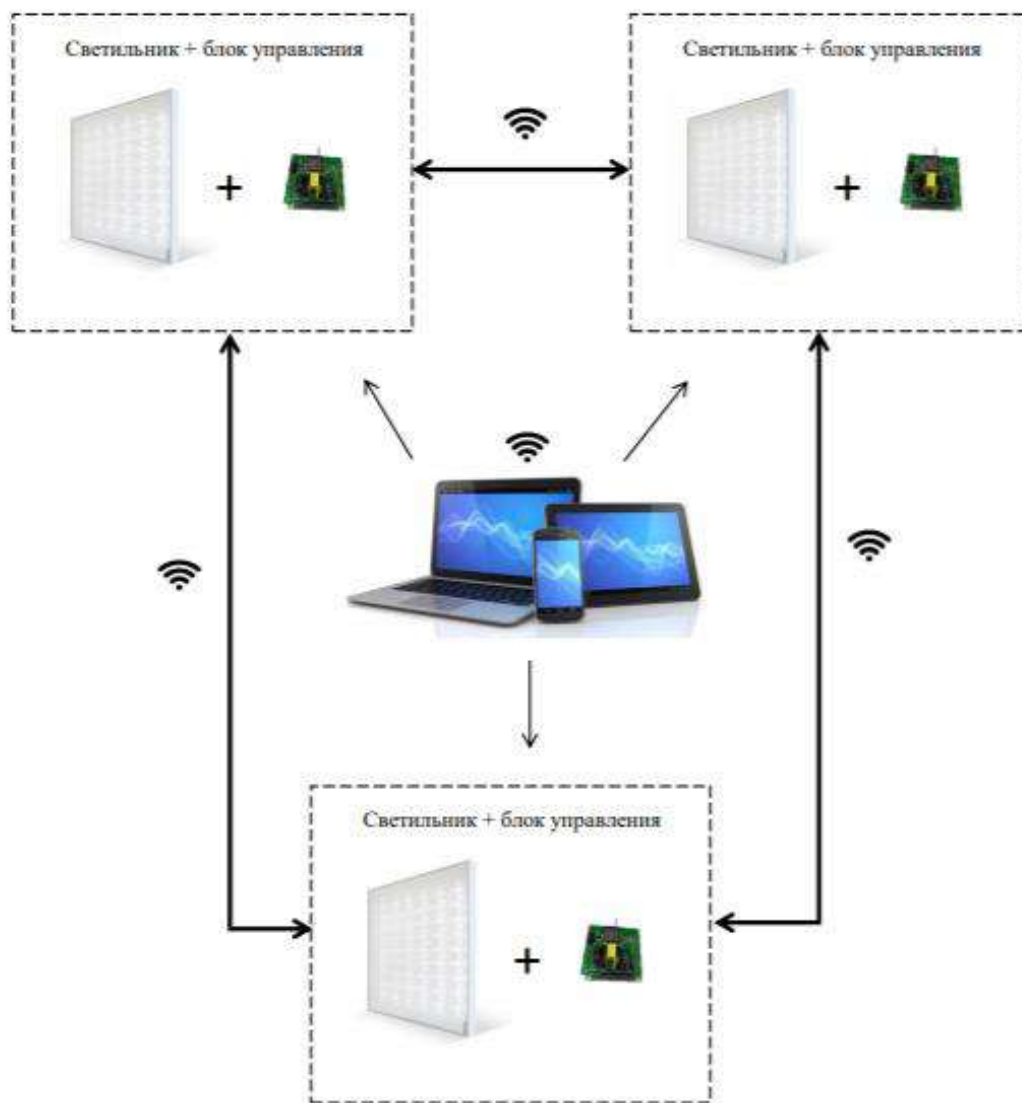
Поддержка энергообеспечения вспомогательного оборудования микро-ГЭС является актуальной задачей [1]. Большинство современных микро-ГЭС оборудован интеллектуальной системой освещения. Интеллектуальная система освещения – система, которая управляет осветительными приборами в жилых, рабочих, торговых и общественных помещениях [2].

Интеллектуальная система освещения представляет из себя устройство (рисунок), которое состоит из диммируемых светодиодных светильников и специальных блоков управления. Блоки управления передают информацию между собой посредством беспроводной связи. Такая система освещения имеет ряд преимуществ:

- автоматическое изменение светового потока светильника в зависимости от уровня естественного освещения;
- автоматический переход с рабочего на дежурный режим при присутствии/отсутствии людей, в каждом состоянии происходит автоматическое поддержание заданного уровня освещенности;
- возможность замены светильника в системе без нарушения системы; автоматическое включение и отключение освещения по расписанию;
- ручное удаленное управление светильниками по беспроводному каналу (с персонального компьютера диспетчера или телефона);
- возможность управления отдельным светильником, группой светильников, всей системой в целом; удаленный мониторинг состояния светильников.

Регулирующая освещенность зависит от таких факторов как движение, времени суток и других. В результате такие устройства снижают энергозатраты микро-ГЭС [3].

Основной потребностью смарт-устройств является непрерывное электрообеспечение. Однако на микро-ГЭС возникают периоды низкого электрообеспечения, поэтому поиск решения, позволяющего бесперебойно осуществить электрообеспечение смарт-устройств на микро-ГЭС, является важной задачей [4].



Принцип работы интеллектуальной системы освещения

С этой целью предлагается использовать аккумулирующий распределительный блок, позволяющий осуществить бесперебойное электроснабжение всех устройств на микро-ГЭС. Принцип работы устройства заключается в следующем: в периоды низкой генерации

электроэнергии на микро-ГЭС обеспечивать электроэнергию интеллектуальной системы освещения будет данный блок, который будет накапливать в себе электроэнергию во время низкого энергопотребления.

### Литература

1. Экспериментальные исследования микро-ГЭС с осевой гидротурбиной на гидравлическом стенде / И.А. Бахтина [и др.] // Ползуновский вестник. 2013. №. 4-2. С. 12–19.

2. Тулекбаева А.К., Джамалова З.И., Орманова Г.М. Управление качеством процессов учета электроэнергии на основе применения технологий интеллектуальных сетей SMART GRID // Экономика и управление производством: тез. докл. 81-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2017. С. 33.

3. Бродт В.В., Потемкина Т.В., Ляпустин Д.Н. Смарт-грид и основные ее составляющие. Сферы применения цифровых решений в электроэнергетике // World science: problems and innovations: матер. XXXII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2019. Ч. 2. С. 58–60.

4. Крылов А.П., Бакштанин А.М. Новые концепции в развитии микро-гидроэнергетики. Гидравлика в напорных водоводах микро-ГЭС // Природообустройство. 2017. № 5. С. 8–14.

УДК 629

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРУЗОВОГО ТРОЛЛЕЙБУСА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ИЗ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ

Истоппенников М.А.<sup>1</sup>, Закирова Н.Ж.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>istoplennikov97@mail.ru, <sup>2</sup>Zakirova\_nargiza29.01.96@mail.ru

Науч. рук. Павлов П.П.

Предложено использовать парк подвижного состава городского электрического транспорта (ГЭТ) в сфере грузового транспорта. На первом этапе предполагается использование троллейбусов, выработавших эксплуатационный ресурс, модернизированных под грузовой транспорт для перевозки различных видов груза из логистического центра.

**Ключевые слова:** троллейвоз, электрический транспорт, Siemens.

Развития экологически чистого электрического транспорта (ЭТ) в России является одной из актуальных задач и в этой сфере уже сделано много законодательных инициатив, запущены федеральные программы и пилотные проекты. Задача развития ЭТ является одним из ключевых показателей эффективности работы регионов России.

Грузовой троллейбус или троллейвоз – разновидность электро-транспорта с питанием от контактных проводов, используемого для грузовых перевозок [1, 2].

Троллейвозы применяли в промышленности: в горном и строительном деле для подвоза оборудования и товара, в городах их использовали для буксировки неисправных пассажирских троллейбусов, для оказания техпомощи и для ремонта троллейбусных электросетей.

Первые советские грузовые троллейбусы стали появляться в 30-е гг. прошлого века. Это были переделанные пассажирские машины. Использовались такие грузовики для собственных нужд троллейбусных депо. Постепенно сфера применения таких машин стала расширяться и эксплуатационщики задумались об использовании троллейвозов в тех местах, где контактной сети не было. Особенно актуальной эта проблема стала в условиях нехватки горючего во время войны. В частности, в столице СССР, были построены первые настоящие грузовые троллейкары – троллейбусы, оснащенные дополнительным комплектом аккумуляторов, благодаря чему они могли отклоняться на значительные расстояния от контактной сети [3].

В проекте предусматривается использование троллейвозов или переоборудованных троллейбусов из пассажирских в грузовой, для перевозки из логистических центров за городом, в ближайшие логические центры в городе [4].

Основные достоинства проекта:

- 1) развитие экологически чистого ЭТ в РТ.
- 2) создание рабочих мест и новой статьи дохода для предприятий ГЭТ;
- 3) при транспортировке груза в ночное время выравнивание нагрузки энергосистемы;
- 4) уменьшение шумового загрязнения в ночное время;
- 5) малые капитальные затраты при использовании существующего парка ГЭТ;
- 6) обслуживание и ремонт на базах предприятий ГЭТ.

Так как проект находится на стадии идеи, изучается зарубежный опыт, просчитываются материальные затраты на различные варианты грузовой техники и т. п.

Компания Siemens начала проект совместно с компанией Scania поставить для трех электрифицированных хайвэев Германии 15 опытных седельных тягачей на испытания. Решение было принято на уровне Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии (BMU) по итогам открытого тендера.

Первоначально испытания начнутся в Гессене на автобана А5. Здесь завершено создание пятикилометровой трассы с соответствующей инфраструктурой. Контактные линии проложены в обоих направлениях.

Следующим участком станет электрифицированный отрезок автобана А1 до порта Любек, с мощной стационарной зарядной станцией, которая запланирована в порту. Ожидается, что этот участок откроется летом 2020 года.

Наконец, третий участок электрифицированной автомагистрали будет проложен в Баден-Вюртемберге на федеральной дороге В462 в начале 2021 г.

15 грузовиков Scania будут оснащены пантографами, разработанными компанией Siemens. Токосъемное оборудование размещается на раме позади кабины для зарядки грузовика во время движения. Машины будут эксплуатироваться транспортными компаниями в реальных транспортных операциях [5].

Согласно исследованиям, электрифицированные автомобильные дороги являются альтернативой по сокращению выбросов CO<sub>2</sub>.

## Литература

1. Максимов А.Н. Городской электротранспорт: Троллейбус: учеб. для нач. проф. образования. М.: Академия, 2004. 256 с.
2. Аухадеев А.Э., Киснеева Л.Н., Павлов П.П. Инновационный подход в организации системы городского электрического транспорта современного мегаполиса: бионическая концепция // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2 С. 56–58.
3. Юдин В.Д., Самойлов Д. С. Городской транспорт: учебник для вузов. М.: Стройиздат, 1975. 287 с.
4. Бутаков В.М., Аухадеев А.Э., Павлов П.П. Развитие теории транспортных систем на основе методологических достижений современной науки // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. № 3-4. С. 27–30.
5. Богдан Н.В., Атаманов Ю.Е., Сафонов А.И. Троллейбус. Теория, конструирование, расчёт. Минск: Ураджай, 1999. 346 с.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ В НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ**

Папина А.С.

ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново

Науч. рук. Шадриков Т.Е.

Представлено описание, применение и устройство пояса Роговского для измерения несинусоидального напряжения повышенной частоты частот, а также описание пояса Роговского как реальной альтернативы использованному ранее калориметрическому методу.

**Ключевые слова:** повышенная частота, катушка Роговского, трансформаторы тока, токовые датчики, контур, несинусоидальное напряжение

В настоящее время актуальным способом термической обработки бетонных и железобетонных изделий является электротепловая обработка токами повышенной частоты (ЭТО) [1]. Для ее организации необходимо использовать электротехнические комплексы повышенной частоты (ЭТКПЧ), предназначенные для централизованного электропитания множественных устройств ЭТО. Практической реализации таких систем необходим этап тщательного анализа их технико-экономических характеристик, в том числе показателей энергетической эффективности (КПД, потери мощности, спектральный состав). Поэтому актуальной задачей является разработка методов измерения токов и напряжений повышенной частоты несинусоидального характера с применением новых устройств.

Ранее были выполнены исследования показателей энергетической эффективности ЭТКПЧ применением калориметрических методов измерения КПД [2] согласно схеме на рис. 1.

Схема (рис. 1) и реализация калориметрического метода в целом, для измерения энергии в нагрузке требует значительных временных затрат на подготовку и проведение эксперимента. Для измерения напряжения возможно использовать катушку Роговского. Это измерительный трансформатор (датчик) в виде длинного соленоида с равномерной обмоткой и произвольными замкнутыми формами.

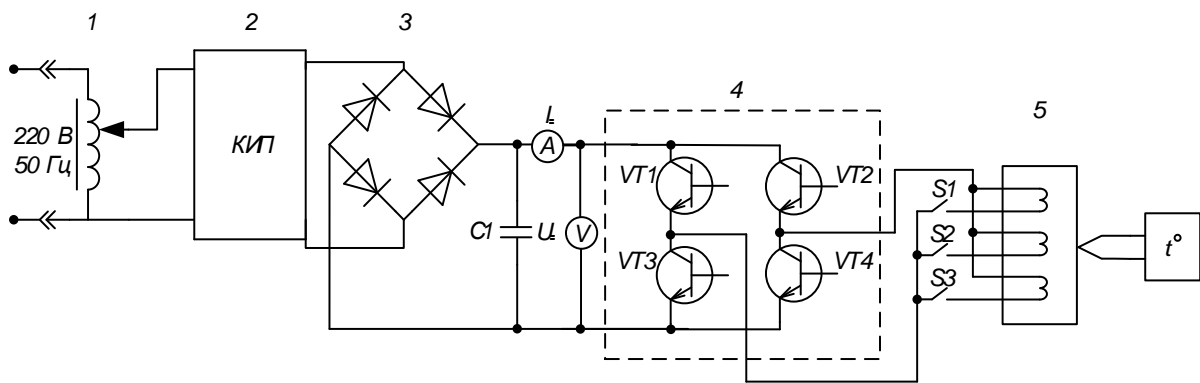


Рис. 1. Электрическая схема установки для определения КПД транзисторного преобразователя в составе ЭТКПЧ: 1 – ЛАТР; 2 – блок КИП; 3 – выпрямитель; 4 – преобразователь напряжения; 5 – нагрузка (три электронагревателя мощностью ~1 кВт (220 В) каждый, установленные в заполненной водой емкости с теплоизоляцией на поверхности);  $t^\circ$  – термометр, состоящий из блоков типа ТС-1088 и ИКСУ-260

Напряжение на выходе катушки описывается формулой [3]:

$$U = \frac{-AN\mu_0}{l} \frac{dl}{dt},$$

где  $A = \pi d^2$  – площадь малого контура (одного витка вокруг центральной жилы катушки);  $l$  – длина пояса;  $N$  – количество витков вокруг центральной жилы катушки.

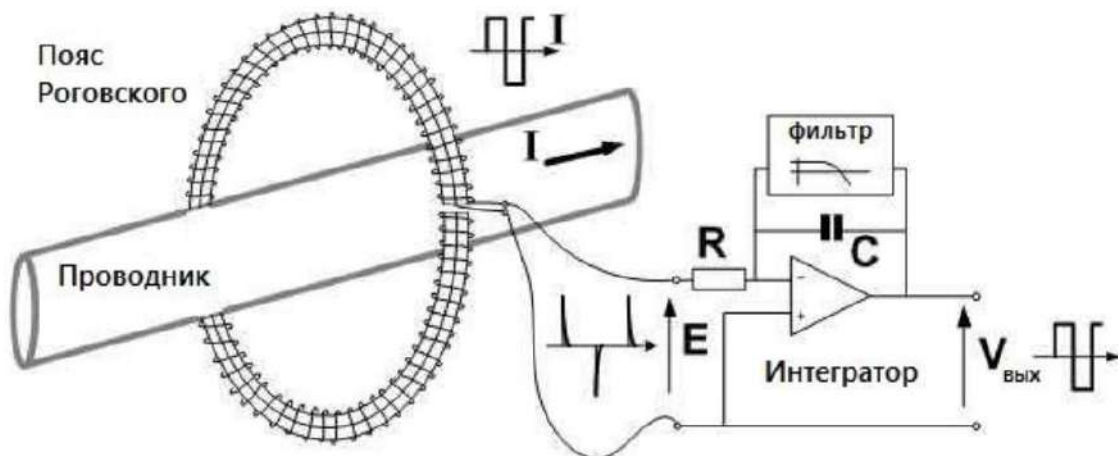


Рис. 2. Датчик напряжения на основе пояса Роговского

Датчик устанавливается на кабель или токоведущий элемент без конструктивных модификаций.



К достоинствам относятся: высокая линейность и низкая инерционность; регистрация высокочастотных токовых импульсов; малая масса; простота установки (установка без конструктивных изменений в токоведущего элемента); наличие гальванической развязки в цепи измерения.

Таким образом, применение катушки Роговского позволит измерять напряжения на нагрузке в ЭТКПЧ, а значит более подробно исследовать режимы работы потребителей в виде устройств ЭТО при неизменной величине выходного напряжения.

### Литература

1. Электротепловая обработка бетона токами различной частоты / С.В. Федосов [и др.] // Строительные материалы. 2010. № 6. С. 4–7.
2. Показатели энергетической эффективности высоковольтного электротехнического комплекса повышенной частоты / Т.Е. Шадриков [и др.] // Энергетик. 2017. № 7. С. 6–12.
3. Полещук А. С. Методы измерения тока в среднечастотных силовых схемах [Электронный ресурс]. URL: [https://www.proton-electrotex.com/files/project\\_52/Doklad\\_Poleshcuk.pdf](https://www.proton-electrotex.com/files/project_52/Doklad_Poleshcuk.pdf) (дата обращения: 17.01.2020).

УДК 621-313.3

## К ВОПРОСУ ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Рашитова Р.А.<sup>1</sup>, Тухбатуллина Д.И.<sup>2</sup>, Сафиуллин Б.И.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>r.rashitova97@mail.ru, <sup>2</sup>tuhbatullina@com.ru, <sup>3</sup>gougle2011@yandex.ru

Науч. рук. Рылов Ю.А.

Исследованы вопросы в области энергосбережения в системе городского электрического транспорта путем внедрения в эксплуатацию электроподвижного состава рациональных режимов работы тягового электрического оборудования, являющегося одним из основных потребителей электрической энергии.

**Ключевые слова:** городской электрический транспорт, энергосбережение, электрическая тяга, тяговое электрооборудование, электроподвижной состав.

Данные о структуре потребления электрической энергии отдельных предприятий городского электрического транспорта (ГЭТ) городов России показывают, что более 90 % потребляемой электроэнергии расходуется на тягу подвижного состава и лишь около 10 % на прочие производственные и коммунально-бытовые потребления. В связи с этим наиболее актуальной является задача изыскания путей снижения расхода электропотребления (РЭ) на тягу электрического транспорта [1, 2]. Решение данной задачи осложняется неблагоприятным техническим состоянием эксплуатируемого парка подвижного состава, характеризующимся большим износом тягового электрооборудования (ТЭО) электроподвижного состава (ЭПС).

Литературный анализ [1–4] показывает, что условно можно выделить три основных направления, обеспечивающих снижение РЭ на тягу ГЭТ:

1) техническое направление [1, 3] (совершенствование путевой инфраструктуры, модернизация парка ЭПС, улучшение системы электроснабжения и внедрение систем рекуперации);

2) технологическое направление [2, 5, 6] (внедрение рациональных режимов движения и организация режимов движения ГЭТ, контроль за состоянием ЭПС);

3) организационное направление [3, 4] (нормирование уровня электропотребления на тягу и стимулирование водителей на энергоэффективное вождение).

На сегодняшний день все большее внимание уделяется работам в технологическом направлении, в частности, внедрение энергосберегающих режимов движения, посредством введения в эксплуатацию рациональных режимов работы ТЭО ГЭТ. Это обусловлено тем, что именно в данном направлении раскрыт большой резерв экономии электроэнергии, кроме того, его разработка и внедрение не требуют больших финансовых затрат.

Теоретические исследования в данной области показывают, что для реализации рациональных режимов движения необходимо обеспечивать рациональные режимы работы ТЭО в режиме тяги [1, 3, 4].

Пусковые ускорение  $a_{\Pi}$  и скорость  $v_{\Pi}$  (рис. 1, а) в момент выхода на естественную характеристику определяется пусковым током: чем больше пусковой ток, тем больше  $a_{\Pi}$  и меньше  $v_{\Pi}$  [4, 7]. Следовательно, с повышением  $a_{\Pi}$  уменьшаются потери в пусковых реостатах вследствие уменьшения кинетической энергии в конце пуска.

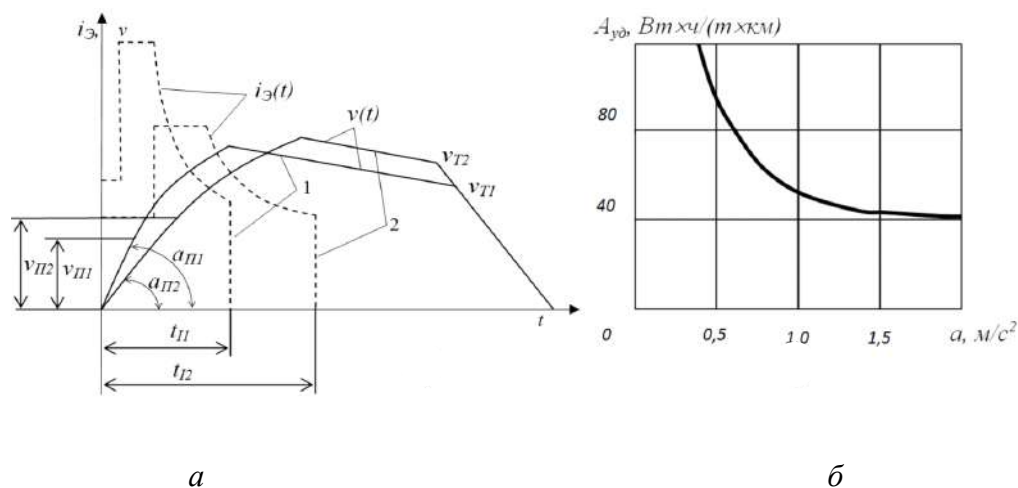


Рис. 1. Зависимость  $v(t)$  на участке движения при разных значениях  $a_{П}$  в режиме тяги (а) и зависимость  $A_{уд}$ , Вт·ч/(т·км) от значения  $a_{П}$  (б)

Экономия энергии при увеличении ускорения не ограничивается уменьшением пусковых потерь. На рис.1, а изображены две зависимости скорости от времени  $v(t)$ : кривая 1 при большем ускорении  $a_{П1}$  и кривая 2 при меньшем ускорении  $a_{П2}$ . Благодаря более быстрому разгону при  $a_{П1}$  оказывается возможным уменьшить скорость в момент начала торможения с  $v_{Т2}$  до  $v_{Т1}$ . Поэтому с повышением  $a_{П}$  уменьшаются потери в тормозах при остановке ЭПС, которые пропорциональны квадрату  $v_{Т}$  [6, 7].

Зависимость удельного расхода электроэнергии от ускорения (рис. 1, б) показывает [3, 4, 7], что при малых ускорениях его повышение вызывает значительное сокращение расхода электроэнергии. В дальнейшем по мере увеличения ускорения его влияние на снижение расхода уменьшается, и увеличивать ускорение свыше 1,4–1,6 м/с<sup>2</sup> практически нецелесообразно.

С точки зрения энергоэффективности лучшим является случай, когда подвижной состав не реализует режим торможения, а торможение происходит за счет естественных причин, основными из которых являются трение в узлах колесной пары и трение между бандажом колесных пар, и рельс. Но данный метод не эффективен, так как время движения на участке движения увеличивается [6, 7].

## Литература

1. Осипов С.И. Испытания локомотивов и выбор рациональных режимов вождения поездов. М.: Транспорт, 1975. 271 с.
2. Аухадеев А.Э., Киснеева Л.Н., Бабакулыев Р.Ю. Повышение энергоэффективности электрической тяги электрифицированных транспортных средств // Энергосбережение. Наука и образование: сб. докл. Междунар. конф. Н. Челны, 2017. С. 137–141.

3. Байрыева, Л.С. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт. М.: Транспорт, 1986. 206 с.
4. Розенфельд В.Е. Основы электрической тяги. В 2 ч. Ч. 1. Теория движения поезда, тяговые и тормозные характеристики, тяговые расчеты и испытания. М.: Л : Госэнергоиздат, 1957. 311 с.
5. Rylov Yu.A., Aukhadeev A.E., Solovyeva S.I., Korolkov A.Yu. Experimental research of operating modes traction electric rolling stock // Modern Science. 2017. № 9. Pp. 137-140.
6. Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э., Ганеев И.Р. Влияние режимов работы тягового электрооборудования подвижного состава на энергоэффективность электрической тяги в системе городского электрического транспорта // Приоритетные научные исследования: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2017. С. 25–27.
7. Исследование режимов работы тягового электрооборудования подвижного состава / А.Э. Аухадеев [и др.] // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Пенза, 2017. С. 180–183.

УДК 621.316.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ТРОЛЛЕЙБУСА

Самигуллин Н.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

niyaz.samigullin@mail.ru,

Науч. рук. Бутаков В.М.

Рассмотрен способ оценки и расчета интегральной величины тока утечки троллейбуса, так как она напрямую связана с фактами поражения человека электрическим током при контакте с корпусом троллейбуса.

**Ключевые слова:** электрический транспорт, троллейбус, электробезопасность, утечка тока, напряжение.

Троллейбус как вид электрического транспорта нашел широкое применение во всех крупных городах России благодаря своей высокой экономичности, маневренности и экологической чистоте. Однако при эксплуатации троллейбуса имеет место ряд проблем. Одной из самых важных и актуальных в настоящее время является проблема обеспечения электробезопасности, так как она напрямую связана с фактами поражения человека электрическим током при контакте с корпусом троллейбуса.

При прикосновении человека к корпусу троллейбуса, находящегося под напряжением, качественно изменяется структура схемы замещения, возникшей системы человек – троллейбус. Возникает переходный процесс, приводящий при наличии реактивных элементов к существенному превышению номинальных значений амплитуды электрических величин в системе. В связи с этим учет влияния переходного процесса является актуальной задачей.

Целью исследования является поиск путей решения актуальной проблемы оценки и расчета интегральной величины тока утечки троллейбуса на основе комплексного подхода при анализе электромагнитных процессов с учетом физических свойств изоляции силовых цепей электрооборудования троллейбуса и системы электроснабжения в различных режимах работы.

Прибором, на который необходимо обратить внимание, является устройство контроля токов утечки (УКТУ) троллейбуса. Принцип его работы основан на определении напряженности электрического поля «корпус троллейбуса – земля», вызванного действием переменной составляющей тока утечки, с одновременным измерением тока утечки, протекающего по пути корпус – отрицательный провод контактной сети. Структурная схема устройства приведена на рисунке.

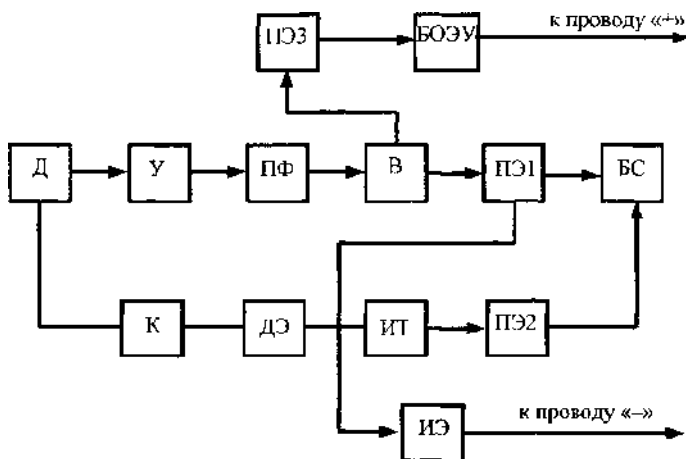


Рис. 1. Структурная схема устройства сигнализации и защиты от токов утечки на троллейбусе

Она состоит из следующих элементов: датчика напряженности электрического поля Д, усилителя У, полосового фильтра ПФ, трех пороговых элементов ПЭ1, ПЭ2, ПЭ3, выпрямителя тока В, измерителя тока ИТ, диодного элемента ДЭ, исполнительного элемента ИЭ, блока сигнализации БС и блока отключения электроустановки БОЭУ.

При возникновении на корпусе троллейбуса (К) потенциала, вызванного действием тока утечки, на датчике электрического поля появляется сигнал, который, пройдя через усилитель и полосовой фильтр, выпрямляется и подается на вход первого порогового элемента. В случае превышения его установки, пороговый элемент срабатывает, включая исполнительный элемент, который соединяет корпус троллейбуса с отрицательной шиной контактной сети через измеритель тока и диодный элемент. В случае его переключения начинает работать блок сигнализации, который анализирует состояние первого и второго порогового элемента одновременно. В случае значительного повышения потенциала на корпусе троллейбуса, переключается третий пороговый элемент, который вызывает отключение электроустановки троллейбуса.

В ходе испытаний, искусственно с помощью имитатора токов утечки задавались разные значения токов утечки и проводились измерения при помощи контрольно-измерительной аппаратуры и УКТУ-1. В итоге было выявлено соответствие показаний контрольно-измерительной аппаратуры и УКТУ-1 (см. таблицу).

#### Результаты испытаний

Место	Напряжение КС, В	Ток ИТУТ, мА	Индикаторы УКТУ-1	Напряжение КС – корпус, В
1	2	3	4	5
Участок № 1 подстанция № 12	640	0.5	1	8
	600	1	2	4
	550	2	2-3	5
	620	3	3	4
Участок № 2	660	0.5	1	2
	670	1	2	5
	650	2	3	10
	670	3	4	5
Участок № 3	580	0.5	1	к "0"
	600	1	2	к "0"
	610	2	3	к "0"
	620	3	4	к "0"
Участок № 4	600	0.5	1	2
	560	1	2	2.5
	520	2	3	1.5
	540	3	4	2

В результате можно сделать следующие выводы:

– погрешность прибора УКТУ-1 при фиксации тока утечки на стадии лабораторных испытаний для различных режимов измерения не превышает 5 % (данная погрешность относится к токам утечки ОД мА);

– при испытаниях в условиях эксплуатации прибор компенсирует напряжение между контактной сетью и корпусом троллейбуса, тем самым автоматически поддерживая потенциал корпуса троллейбуса, близким к нулю, и обеспечивает необходимую степень электробезопасности.

## Литература

1. Аксенова Е.О., Шабалтас К. С., Бубякина С.Д. Токи утечки троллейбуса [Электронный ресурс] // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии. URL: <https://online-electric.ru> (дата обращения: 11.02.2020).

УДК 621-317.3

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Сафиуллин Б.И.<sup>1</sup>, Тухбатуллина Д.И.<sup>2</sup>, Рашитова .Р.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>google2011@yandex.ru, <sup>2</sup>dtukhatullina@inbox.ru, <sup>3</sup>r.rashitova97@mail.ru

Науч. рук. Рылов Ю.А.

Переход от двигателей внутреннего сгорания к приводу, использующий электрическую тягу на сегодняшний день является актуальным. Одним из вопросов перехода на электропривод является экономия электроэнергии на электрическом транспорте посредством введения энергоэффективных режимов движения. В данной работе рассматривается разработка электронной схемы устройства системы учета и контроля параметров режимов движения городского электрического транспорта.

**Ключевые слова:** разработка, электронная схема, микропроцессорное устройство, гальваническая развязка, аналого-цифровой преобразователь, параметры, измерение мощности, учет параметров.

Современный пассажирский электрический транспорт является сложным электротехническим комплексом, включающим в себя систему управления, основанную на микропроцессорной системе. Постороннее воздействие на систему управления может повлечь неверное выполнение команд, поступающих с пульта управления, что в последствии может привести к сбоям и несчастным случаям [1, 2]. В виду данной причины разрабатываемое устройство не имеет доступ к информационной части системы управления. Считывание всех параметров и их запись происходит автономно и независимо. Так же к устройству приводятся требования защиты от поражения электрическим током, так как прибор располагается вблизи водителя.

В ходе выполнения исследования была разработана электронная схема устройства системы учета и контроля параметров режимов движения городского электрического транспорта, электрическая принципиальная схема которой представлена в [3], состоящая из двух частей: высоковольтная измерительная часть и низковольтная измерительно-записывающая часть.

Высоковольтная измерительная часть устройства [3] состоит из датчиков тока и напряжения. Основу схемы составляет микроконтроллер AtMega8-16AU и сдвоенный операционный усилитель (ОУ) LM2904. На ОУ через токоограничивающий резистор R32 подается сигнал с шунта имеющий характеристику 150мВ/500А. На данной схеме ОУ работает как апериодическое звено первого порядка [3].

Микросхема LMC7660 является специализированной микросхемой, которая обеспечивает двухполярное питание для операционного усилителя. Диод D7 служит для защиты микроконтроллера от отрицательного потенциала, которое может появиться в случае возникновения неисправности операционного усилителя [4].

Сигнал, преобразованный ОУ, поступает на вход микроконтроллера PC0. Данный вход в программе настраивается как аналоговый вход, т.е. считывание аналогового сигнала. Микроконтроллер передает данные посредством интерфейса UART.

Данные по интерфейсу UART передаются через гальваническую развязку, которая реализована как со стороны высоковольтной части, так и со стороны низковольтной части устройства [4]. Данный способ развязки помогает избежать выхода из строя оборудования при коротком замыкании в цепи линий передачи данных. Микросхема ADUM1301AR осуществляет гальваническую развязку посредством электромагнитной связи. Минимальная скорость передачи данных составляет 10 Мбит/с, для интерфейса UART максимальная скорость передачи составляет 900 Кбит/с, максимальное напряжение электрического пробоя составляет 2,5 кВ.



В виду удаленности высоковольтной части от низковольтной используется микросхема MAX487E, предназначенная для передачи данных по проводам более 50 метров за счет амплитудной модуляции сигнала. Также данная микросхема позволяет реализовать защиту от статического напряжения до 150кВ, наводимое в линии передачи.

Питание устройства осуществляется от низковольтной части схемы троллейбуса, а именно 24 В [4]. Микросхема MIC4680YM является понижающим преобразователем напряжения с выходным напряжением 5 В и максимальным током 1 А. Схема собрана согласно официальной документации на данную микросхему. Преимуществом данной микросхемы является:

- минимально допустимый размер для данных устройств, а именно корпус ТО-220, так как за счет импульсного типа работы при токе 1 А на корпусе микросхемы выделяется мощность порядка 36 мВт;

- высокая стабильность частоты преобразования от температуры микросхемы: диапазон 210–197 кГц при –25–50 °С.

Пульсации напряжения на выходе сглаживаются LC-цепью [2]. Для питания модуля спутниковой навигации используется дополнительное понижение напряжения с 5 до 3,3 В. Данную функцию выполняет линейный преобразователь на микросхеме LM317.

На данной микросхеме объемом 32 Кбайта хранятся данные режима движения для отдельных участков пути. Обмен данными с центральным микроконтроллером осуществляется по интерфейсу SPI. Данный протокол имеет возможность настройки частоты в большом диапазоне. В устройствах, где возможны наводки в передающих кабелях используется как правило шина SPI с минимально возможной частотой тактирования, что позволяет снизить влияние наводок на шину из вне и улучшить качество передачи информации.

В результате работы получен опытный образец системы учета и контроля параметров режимов движения городского электрического транспорта, который прошел полигонные испытания на реальных маршрутах движения ЭПС ГЭТ [3]. А в дальнейшем с использованием данной системы, на основании разработанной методики испытаний [5] были организованы и проведены комплексные исследования параметров режимов движения ЭПС с учетом технологического и производственного процессов ГЭТ [6–8].

## Литература

1. Баранов Л.А. Микропроцессорные системы автоведения поездов // Железнодорожный транспорт. 1985. № 11. С. 37–49.

2. Баранов Л.А. Применение тренажеров для повышения квалификации работников службы движения // Автоматика, связь и информатика. 2003. № 2. С. 17–20.

3. Киснеева Л.Н. Аухадеев А.Э. Разработка системы автоматизированного управления подвижным составом наземного городского электрического транспорта // Вестник НЦБЖД. 2016. № 3 (29). С. 36–42.

4. Богомолов С.А. Основы электроники и цифровой схемотехники: учебник. М.: Академия, 2014. 208 с.

5. Осипов С.И. Испытания локомотивов и выбор рациональных режимов вождения поездов. М.: Транспорт, 1975. 271 с.

6. Experimental research of operating modes traction electric rolling stock / Yu.A. Rylov [et al.] // Modern Science. 2017. № 9. Pp. 137–140.

7. Киснеева Л.Н. Анализ факторов нагружения тяговых электродвигателей в процессе эксплуатации // Научный альманах. 2016. № 11-2. С. 147–151.

8. Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э., Ганеев И.Р. Влияние режимов работы тягового электрооборудования подвижного состава на энергоэффективность электрической тяги в системе городского электрического транспорта // Приоритетные научные исследования: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2017. С. 25–27.

УДК 629.423

## **УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

Сидорова А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

an.s1996@yandex.ru

Науч. рук. Павлов П.П.

Поднимается вопрос снижения ресурса работы аккумуляторных батарей пассажирских вагонов, рассмотрен вариант увеличения срока службы при профилактических работах по обслуживанию аккумуляторов зарядного устройства с широтно-импульсной модуляцией.

**Ключевые слова:** ресурс, заряд, аккумулятор, батарея, широтно-импульсная модуляция, сульфация, ёмкость.

Вопрос уменьшения ресурса работы АКБ возник при анализе причин неисправности пассажирских вагонов. Проблема заключается в том, что рабочая емкость всех основных типов и классов аккумуляторов и собранных из них батарей при низких наружных температурах значительно снижается. Это приводит к увеличению эксплуатационных расходов. Усугубляет проблему то, что все используемые на железной дороге типы аккумуляторов созданы для других отраслей промышленности, где система и сам процесс заряда отличаются от условий работы на железнодорожном транспорте, особенно на подвижном составе.

Увеличение срока эксплуатации аккумуляторов позволит сократить финансовые затраты на приобретение новых взамен выработавших свой ресурс.

Одним из вариантов увеличения срока службы может быть использование при профилактических работах по обслуживанию аккумуляторов зарядного устройства с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

Промышленных типов таких устройств обнаружить не удалось, тем более для аккумуляторов железнодорожного транспорта с напряжением 110 и 50 В.

ШИМ – это способ управления подачей мощности к нагрузке. Управление заключается в изменении длительности импульса при постоянной частоте следования импульсов.

Широтно-импульсная модуляция тока заряда может предотвратить образование отложений сульфатов, помогает преодолеть резистивный барьер на поверхности электродной сетки и пробить коррозию на переходах. В дополнение к улучшенному КПД заряда и увеличенной емкости, существуют убедительные доказательства того, что такой режим заряда может восстановить емкость АБ, которая «потерялась» со временем при работе АБ в фотоэлектрической системе.

К преимуществам ШИМ тока заряда относятся:

- возможность восстановить потерянную емкость и произвести десульфатацию аккумуляторной батареи, а также существенно увеличить способность АБ принимать заряд;
- работу при высоком среднем заряде АБ (от 90 до 95%). Для сравнения, при простом регулировании (включение-выключение) степень заряженности АБ обычно не превышает 55–60 %;
- выравнивание качества различных элементов АБ (известно, что при работе АБ различные элементы изнашиваются по-разному);
- уменьшение нагрева и газовыделения АБ;

- автоматическое подстраивание под «возраст» батареи;
- саморегулирование при пропадании напряжения и учет температурных эффектов при работе солнечных батарей.

Для продления срока службы АКБ применяют методики десульфатации аккумуляторных пластин. Батарею разряжают до напряжения менее пяти вольт многократным потреблением большого тока краткой длительности. После этого производят медленную полную зарядку маленьким током в пределах одного ампера. Повторяют процесс восемь-девять раз. Метод десульфатации является долгим по времени, но согласно всем исследованиям даёт хороший результат.

Проблема в том, что не всегда эта методика соблюдается. Предлагаемый способ с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет устранить этот недостаток.

Главной особенностью проектируемого зарядного устройства является то, что оно позволяет увеличить срок службы аккумуляторных батарей, как минимум, в два раза.

Готовое устройство не вызывает трудностей при эксплуатации, и не требует специальной подготовки.

Устройство может применяться на всей технике использующей АКБ, позволяет следить за уровнем заряда.

Для проведения эксперимента выбран компьютерный блок питания, в схеме которого применена микросхема с ШИМ, с целью сокращения затрат на изготовление

## Литература

1. Покровский С.В. Система управления и диагностики электровоза ЭП10. М.: Интекст, 2009. 356 с.
2. Чупин Д.П. Исследование методов диагностики аккумуляторных батарей // Омский научный вестник. 2013. № 1 (117). С. 253–257.
3. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. М.: Изд-во Изумруд, 2003. 224 с.
4. Бухаров А.И., Емельянов И.А., Суднов В.П. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей: справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.
5. Курзуков Н.И., Ягнятинский В.М. Аккумуляторные батареи: краткий справочник. М.: За рулем, 2008. 89 с.
6. Зарядные и пуско-зарядные устройства. Информационный обзор для автолюбителей / сост.: А.Г. Ходасевич, Т.И. Ходасевич. М.: НТ Пресс, 2005. Вып. 1. 192 с.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Тухбатуллина Д.И.<sup>1</sup>, Рашитова Р.А.<sup>2</sup>, Сафиуллин Б.И.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dtukhbatullina@inbox.ru, <sup>2</sup>r.rashitova97@mail.ru, <sup>3</sup>gougle2011@yandex.ru

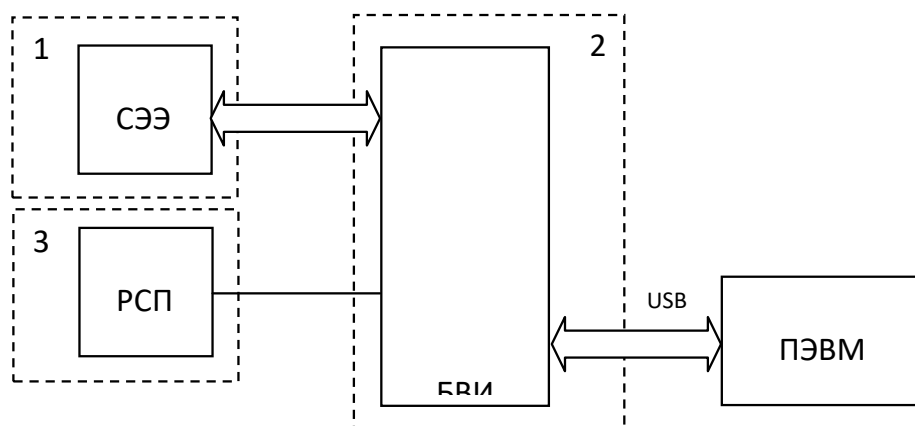
Науч. рук. Рылов Ю.А.

Рассматриваются вопросы разработки и внедрения рациональных режимов работы тягового электрооборудования электроподвижного состава, предназначенной для повышения эффективности использования электроэнергии в системе городского электрического транспорта.

**Ключевые слова:** городской электрический транспорт, тяговое электрооборудование, электроподвижной состав, энергоэффективность.

В настоящее время эффективное и бережное использование электрической энергии являются основой энергетической политики предприятий городского электрического транспорта (ГЭТ) РФ. Базовая задача внедрения рациональных режимов работы тягового электрооборудования (ТЭО) ГЭТ, являющегося одним из основных потребителей электрической энергии, имеет комплексный характер, обусловленный необходимостью совместного анализа множества взаимосвязанных показателей в совокупности определяющих энергоэффективность режимов ведения электроподвижного состава (ЭПС) [1, 2].

В связи с вышесказанным для предприятий ГЭТ актуальной является задача разработки и внедрения рациональных режимов работы ТЭО в процессе эксплуатации [3]. Возможным вариантом решения этой задачи может быть автоматизированная система расчета параметров режимов вождения ЭПС, структурная схема которой представлена на рисунке. Такая система, на основании регистрируемых в процессе движения характеристик, в режиме реального времени рассчитывает оптимальные параметры режимов вождения, обеспечивающих рациональную работу ТЭО [4].



Структурная схема системы: РЭЭ – счетчик электрической энергии; РСП – регистратор скорости и пройденного пути; БВИ – блок вычисления и индикации; ПЭВМ – портативный ЭВМ (ПЭВМ)

Система состоит из трех основных блоков:

- блок 1 – блок регистрации электроэнергии, подключается к шунту и располагается на крыше трамвая в герметичном корпусе;
- блок 2 – блок вычисления и индикации устанавливается в кабине водителя на приборной панели;
- блок 3 – блок регистрации скорости и пройденного пути, включая преобразователь сигнала датчика скорости и датчик открывания дверей, подключается непосредственно к датчику скорости и тумблеру открывания дверей.

Функциональные возможности:

- регистрация уровня электропотребления за период работы на линии;
- регистрация уровня электропотребления на участках пути;
- индикация текущей скорости;
- оценка экономичности режимов движения;
- хранение и передача данных на внешний носитель информации через UART-интерфейс;
- запись значений потребляемого тока, напряжения контактной сети, скорости движения на внешний ПЭВМ в режиме реального времени.

К дополнительным функциональным возможностям, увеличивающим стоимость системы в среднем на 5000–6500 руб., относят:

- разработку переносного портативного носителя информации;
- запись и хранение значений потребляемого тока, напряжения контактной сети, скорости движения.

В результате исследования режимов движения ЭПС были определены основные параметры, фиксирование которых необходимо для анализа соответствия действующего режима движения эталонному. Разработана методика анализа параметров, необходимых для реализации экономичных режимов движения.

Предложенная система позволит повысить эффективность использования электрической энергии в системе электрической тяги ГЭТ посредством внедрения рациональных режимов работы вождения, реализующего энергоэффективную работу тягового электрооборудования электроподвижного состава. Также в процессе эксплуатации использование системы обеспечивает возможность повышения квалификации водителей [5], а также учет параметров режимов работы тягового ТЭО для дальнейшего анализа и исследования [6, 7].

### Литература

1. Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э., Ганеев И.Р. Влияние режимов работы тягового электрооборудования подвижного состава на энергоэффективность электрической тяги в системе городского электрического транспорта // Приоритетные научные исследования: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2017. С. 25–27.

2. Баранов, Л.А., Ерофеев Е.В., Максимов В.М. Микропроцессорные системы автоведения поездов // Железнодорожный транспорт. 1985. № 11. С. 37–49.

3. Киснеева Л.Н., Аухадеев А.Э. Разработка системы автоматизированного управления подвижным составом наземного городского электрического транспорта // Вестник НЦБЖД. 2016. № 3 (29). С. 36–42.

4. Осипов С.И. Испытания локомотивов и выбор рациональных режимов вождения поездов. М.: Транспорт, 1975. 271 с.

5. Баранов Л.А. Применение тренажеров для повышения квалификации работников службы движения // Автоматика, связь и информатика. 2003. № 2. С. 17–20.

6. Experimental research of operating modes traction electric rolling stock / Yu.A. Rylov [et al.] // Modern Science. 2017. № 9. Pp. 137–140.

7. Киснеева Л.Н. Анализ факторов нагружения тяговых электродвигателей в процессе эксплуатации / Л.Н. Киснеева [и др.] // Научный альманах. 2016. № 11-2 (25). С. 147–151.

## СТАНДАРТНЫЕ НАСТРОЙКИ В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Файзулина А.Р.<sup>1</sup>, Миназов М.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>adelya-frik@bk.ru, <sup>2</sup>marsel02031998@mail.ru

Науч. рук. Бутаков В.М.

Рассматривается настройка контура скорости электропривода постоянного тока на оптимум по модулю с целью компенсации больших постоянных времени силового канала.

**Ключевые слова:** электропривод постоянного тока, контур скорости, стандартная настройка, время нарастания, перерегулирование.

Передаточная функция неизменяемой части контура скорости (КС), структурная схема динамической модели которого изображена на рис. 1, запишется в виде произведения передаточных функций блока питания, двигателя и тахогенератора:

$$W_H(s) = \frac{K_{\text{бп}} K_{\text{дв}} K_{\text{тг}}}{(T_{\text{бп}}s + 1)(T_{\text{м}}s + 1)(T_{\text{тг}}s + 1)}. \quad (1)$$

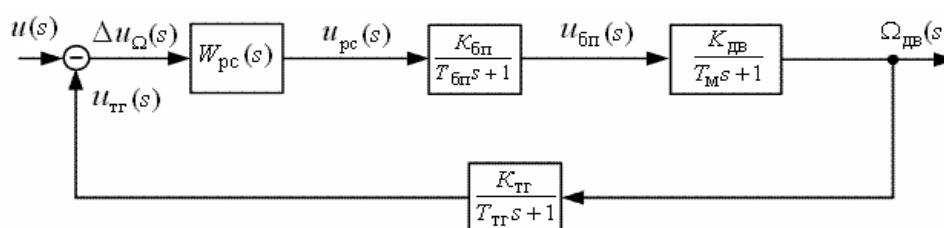


Рис. 1. Структурная схема динамической модели контура скорости

Электромеханическая постоянная времени двигателя  $T_{\text{м}}$  является постоянной времени, подлежащей компенсации.

Постоянные времени блока питания  $T_{\text{бп}}$  и тахогенератора  $T_{\text{тг}}$  являются малыми постоянными времени, и их влияние сказывается на высоких частотах. Поэтому произведение инерционных звеньев с малыми постоянными времени можно заменить одним инерционным звеном:



$$\frac{1}{(T_{\text{бп}}s + 1)} \frac{1}{(T_{\text{тг}}s + 1)} \cong \frac{1}{(T_{\Sigma}s + 1)}, \quad (2)$$

где  $T_{\Sigma} = T_{\text{бп}} + T_{\text{тг}}$  – суммарная малая постоянная времени КС.

С учетом приближения (2) выражение (1) примет вид:

$$W_{\text{н}}(s) = \frac{K_{\text{бп}} K_{\text{дв}} K_{\text{тг}}}{(T_{\text{м}}s + 1)(T_{\Sigma}s + 1)}. \quad (3)$$

Передаточная функция настроенного на ОМ разомкнутого КС

$$W(s) = W_{\text{кс}}(s) = \frac{U_{\text{тг}}(s)}{\Delta U_{\Omega}(s)} = \frac{1}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)}. \quad (4)$$

Тогда передаточная функция регулятора скорости

$$W_{\text{рс}}(s) = \frac{W(s)}{W_{\text{н}}(s)} = \frac{(T_{\text{м}}s + 1)(T_{\Sigma}s + 1)}{2K_{\text{бп}}K_{\text{дв}}K_{\text{тг}}T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1)}. \quad (5)$$

Перепишывая передаточную функцию РС в стандартном виде, получим

$$W_{\text{рс}}(s) = \frac{K_{\text{рс}}(T_{\text{рс}}s + 1)}{T_{\text{рс}}s}, \quad (6)$$

где  $T_{\text{рс}} = T_{\text{м}}$ ,  $K_{\text{рс}} = \frac{T_{\text{рс}}}{2K_{\text{бп}}K_{\text{дв}}K_{\text{тг}}T_{\Sigma}}$ .

Полученная передаточная функция РС описывает динамические свойства ПИ-регулятора.

Передаточная функция замкнутого КС

$$\Phi_{\text{кс}}(s) = \frac{\Omega_{\text{дв}}(s)}{U(s)} = \frac{1/K_{\text{тг}}}{2T_{\Sigma}s(T_{\Sigma}s + 1) + 1} = \frac{1/K_{\text{тг}}}{T_{\text{кс}}^2s^2 + 2\xi T_{\text{кс}}s + 1}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{кс}} = \sqrt{2}T_{\Sigma}$  – постоянная времени КС;  $\xi = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$  – относительный коэффициент затухания.

На рис. 2 и 3 показаны стандартные графики ЛЧХ и переходной характеристики при настройке КС на ОМ.

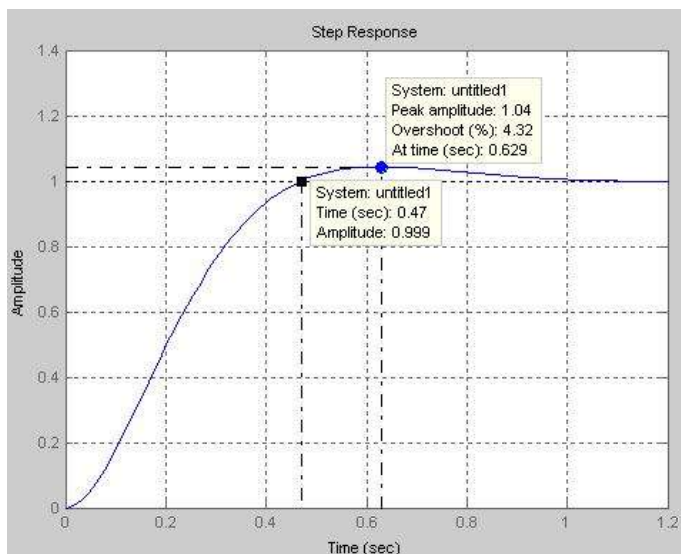


Рис. 2. Стандартный график ЛЧХ при настройке на ОМ

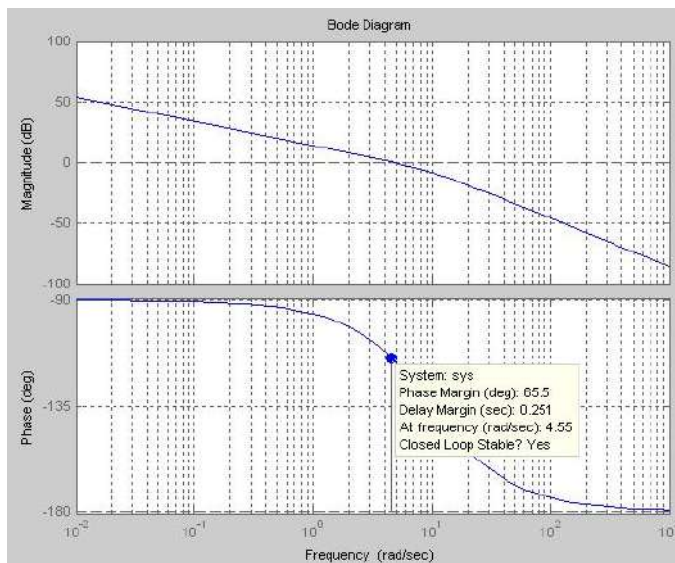


Рис. 3. Переходная характеристика  $\Omega(t)$  при настройке на ОМ

По графикам определяем показатели качества КС, настроенного на ОМ: запас устойчивости по фазе  $\theta_3 = 65,5^\circ$ , перерегулирование  $\sigma = 4,32\%$  и время нарастания переходного процесса  $t_H = 4,7T_\Sigma = 0,47$  с.

Настройка на ОМ позволяет получить достаточное быстродействие при небольшом перерегулировании. В ряде случаев, когда требуется получить повышенное быстродействие и точность системы, применяют настройку на симметричный оптимум.

## Литература

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Самара, 2016. Вып. 3. С. 141–144.

2. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2016. Вып. 3. С. 175–177.

УДК 681.513.3

### НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Файзуллина А.Р.<sup>1</sup>, Миназов М.Р.<sup>2</sup>, Адгамов Д.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>adelya-frik@bk.ru, <sup>2</sup>marsel02031998@mail.ru, <sup>3</sup>dinaradgamov@gmail.com

Науч. рук. Бутаков В.М.

Рассматривается настройка контура скорости электропривода постоянного тока на симметричный оптимум с целью повышения точности и быстродействия.

**Ключевые слова:** электропривод постоянного тока, контур скорости, симметричный оптимум, быстродействие, перерегулирование.

В промышленно применяемых электроприводах (ЭП) постоянного тока для решения задачи регулирования угловой скорости электропривода применяется система управления, выполненная по принципу подчиненного регулирования координат, в которой используются методы последовательной коррекции под названием «стандартные настройки» (СН). При такой коррекции решается задача оптимального выбора параметров регулятора с целью получения заранее известного стандартного набора показателей качества процесса управления.

Настройкой ЭП на симметричный оптимум (СО) называется синтез регулятора с целью получения динамических характеристик контура, близких к типовым характеристикам контура с астатизмом второго порядка ( $\nu = 2$ ), перерегулированием 43 %, запасом устойчивости по фазе  $\theta_3 = 37^\circ$  и временем нарастания переходного процесса  $t_H \approx 3,1T_\Sigma$ .

В основе процедуры настройки на СО лежит допущение о том, что в рабочем диапазоне частот выражение для неизменяемой части

$$W_H(s) = \frac{K}{(T_\Sigma s + 1) \prod_{i=1}^n (T_i s + 1)}, \quad (1)$$

с учетом выполнения соотношения  $T_i \gg T_\Sigma$ , можно представить в виде:

$$W_H(s) = \frac{K}{(T_\Sigma s + 1) \prod_{i=1}^n T_i s}, \quad (2)$$

где  $T_i$  – компенсируемые большие постоянные времени контура;

$T_\Sigma = \sum_{j=1}^m \tau_j$  – суммарная малая постоянная времени.

Применительно к структурной схеме динамической модели КС, показанной на рис. 1, передаточная функция неизменяемой части определяется выражением:

$$W_H(s) = \frac{K_{\text{бп}} K_{\text{дв}} K_{\text{тг}}}{T_M (T_\Sigma s + 1)}. \quad (3)$$

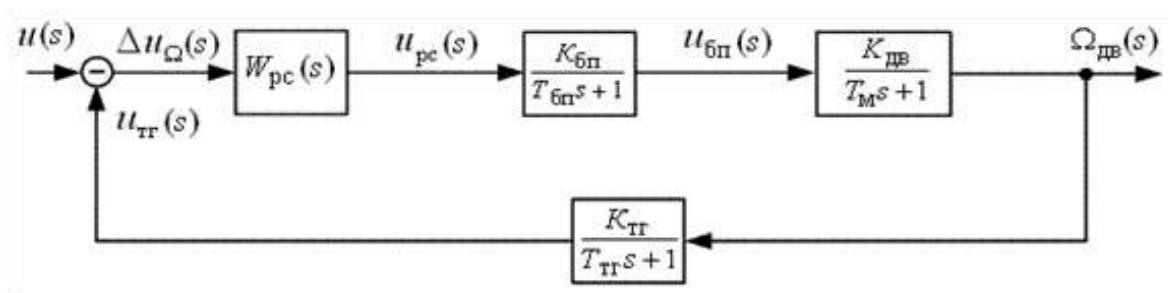


Рис. 1. Структурная схема динамической модели контура скорости

Передаточная функция настроенного на СО разомкнутого КС

$$W_{\text{КС}}(s) = \frac{(4T_\Sigma s + 1)}{8T_\Sigma^2 s^2 (T_\Sigma s + 1)}. \quad (4)$$

Тогда передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{\text{pc}}(s) = \frac{W_{\text{kc}}(s)}{W_{\text{h}}(s)} = \frac{T_{\text{M}}(4T_{\Sigma}s + 1)}{8K_{\text{бп}}K_{\text{дв}}K_{\text{тг}}T_{\Sigma}^2s(T_{\Sigma}s + 1)}. \quad (5)$$

Параметры ПИ-регулятора при этом рассчитываются по формулам:

$$K_{\text{pc}} = \frac{T_{\text{M}}}{2K_{\text{бп}}K_{\text{дв}}K_{\text{тг}}T_{\Sigma}}, \quad T_{\text{pc}} = 4T_{\Sigma}. \quad (6)$$

Для КС с электромеханической постоянной времени  $T_{\text{M}} = 0,1$  с, структурная схема которого представлена на рис. 1, получаем ЛЧХ (рис. 2) и переходную характеристику (рис. 3).

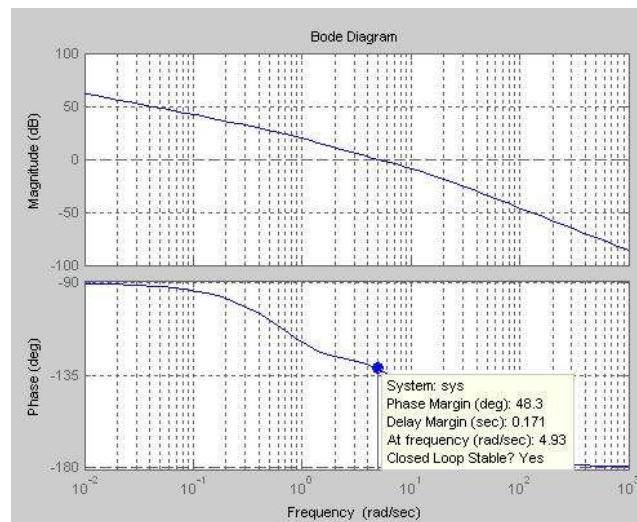


Рис. 2. ЛЧХ контура скорости с астатизмом первого порядка ( $\nu = 1$ )

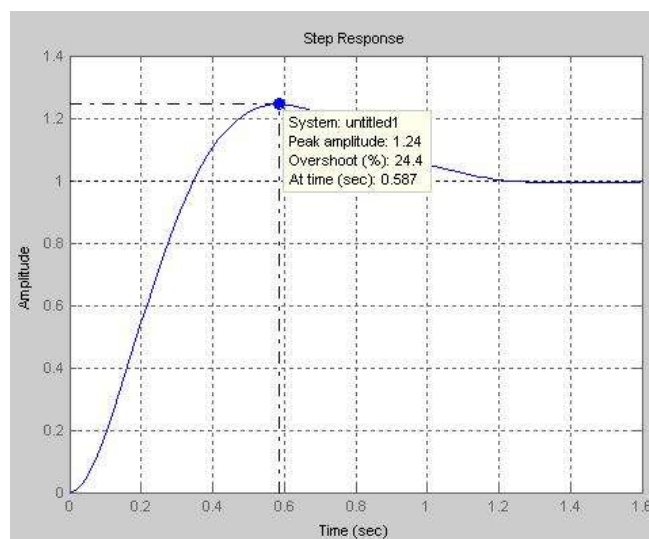


Рис. 3. Переходная характеристика контура скорости

Следует отметить, что при увеличении электромеханической постоянной времени  $T_M$  и неизменном значении суммарной малой постоянной времени  $T_\Sigma$  увеличивается запас по фазе  $\theta_3 = 48,3^\circ$  и уменьшается перерегулирование  $\sigma = 24,4 \%$ .

### Литература

1. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Павлов С.В. Стандартные настройки и их применение // Актуальные вопросы науки и техники: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. Самара, 2016. Вып. 3. С. 141–144.
2. Бутаков В.М., Гатин Б.Ф., Хрисанов А.А. Настройка замкнутого электропривода на симметричный оптимум // Проблемы и достижения в науке и технике: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2016. Вып. 3. С. 175–177.

УДК 621.3.019.32:62-501.7.001

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Фахертдинов Д.Ш.<sup>1</sup>, Литвиненко А.Р.<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup>damir.1997student2015@mail.ru, <sup>2</sup>litrus277@mail.ru

Науч. рук. Литвиненко Р.С.

Рассматривается один из методов исследования сложных технических систем и проходящих в них процессов, моделирование. Моделирование предполагает наличие следующих укрупненных этапов: формулирование цели моделирования; разработка концептуальной модели; подготовка исходных данных; разработка математической модели; выбор метода математического моделирования; выбор средств моделирования; разработка программной модели; моделирование на вычислительных средствах; проверка адекватности и корректировка модели; анализ результатов моделирования.

**Ключевые слова:** моделирование, метод, техническая система, математическая модель, имитационное моделирование.

Моделирование является методом исследования сложных технических систем и проходящих в них процессов. В основе метода лежит замена образца и реальных процессов, проходящих в нем, моделью, реализация которой может осуществляться путем математического, физического и физико-математического моделирования.

Моделирование позволяет быстро и эффективно оценить поведение сложной технической системы на всех стадиях от проектирования до применения по назначению, а также сократить объем, продолжительность и стоимость разработки и испытаний по сравнению с натурными исследованиями.

Моделирование целесообразно, когда у модели отсутствуют те признаки оригинала, которые препятствуют его исследованию, или имеются отличные от оригинала параметры, способствующие фиксации или изучению свойств модели. Моделирование применяется также в случаях, когда необходимо изучить поведение сложной технической системы в условиях, которые невозможно воспроизвести при натурном эксперименте (космическое пространство, боевые действия, аварийные и экстремальные ситуации, геофизические и метеорологические условия, различные виды целей и т. д.) или когда в этих условиях высока вероятность разрушения образца.

Моделирование предполагает наличие следующих укрупненных этапов: формулирование цели моделирования; разработка концептуальной модели; подготовка исходных данных; разработка математической модели; выбор метода математического моделирования; выбор средств моделирования; разработка программной модели; моделирование на вычислительных средствах; проверка адекватности и корректировка модели; анализ результатов моделирования.

Математическая модель функционирования образца может быть исследована различными методами - аналитическими или имитационными. Применение аналитических методов для сложных систем связано с большей, по сравнению с другими методами, степенью упрощения реальности и абстрагирования. Поэтому, аналитические методы исследования используются обычно для первоначальной, грубой оценки характеристик всего образца или отдельных его подсистем, а также на ранних стадиях испытаний систем, когда недостаточно информации для построения более точной модели.

Имитационное моделирование является наиболее универсальным методом исследования систем и количественной оценки характеристик их функционирования. При имитационном моделировании динамические процессы образца-оригинала подменяются процессами, имитируемыми в абстрактной модели, но с соблюдением таких же соотношений длительностей и временных последовательностей отдельных операций. В процессе имитации, как при эксперименте с оригиналом, фиксируют определенные события и состояния или измеряют выходные воздействия, по которым вычисляют характеристики качества функционирования образца.

Методы имитационного моделирования дискретных и непрерывных систем с детерминированными: или случайными количественными параметрами образца и внешних воздействий, разделяются на детерминированные и статистические. Детерминированное моделирование может применяться при изучении образца вооружений с известными параметрами при фиксированных внешних воздействиях. При статистическом моделировании для получения достоверных вероятностных характеристик процессов функционирования образца требуется их многократное воспроизведение с различными конкретными значениями случайных факторов и статической обработкой результатов измерений. В основу статического моделирования положен известный метод статических испытаний (метод Монте-Карло).

Основные преимущества метода состоят в простоте процедур постановки и обработки экспериментов на модели, высокой помехозащищенности к случайным ошибкам, возможным при проведении отдельных опытов на модели, а также в независимости скорости убывания погрешности от размерности вектора, а недостатком является большое число воспроизведений процесса моделирования для обеспечения требуемой точности оценок и минимизации дисперсии. Это является следствием того, что при получении оценок не используются априорные сведения о свойствах интегрируемой функции и о виде вероятностной меры.

Более совершенными и свободными от указанных недостатков являются его модификации: метод выделения главной части, метод существенной выборки, метод коррелированных процессов.

## Литература

1. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Аухадеев А.Э. Практическое применение нормального закона распределения в теории надежности технических систем // Известия высших учебных заведений. Электро-механика. 2016. № 4. С. 96–99.



2. Литвиненко Р.С. Имитационная модель процесса функционирования электротехнического комплекса с учетом надежности его элементов // Надежность, 2016. Т. 16, № 1 (56). С. 37–42.

3. Оценка технического уровня сложных систем на этапе разработки / Р.С. Литвиненко [и др.] // Вестник машиностроения. 2015. № 6. С. 35–39.

4. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Залялов Р.Р. Подход к исследованию надежности электротранспортной системы города, как сложной технической системы // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 3 (58). С. 108–114.

5. Литвиненко Р.С., А.Э. Аухадеев, О.А. Филина. Исследование технической надежности городской электротранспортной системы // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 8. С. 60–71.

6. Павлов П.П., Р.Г. Идиятуллин, Р.С. Литвиненко. К вопросу оценки надежности электротранспортной системы города // Бюллетень транспортной информации. 2017. № 5 (263). С. 23–26.

7. Литвиненко Р.С., Идиятуллин Р.Г. Имитационная модель надежности создаваемого электротехнического комплекса // Электротехнические комплексы и системы управления. 2015. № 4. С. 12–17.

УДК 681.513.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК СЛЕДЯЩЕГО ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЗАДАЮЩИХ И ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

Филиппов А.Н.<sup>1</sup>, Зайнуллин И.И.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>cs.s1997@yandex.ru, <sup>2</sup>ilnur1996@gmail.com

Проведено исследование влияния различных видов задающих и возмущающих воздействий на ошибки следящего позиционного электропривода с астатизмом первого порядка, регулятор положения которого синтезирован с применением ЛЧХ на основе критерия динамической точности системы при воспроизведении задающего гармонического воздействия

**Ключевые слова:** следящий позиционный электропривод, электродвигатель постоянного тока, регулятор положения, астатизм первого порядка.

Электропривод (ЭП) построен с использованием принципа подчиненного регулирования координат и состоит из контура положения, включающего контуры скорости и тока, в которых реализована стандартная настройка на оптимум по модулю. ЭП имеет следующие параметры блока питания, датчика тока и тахогенератора:  $K_{\text{бп}} = 22$ ;  $T_{\text{бп}} = 0,0012$  с;  $K_{\text{дт}} = 1,8$  Ом;  $T_{\text{дт}} = 0,003$  с;  $K_{\text{тг}} = 0,025 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$ ;  $T_{\text{тг}} = 0,008$  с.

Для синтеза регулятора использовался метод ЛЧХ, основанный на сопоставления ЛЧХ  $L_{\text{н}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{н}}(\omega)$  разомкнутой нескорректированной системы с так называемыми желаемыми ЛЧХ  $L_{\text{ж}}(\omega)$ ,  $\theta_{\text{ж}}(\omega)$ , при формировании которых учитывались требования к точностным характеристикам и динамическим показателям электропривода, сформулированные в техническом задании.

Желаемая передаточная функция ЭП с астатизмом первого порядка

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{K_{\Omega}(T_{2\text{ж}}s + 1)}{s(T_{1\text{ж}}s + 1)(T_{3\text{ж}}s + 1)} = \frac{275,77(0,417s + 1)}{s(s + 1)(0,019s + 1)}. \quad (1)$$

Передаточная функция неизменяемой части ЭП

$$W_{\text{н}}(s) = \Phi_{\text{кс}}^{\text{ом}}(s) \cdot K_{\text{дп}} = \frac{K_{\text{дп}} / K_{\text{тг}} (T_{\text{тг}}s + 1)}{2(T_{\Sigma}^{\text{кв}}s)^2 + 2T_{\Sigma}^{\text{кв}}s + 1} = \frac{1200(0,008s + 1)}{5,379 \cdot 10^{-4}s^2 + 0,0328s + 1}. \quad (2)$$

Далее вычисляется передаточная функция регулятора положения  $W_{\text{рп}}(s) = W_{\text{ж}}(s)/W_{\text{н}}(s)$  и строится ее ЛАЧХ, представленная на рис. 1.

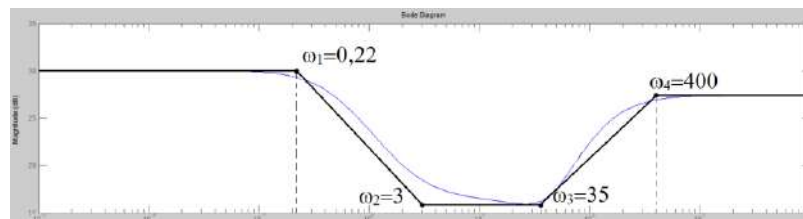


Рис. 1. ЛАЧХ регулятора положения

Полученную ЛАЧХ следует аппроксимировать четырьмя асимптотами и придать регулятору положения свойства ПИД-регулятора:

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{K_{\text{рп}}(T_1s + 1)(T_2s + 1)}{T_1s(T_3s + 1)} = \frac{32(0,33s + 1)(0,00028s + 1)}{(4,5s + 1)(0,0025s + 1)}. \quad (3)$$

Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом первого порядка показана на рис. 2.

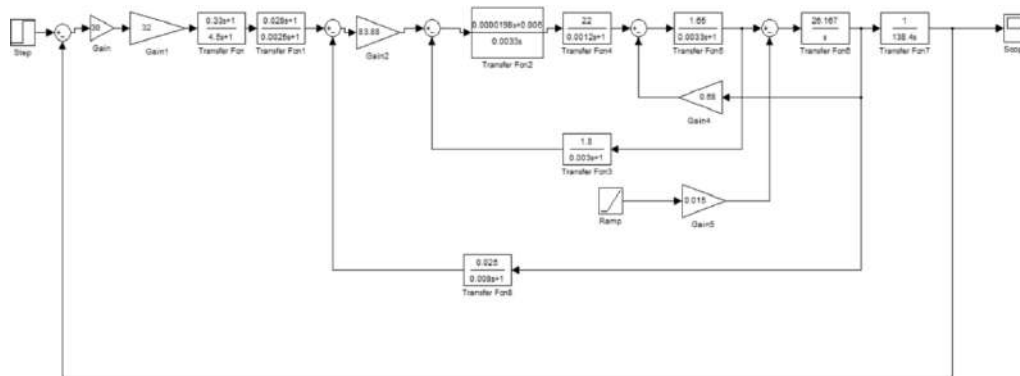


Рис. 2. Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка

Моделирование структурной схемы динамической модели производилось с применением программы MatLab. Результаты моделирования показаны на рис. 3–6, из которых видно, что при линейно возрастающем задающем воздействии и при ступенчато возрастающем моменте сопротивления имеются установившиеся ошибки.

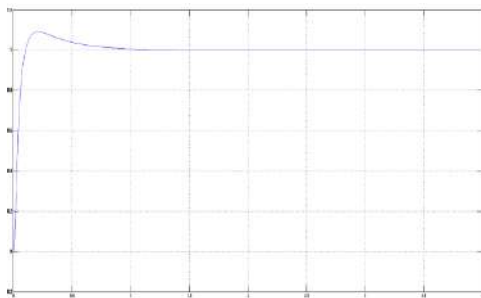


Рис. 3. Переходная характеристика системы по задающему воздействию

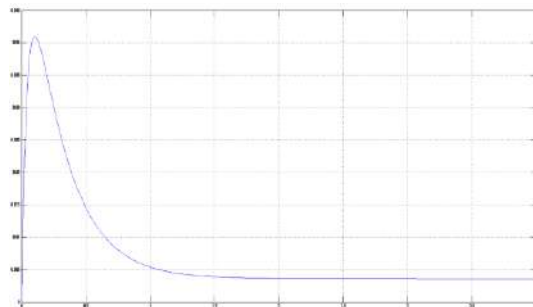


Рис. 4. График ошибки системы при линейно возрастающем задающем воздействии

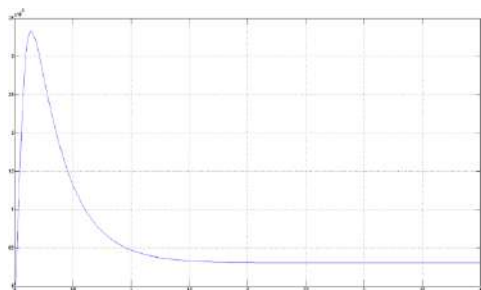


Рис. 5. График моментной составляющей ошибки системы при ступенчато возрастающем моменте сопротивления

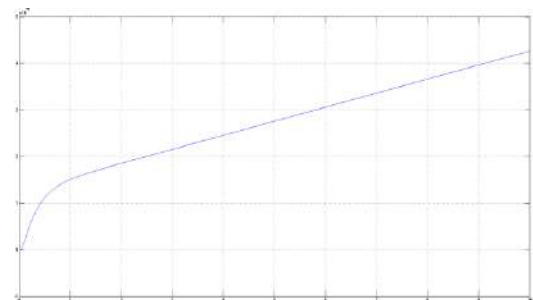


Рис. 6. График моментной составляющей ошибки системы при линейно возрастающем моменте сопротивления

При линейно возрастающем моменте сопротивления система не работоспособна, поскольку ошибка с течением времени бесконечно возрастает.

## Литература

1. Бутаков В.М., Баязитов В.О., Дудкин И.М. Расчет характеристик электроприводов // Актуальные вопросы технических наук в современных условиях: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 2017. Вып. 4. С. 94–98.

УДК 621.313

## ТЕХНИЧЕСКИЙ ОСМОТР НАЗЕМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА С ПОМОЩЬЮ БЕЗДЕМОНТАЖНЫХ СПОСОБОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Яшагина А.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. Филина О.А.

В настоящее время наземный электрический транспорт является востребованным, поэтому нужно обеспечить безопасность и надежность при перевозке пассажиров. Основным гарантом безопасности является техническая исправность транспорта, повреждённое оборудование должно быть обнаружено и отремонтировано как можно скорее. В этой статье рассматривается целесообразность использования нового диагностического оборудования при технических осмотрах наземного электрического транспорта. Вручную процесс диагностики выходит очень дорогостоящим и долговременным.

**Ключевые слова:** диагностика, дефектоскоп, технический осмотр, наземный электрический транспорт.

В настоящее время существует проблема диагностики наземного электрического транспорта. Сейчас технические осмотры и ежедневные предрейсовые осмотры (ЕО, ТО-1, ТО-2 и т. д.) проводятся, используя старое оборудование и устаревшие методы. Технический осмотр городского наземного электрического транспорта – это обязательная процедура, предусмотренная законодательством.

На данный момент технический осмотр транспортных средств городского наземного электрического транспорта проводится оператором технического осмотра с помощью передвижных средств технического диагностирования в трамвайном или троллейбусном депо (парке) владельца трамвайных вагонов или троллейбусов, который должен обеспечить все необходимые производственные и организационные условия для проведения технического осмотра [1].

Транспортные средства городского наземного электрического транспорта подлежат плановому техническому осмотру каждые шесть месяцев (пассажирыские трамвайные вагоны) проверяются: тормозная система, сцепной прибор, карданная передача и редуктор, пневматическое оборудование, крышное оборудование, электрическое оборудование и кузов. Примерная цена такого осмотра составляет 442200 руб. (данные на конец 2019 г.)

Для увеличения эффективности проведения ТО предлагается использование дефектоскопов, которые облегчат и ускорят процесс диагностики, так как это является бездемонтажным способом диагностики [2]. Дефектоскоп – это электронное устройство, предназначенное для обнаружения скрытых дефектов. Прибор позволяет диагностировать отклонения от нормы без создания нагрузки или разрушения объекта.

Среди самых распространенных дефектоскопов, которые используются при диагностике наземного электрического транспорта можно выделить: акустические и ультразвуковые.

Акустический метод дефектоскопии (остукиванием) применяют для текущего контроля болтовых соединений, плотности посадки детали. Низкий тон, дребезжание свидетельствует о наличии ослабления соединений, посадки, наличии трещин в предварительно напряженной детали. Представителем этого типа дефектоскопов является АД-60К.

Ультразвуковой метод дефектоскопии используется для выявления дефектов, залегающих в глубине детали. Высокая разрешающая способность позволяет применять его также для безразборного диагностирования. Применяют несколько типов дефектоскопов: УЗД-60), 2ДМ-1М, ДУК-ПИМ.

В среднем цена дефектоскопа колеблется в пределах от 150000 до 300000 руб., стоимость зависит от количества функций, качества сборки и точности исследования. Если взять в пример дефектоскоп стоимостью 200000 руб., то он окупится через несколько применений, то есть через несколько лет, а при надлежащем использовании такое оборудование прослужит долго.

Чтобы обеспечить условия безопасности перевозок необходимо вовремя обнаруживать неисправности оборудования, для этого нужно увеличивать качество ежедневных осмотров. Дефектоскопия позволит проводить более глубокий анализ и находить малоповреждённые узлы до их более серьёзного износа [3]. Это позволит сэкономить время на монтажные работы, деньги для оплаты этих ремонтных работ, а также уменьшит время застоя техники.

В итоге получаем, что покупка и использование дефектоскопа является очень выгодной для владельца трамвайного или троллейбусного депо. А также, что не менее важно, использование новейшего оборудования увеличит надёжность перевозок.

### Литература

1. Филина О.А., Степанов Е.Л. Техническая диагностика газотранспортного оборудования, городского электрического транспорта и железнодорожного транспорта // Наука и современность. 2014. № 29. С. 200–205.

2. Филина О.А. Техническое состояние изделия и его бездемонтируемая диагностика // Наука сегодня: сб. науч. тр. по матер. V Междунар. науч.-практ. конф. Вологда, 2014. С. 74.

3. Михайловский А.Е., Яшагина А.В. Разработка программных комплексов контроля и диагностики состояния энергетических объектов с помощью теории шкал // Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы: сб. матер. VIII Междунар. молодежной науч. конф. Саратов, 2018. С. 369–372.

## Секция 6. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621-313.3

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРЕХОД НА ЧИСТУЮ ЭНЕРГЕТИКУ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММЕРЧЕСКИХ ЗДАНИЯХ В СТРАНАХ ЕВРОСОЮЗА

Аюпов Р.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

difut@mail.ru

Науч. рук. Назарова И.П.

Рассмотрены меры, предпринимаемые в области повышения энергетической эффективности в разных промышленных отраслях, проведен анализ использования чистой энергетики в странах ЕС. Представлены результаты внедрения нетрадиционных источников энергии в промышленные и коммерческие объекты, расчеты проводились в среде MatLab/Simulink.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, чистая энергетика, солнечные панели, возобновляемая энергия, источник энергии.

В настоящее время в некоторых промышленных секторах стран ЕС с целью снижения энергопотребления проводится ряд мероприятий по замене и повышению энергоэффективности технологического оборудования. Основные меры, осуществляемые, например, в Португалии, приведены в табл. 1 [3].

Результаты исследования в области замещения традиционных источников энергии на солнечные панели (СП) и ветровые турбины (ВТ) представлены в табл. 2 [3].

Как показывают расчеты, на сегодняшний день полный переход на чистую, возобновляемую энергетику нерентабелен, убыточен, малоэффективен, и опыт стран ЕС это доказывает. На данный момент необходимо провести полную модернизацию промышленных объектов с целью повышения энергоэффективности, снижения зависимости от энергетических компаний, уменьшению выбросов в окружающую среду.

Таблица 1

## Меры по повышению энергоэффективности

Отрасли промышленности	Предпринятые меры	Замена технологического оборудования
Целлюлозно-бумажная	<p>Использование черного щелочного концентрата для увеличения твердого содержимого</p> <p>Использование переработанной целлюлозы и дополнительного тепла от отбеливания сточных вод и термомеханических процессах</p> <p>Использование газа, извлеченного из доменных и кислородных печей</p>	<p>Замена ленточных конвейеров на пневматические</p> <p>Использование вторичного тепла вместо пара, не требует замены патрубков и змеевиков</p> <p>Использование переменной скорости в приводах вентиляционных вентиляторов и вентиляторах сгорания.</p> <p>Перевод турбины на высокое давление</p>
Черная металлургия	<p>Использование переработанного алюминия и выхлопных газов из печей.</p> <p>Увеличение концентрации кислорода в воздухе при плавке, автоматическая регулировка воздуха в горелках</p>	<p>Установка многоступенчатых регенеративных горелок, использование погружного нагревателя печи вместо открытого нагревателя</p>
Химическая и фармацевтическая	<p>Уменьшение расхода в вытяжных шкафах и улучшение качества фильтрации, оптимизация ректификационных колонн</p>	<p>Использовать новые методы разделения фракций в ректификационных колоннах с помощью дистилляции</p>



Окончание таблицы

Отрасли промышленности	Предпринятые меры	Замена технологического оборудования
Нефтехимическая	Добыча углеводородов от продувочных систем, изоляция с подогревом для нефтяных резервуаров, оптимизация факелов, использование абсорбентов для уменьшения загрязнения в процессе перегонки нефти	Комплексная газификация системы с комбинированным циклом, использование гидроуловителей тепла
Производство неметаллических минералов	Оптимизация решетчатых кулеров в производстве цемента	Ввод переменной скорости приводов в вентиляторах сгорания

Таблица 2

Результаты расчетов в среде MatLab/Simulink

Объекты	Годовое потребление энергии, кВт·ч	Площадь доступ. для СП/ВТ, м <sup>2</sup>	Кол-во СП/ВТ	Стоимость СП/ВТ, тыс. €	Общая вырабатываемая энергия, кВт·ч	Объем импорта энергии
Мельница	1689504	3200/1125	795/4	516,5/30	932269(55%)	757235 (45%)
Каменный карьер	253109	900/1500	223/5	145,2/1,7	301893(119%)	29038 (19%)
Цех по производству полимеров	1188783	3360/1200	834/4	542,2/32	979560(82%)	209223 (18%)
Ткацкая фабрика	1271467	825/330	205/1	133,1/8,8	241794(19%)	1029673 (81%)
Гипермаркет	3499328	4925/6500	1223/21	795/173	1607122(46%)	1892206 (54%)

## Литература

1. Cao X, Dai X, Liu J. Building energy consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade // Energy Build. 2016. Vol. 128. Pp. 198–213.

2. Laustsen J. Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings [Electronic resource]. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-requirements-in-building-codes-policies-for-new-buildings> (date of the application: 20.02.2020).

3. Bandejas F., Gomes, M., Coelho, P., & Fernandes, J. (2019). Towards net zero energy in industrial and commercial buildings in Portugal [Electronic resource] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020. Vol. 119. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109580> (дата обращения 20.02.2020).

УДК.621.311

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В КОМБИНИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ**

Бардакова К.А.<sup>1</sup>, Сошинов А.Г.<sup>2</sup>

КТИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ, г. Камышин

kristina\_bardakova@mail.ru

Одним из элементов автономных комбинированных энергетических установок на возобновляемых источниках энергии являются накопители энергии. В данной работе рассмотрена возможность использования литий-ионных аккумуляторов в качестве таких накопителей. В статье приведен сравнительный анализ энергетических и эксплуатационных характеристик, срока службы свинцово-кислотных и литий-ионных аккумуляторов.

**Ключевые слова:** автономные комбинированные энергетические установки, накопители энергии, свинцово-кислотных и литий-ионные аккумуляторы.

В настоящее время в мире резко возрос интерес к применению накопителей энергии в электроэнергетических системах. В России также актуальны перспективы использования накопителей энергии в энергетических установках на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Внедрение ВИЭ в систему энергообеспечения удалённых районов позволит существенно развить энергетическую инфраструктуру этих

регионов страны за счет их универсальности и автономности. Это объясняется как тенденциями развития генерирующих мощностей, так и новыми технологиями производства некоторых типов накопителей энергии. Так, например, при регулировании электрических сетей можно отказаться от строительства крупных ГАЭС, а заняться созданием распределенных сетей на аккумуляторных накопителях.

Применение накопителей энергии в энергетических системах, содержащих ВИЭ, позволяет: выравнять переменные графики работы, снизить колебания мощности, обеспечить требуемое количество электроэнергии, обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей.

По мнению авторов для электроснабжения удалённых районов перспективно применение автономных комбинированных энергетических установок (АКЭУ) малой мощности на ВИЭ.

Автономная комбинированная энергетическая установка на ВИЭ с накопителем энергии это полностью интегрированная, саморегулирующаяся и самовосстанавливающаяся электроэнергетическая система, имеющая сетевую топологию. Она включает в себя все генерирующие источники, магистральные и распределительные сети, все виды потребителей электрической энергии, управляется единой сетью информационно-управляющих устройств в режиме реального времени [1].

Одним из элементов этих установок являются накопители энергии. В связи с прогрессом в области эксплуатационных характеристик химических аккумуляторов (в частности литий-ионных), а также из-за снижения их стоимости, в ближайшем будущем ожидается значительное расширение сферы экономически обоснованного применения этих накопителей энергии.

Для данного типа аккумуляторов характерны высокая энергоемкость, глубокие циклы заряда – разряда (70–80 %), отсутствие эффекта памяти. В то же время ресурс и стоимость таких аккумуляторов зависят от типа электрохимических систем, применяемых на катоде и аноде, а также от температуры и режимов эксплуатации.

В 2003 году в Массачусетском технологическом институте впервые было предложено использовать ферро-фосфат лития ( $\text{LiFePO}_4$ ) в качестве катодного материала. Это химическое соединение доступно и нетоксично, в отличие от кадмия и никеля, которые используются в аккумуляторах. Ферро-фосфат способен отдать практически весь накопленный литий, оставаясь устойчивым. При этом сохраняется главное свойство литий-ионных аккумуляторов – большая удельная емкость. Таким образом,

эти литий-ионных аккумуляторы (ЛИА) стали безопасными, высоко энергоэффективными и экологичными. Налажено производство этих аккумуляторов на запущенном в декабре 2011 г. заводе под Новосибирском.

Сравнительные характеристики свинцово-кислотных (СКА) и литий-ионных аккумуляторов [2] приведены в таблице.

Характеристики аккумуляторов

Характеристики аккумуляторов	Типы аккумуляторов	
	СКА	ЛИА
Рабочее напряжение, В	2	3,7
Удельная энергия, Вт·ч/кг	30	150
Цикл заряда/разряда	1000	2000...3000
Саморазряд (в месяц), в %	2	4,1
Рабочая температура, °С	-5...+40	-30...+50

Таким образом, исходя из приведенных сравнительных характеристик СКА и ЛИА, литий-ионные аккумуляторы имеет больший срок службы и удельную плотность энергии, менее чувствительны к изменению температуры, имеют способность сохранять первоначальную емкость при повышенных токах разряда и не нуждаются в постоянном контроле основных параметров. Поэтому применение ЛИА в качестве накопителей автономной комбинированной энергетической установки (АКЭУ) с использованием ВИЭ весьма перспективно[3].

В [4] приведён расчет автономной комбинированной энергетической установки (АКЭУ) на ВИЭ с накопителем энергии.

Для расчета фактической мощности автономной комбинированной энергетической установки на ВИЭ с накопителем энергии составляют систему уравнений:

$$W_{\text{АКЭУ}} = W_{\text{ОЭ}} + W_{\text{АБ}}; \quad (1)$$

$$W_{\text{АКЭУ}} = P_{\text{АКЭУ}} \cdot T_{\text{АКЭУ}}; \quad (2)$$

$$W_{\text{ОЭ}} = P_{\text{ОЭ}} \cdot T_{\text{АКЭУ}}; \quad (3)$$

$$W_{\text{АБ}} = P_{\text{ОЭ}} \cdot (24 - T_{\text{АКЭУ}}), \quad (4)$$

где  $W_{\text{АКЭУ}}$  – работа автономной комбинированной энергетической установки, кВт·ч/сут.;  $W_{\text{ОЭ}}$  – энергия, потребляемая объектом, кВт·ч/сут.;  $W_{\text{АБ}}$  – энергия, переданная накопителю, кВт·ч/сут.;  $T_{\text{АКЭУ}}$  – время работы автономной комбинированной энергетической установки (принимается в расчетах равным от 8 до 16 ч/сут.);  $P_{\text{ОЭ}}$  – номинальная мощность объекта энергопотребления, кВт;  $P_{\text{АКЭУ}}$  – фактическая мощность автономной комбинированной энергетической установки, кВт:

$$P_{\text{АКЭУ}} \cdot T_{\text{АКЭУ}} = P_{\text{ОЭ}} \cdot T_{\text{АКЭУ}} + P_{\text{ОЭ}} \cdot (24 - T_{\text{АКЭУ}}) = 24 \cdot P_{\text{ОЭ}}; \quad (5)$$

$$P_{\text{АКЭУ}} = 24 \cdot P_{\text{ОЭ}} / T_{\text{АКЭУ}}. \quad (6)$$

Таким образом, авторами произведен анализ практической перспективы использования накопителей энергии в АКЭУ на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), приведена методика расчета фактической мощности автономной комбинированной энергетической установки на ВИЭ с накопителем энергии. В дальнейшем авторами планируется произвести расчет АКЭУ на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ).

### Литература

1. Смоленцев Н.И. Накопители энергии в локальных электрических сетях // Ползуновский вестник. 2013. № 4-2. С. 176–181.
2. Divya K.S., Ostergaard J. Battery energy storage technology for power systems // Electric Power Systems Research. 2009. Vol. 79. Pp. 511–520.
3. Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М. Перспективы применения литий-ионных аккумуляторов в качестве резервных источников питания на электрических станциях // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4 (36). С. 45–53.
4. Бессель В.В. Экономико-математическое моделирование показателей инвестиционной привлекательности проекта создания автономной комбинированной энергетической установки на возобновляемых источниках энергии с накопителем энергии [Электронный ресурс]. URL: [https://www.gubkin.ru/faculty/pipeline\\_network\\_design/chairs\\_and\\_departments/thermodynamics\\_and\\_thermal\\_engine/metodicheskie-materialy/](https://www.gubkin.ru/faculty/pipeline_network_design/chairs_and_departments/thermodynamics_and_thermal_engine/metodicheskie-materialy/) (дата обращения: 01.03.2020).

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Бардакова К.А.<sup>1</sup>, Сошинов А.Г.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>КТИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ, г. Камышин

<sup>1</sup>kristina\_bardakova@mail.ru

Значительное место в решении проблем, возникающих при электроснабжении удалённых районов, отводится возобновляемым источникам энергии. В статье идёт речь о роли автономных комбинированных энергетических установок малой мощности на возобновляемых источниках энергии в электроснабжении. В этой структуре накопители энергии являются важным промежуточным звеном между системами генерирования и системами распределения и потребления энергии.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, автономные комбинированные энергетические установки, накопители энергии.

По внутреннему энергопотреблению Россия является одним из мировых лидеров, хотя эффективность энергопотребления в стране очень низкая. Это свидетельствует о том, что необходимо привлекать в энергодолгоснабжение возобновляемые источники энергии (ВИЭ), особенно в удалённых системах энергоснабжения. Расчёты, проведённые российскими исследователями [1], свидетельствуют о том, что технический потенциал солнечной и ветровой энергии России огромен. Внедрение ВИЭ в систему энергообеспечения удалённых районов позволит существенно развить энергетическую инфраструктуру этих регионов страны за счёт их универсальности и автономности.

В этой связи актуально применение автономных комбинированных энергетических установок (АКЭУ). Применение автономных комбинированных энергетических установок малой мощности позволяет [1]:

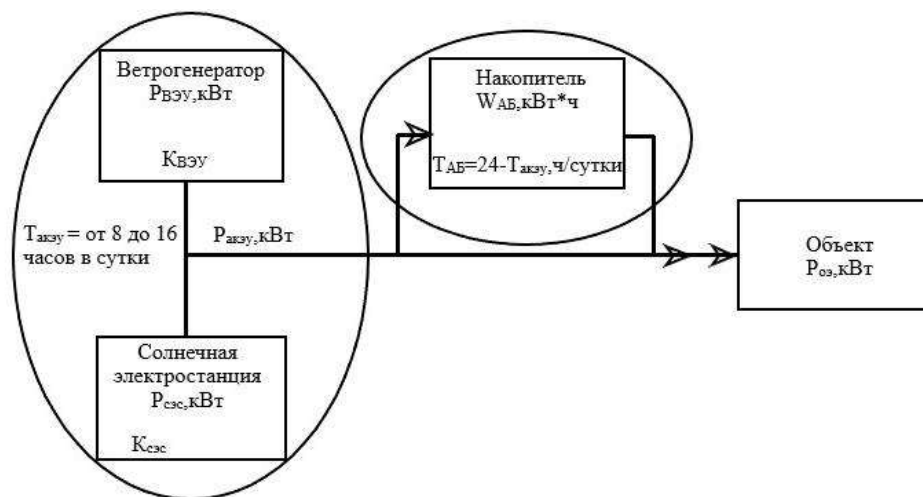
– избежать значительных затрат на строительство дорогостоящих генерирующих мощностей, использующих для выработки электроэнергии органическое топливо, гидро- или атомную энергию, а также протяжённых магистральных сетей электроснабжения;

– минимизировать затраты финансовых и материальных ресурсов на выполнение технических условий на подключение к сетям централизованного электроснабжения;

– существенно уменьшить потери от передачи энергии на большие расстояния;

– увеличить надежность энергообеспечения объектов за счет возможностей многократного резервирования автономных энергетических установок в непосредственной близости от потребителей энергии.

Современная АКЭУ содержит, как правило, следующие основные элементы (см. рисунок): источник ВИЭ; накопитель электрической энергии; блок преобразования и управления режимами работы источника электроэнергии и накопителя энергии; систему интеллектуального управления и контроля параметров.



Основные элементы современной АКЭУ

Классификация АКЭУ может быть произведена, например, по типу ВИЭ. Это автономная электрическая сеть на основе солнечных фотоэлектрических устройств, водородно-воздушных топливных элементов, ветроэлектрических установок, пьезоэлектрических преобразователей, двигателей внутреннего сгорания, твердооксидных топливных элементов, термической переработки органической массы, сезонных колебания температуры окружающей среды.

Применение накопителей электрической энергии в АКЭУ открывает новые возможности повышения качества управления их электрическими режимами и становится важным промежуточным звеном между системами генерирования и системами распределения и потребления энергии [2]. Накопители электрической энергии (ЭЭ) являются одним из ключевых элементов в современных интеллектуальных электроэнергетических системах.

Так как в России, к сожалению, слабо развито использование возобновляемых источников энергии (ветрогенераторов и солнечных батарей) [3], то работы по созданию и применению энергоэффективных

накопителей (ЭЭ) актуальны и способствуют широкому внедрению технологий эффективного использования и перераспределения накопленной энергии в возобновляемой электроэнергетике.

Накопители электрической энергии можно условно разделить на три группы: механические, химические и электрические. К ним относятся следующие основные типы накопителей энергии [4]: гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), накопители на сжатом воздухе (НЭСВ), роторные накопители (маховики), электрохимические аккумуляторы (Lead-Acid, Li-ion, NiCd и т.д.), проточные электрохимические аккумуляторы (топливные элементы), ёмкостные накопители (конденсаторы и суперконденсаторы), сверхпроводниковые магнитные накопители (магнитные аккумуляторы SMES).

Сравнительные характеристики накопителей энергии представлены в таблице.

Сравнительные характеристики накопителей энергии

Тип	Мощность	Время отклика	Продолжительность накопления и отдачи	Эффективность накопления-отдачи
Гравитационные/ ГАЭС, ТАЭС	МВт, ГВт	Секунды, минуты	От часов до недель	70–85 %
Термические/солевые	МВт	Минуты	Часы	80–90 %
Электрохимические/ МВт Li-Ion и др.	Вт, МВт	Миллисекунды	Минуты, часы, дни	До 98 %
Механические/ маховики	Вт, кВт	Миллисекунды	Секунды, минуты	До 98 %
Химические/водород, метан, этанол и др.	ГВт	От секунд до минут	Часы	До 45 %

В заключение можно сделать вывод, что для электроснабжения удалённых районов актуально использование автономных комбинированных энергетических установок на базе возобновляемых источников электрической энергии. Одним из ключевых элементов в этих АКЭУ является накопитель энергии. Авторы считают, что одними из перспективных накопителей являются ионно-литиевые аккумуляторы.

В дальнейшем авторами планируется исследовать методы расчёта АКЭУ на возобновляемых источниках электрической энергии.



## Литература

1. Бессель В.В. Экономико-математическое моделирование показателей инвестиционной привлекательности проекта создания автономной комбинированной энергетической установки на возобновляемых источниках энергии с накопителем энергии [Электронный ресурс]. URL: [https://www.gubkin.ru/faculty/pipeline\\_network\\_design/chairs\\_and\\_departments/thermodynamics\\_and\\_thermal\\_engine/metodicheskie-materialy/](https://www.gubkin.ru/faculty/pipeline_network_design/chairs_and_departments/thermodynamics_and_thermal_engine/metodicheskie-materialy/) (дата обращения: 01.03.2020).

2. Бардакова К.А. Накопители электроэнергии – перспективные энергоэффективные устройства в солнечной и ветровой энергетике // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: сб. тр. V Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. Тольятти, 2019. С. 16–19.

3. Применение накопителей энергии [Электронный ресурс]. URL: <https://mig-energo.ru/kineticheskie-nakopiteli-energii/primenenie-nakopitelej-energii/> (дата обращения: 06.10.2019).

4. Шутенкова О.С. Современные накопители электроэнергии // Тинчуринские чтения: сб. матер. XIV Междунар. молодёж. науч. конф. Казань, 2019. Т. 1. С. 90–99.

УДК 628.931

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БИОДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Баширов А.А., Казмирук Л.О., Емельянов А.А., Чунарева А.С.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
Bu-bu-bu-bu@mail.ru, lev.kazmiruki@mail.ru, arhuntem@inbox.ru,  
alexandra.tchunariova@yandex.ru  
Науч. рук. Сандаков В.Д.

Рассматривается влияние искусственного и естественного освещения на организм человека, а также перспективы применения биодинамического освещения помещений для повышения работоспособности и комфорта людей.

**Ключевые слова:** освещение, светодиод, циркадный ритм, физиология, регулирование, автоматизация

Люди в современном мире проводят огромное количество времени внутри помещений, что приводит к тому, что мы испытываем негативное влияние искусственного освещения в вечернее время, недостаток естественного света в течение дня. Разграничение между днем и ночью, существовавшее большую часть истории человека, сегодня исчезает. В ночное время современный человек получает все больше света, а днем наоборот, страдает из-за его недостатка. Все это негативно влияет на физиологию, эмоциональное состояние, что способствует повышению стресса.

Естественный биологический ритм день-ночь помогает людям хорошо спать и расслабляться в темное время суток, а днем способствует бодрствованию и высокой работоспособности. Наше тело, в процессе эволюции, развило биоритм, связанный со сменой уровня освещенности – это называется циркадным ритмом.

Большую часть дня человек проводит внутри зданий под искусственным освещением, он лишен возможности восприятия изменений естественного света. Для решения этой проблемы было создано биодинамическое освещение. Это позволило улучшить самочувствие человека и повысить его работоспособность [1].

Биодинамическое освещение поддерживает циркадный ритм человека и сохраняет естественные показатели выработки мелатонина. Система освещения регулирует теплые и холодные спектры света в течение суток, копируя изменения цветовой температуры естественного света без нежелательного инфракрасного или ультрафиолетового излучения [2].

Кроме настройки цветовой температуры, необходимо регулировать спектр излучения, который тоже влияет на циркадный ритм человека, особенно синяя составляющая, которая подавляет продуцирование мелатонина. На его выработку влияет и освещенность. На рисунке показано, как зависит подавление мелатонина от освещенности при использовании различных источников света: черная линия (·····) – отклик на синий монохроматический свет; красная (— — — — —) и синяя (——) линии – влияние стандартных источников белого света, соответственно, CIE A (2800 K) и CIE D65 (6500 K).

Правильное освещение намного важнее необходимости экономии электроэнергии. Введение биодинамического освещения намного увеличивает визуальный комфорт человека, способствует улучшению здоровья и повышению производительности.

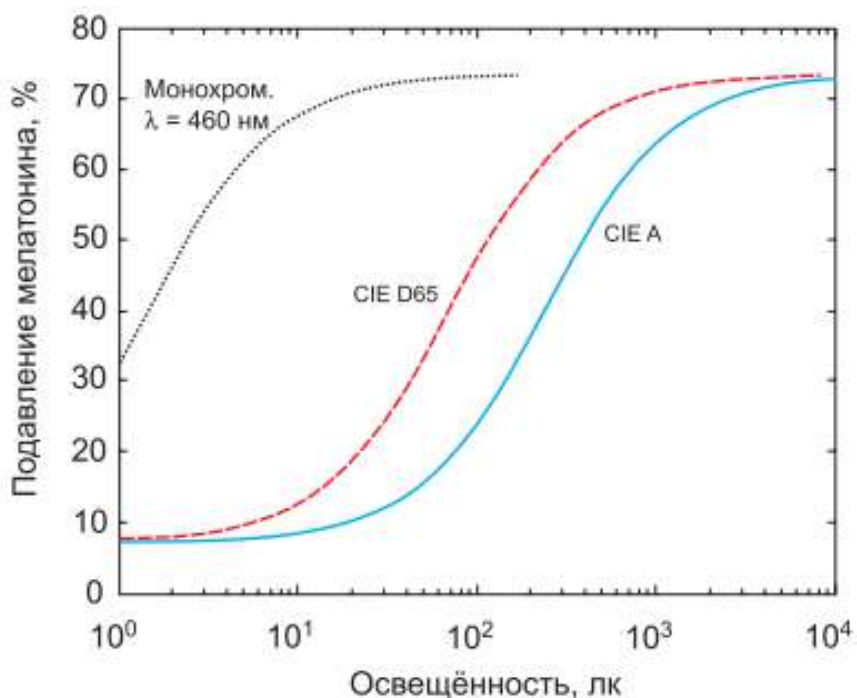


График зависимости подавления мелатонина в зависимости от освещённости

После введения биодинамического освещения, встаёт задача о его автоматизации для удобства человека. В качестве решения можно, помимо автоматического изменения цвета светильника в течение дня, создать возможность индивидуальной регулировки других параметров в любой момент. Это позволит добиться комфорта в зависимости от различных условий помещений и биологических особенностей конкретного человека в любой момент времени [3, 4].

## Литература

1. Кайочен К., Фрейбюрге М. Влияние светодиодов, имитирующих дневной свет, на визуальный комфорт, бодрствование и сон // Современная светотехника. 2019. № 3. С. 20–29.
2. Хоймер П. Здоровый свет: светодиодное освещение для сферы здравоохранения и ухода // Современная светотехника. 2019. № 5. С. 32–36.
3. Варфоломеев Л.П. Энергоэффективное электрическое освещение. М.: МЭИ, 2013. 288 с.
4. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберг. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Знак, 2006. 972 с.

## СПОСОБЫ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ

Братков А.Б, Еманов С.И,  
ИСТИД (филиал СКФУ), г. Пятигорск  
Науч. рук. Колесников Г.Ю.

Рассматриваются способы минимизации энергозатрат на предприятиях, что, в свою очередь, позволит снизить затраты денежных средств и повысить общую эффективность производств.

**Ключевые слова:** экономия, электроэнергия, электропривод.

Электроэнергетика это опережающая и основная область экономики страны, которая ответственна за создание необходимых обстоятельств работы жизненной и производительной мощи экономики. Надежность и эффективность функционирования электроэнергетики, бесперебойное обеспечение электричеством его потребителей составляет базис устойчивого развития экономики страны и способом оборудования благоприятных условий быта для людей.

Потребительский цикл энергии состоит из трех процессов – производства электроэнергии, его транспортировки, разделения между теми, кто его использует, и самого его использования. На каждом из этих этапов существуют потери энергии, что приводит к увеличению общих затрат. Энергокомпании и потребители всячески стараются минимизировать потери.

Достигается это различными способами.

Например, перекраска стен комнат в более светлые тона для усиления естественного освещения помещения, позволяет экономить около 2 % энергии.

До 3 % электроэнергии, затраченной на освещение можно сохранить, если содержать в чистоте окна, светильники и плафоны.

Смена ламп накаливания на светодиодные или энергосберегающие приборы сэкономит до 5 % электроэнергии. Лучше всего использовать светодиодные, поскольку они превосходят остальные лампы по всем параметрам (рис. 1).

Параметры	 Светодиодная лампа	 Энергосберегающая лампа	 Галогенная лампа	 Лампа накаливания
Мощность, Вт	5Вт ≈ 50Вт	11Вт ≈ 50Вт	35Вт = 50Вт	50Вт = 50Вт
Эффективность, Лм/Вт	120	65	20	10
Срок службы, ч	50 000 – 60 000	6 000 – 8 000	≈ 6 000	1 000 – 1 200
Кол-во ламп за 50 000 ч работы	1	≈ 6	≈ 8	50
Температура цвета, К	2 100 – 10 000	5 500 – 6 500	2 100 – 3 000	2 100 – 3 000
Мерцание (пульсации)	отсутствует	есть	минимальные	есть
Использование при низкой температуре окружающей среды	возможно	затруднительно	затруднительно	затруднительно
Эффект ВКЛ/ВЫКЛ:	Не имеет значения	Сокращает срок службы	Сокращает срок службы	Сокращает срок службы
Нагрев	Незначительный	Средний	Очень высокий	Очень высокий
Прочность лампы	Прочная	Очень хрупкая	Хрупкая	Очень хрупкая

Рис. 1. Сравнение светодиодной лампы с ее конкурентами

Автоматизация осветительных систем за счет датчиков движения, реле времени и прочих приспособлений позволяет сэкономить до 10 % энергии.

Компьютер потребляет до 500 Вт электроэнергии в день, а отключение экрана позволяет сберечь до 100 Вт. Отключение компьютера в случае его неиспользования сможет сэкономить около 5 % электроэнергии.

Аналогичного эффекта можно добиться, если исключить на производстве все неиспользуемые электронагревательные приборы.

Назначение квалифицированного специалиста, ответственного за энергохозяйство, который будет вести учет, контроль и организацию выполнения правил энергосбережения позволит сэкономить до 8 % электроэнергии.

Запрет на увеличение максимальной мощности без технологического присоединения экономит до 3 % энергии.

Замена электрооборудования на более новую и экономичную технику позволит сэкономить до 10 % КПД за счет более высокого КПД у нового оборудования.

Вести ежемесячный учет расхода электроэнергии, проводить анализ результатов и уменьшать эти расходы согласно договору энергосбережения.

Комплекс этих мер способен существенно снизить общие затраты на электроэнергию (около 53 %).

Примером может послужить один из крупнейших заводов Санкт-Петербурга, по отчетам которого известно, что ежемесячные затраты на электроэнергию составляют 4 000 000 руб. Получается, что без соблюдения мер энергосбережения завод ежемесячно терял более 2 миллионов рублей (см. таблицу).

Средства, сэкономленные при соблюдении мер энергосбережения

Способы экономии	Процент экономии, %	Сумма экономии, руб.
Покраска стен	2	80 000
Чистка окон	3	120 000
Замена ламп	5	200 000
Автоматическая система освещения	10	400 000
Экономное использование компьютерных мощностей	5	200 000
Исключение неиспользуемых приборов	5	200 000
Назначение ответственного лица	8	320 000
Контроль над мощностями	3	120 000
Апгрейд оборудования	10	400 000
Ежемесячный учет	2	80 000
Итого:	53	2 120 000

Основной способ уменьшить расход электроэнергии – использование современных энергосберегающих технологий.

В странах, делающих ставку на развитие промышленности, две трети всей выработки электроэнергии используется для поддержания работы осуществляемой электроприводами механической работы. В 60 % случаев энергия тратится на электроприводы, созданные на основе асинхронных двигателей. Их применяют из-за значительного запаса мощности, который в состоянии выжать из оборудования максимальную мощность. Но на практике часы максимальной нагрузки оборудования составляют лишь 15 % от всех часов работы. По итогу, мощные двигатели не работают на полную силу, однако энергию потребляют в полном объеме, что весьма невыгодно.

Эту проблему можно решить с помощью использования энерго-сберегающих электроприводов. В частности, весьма полезным будет оснащение двигателей частотными преобразователями, с помощью которых можно регулировать интенсивность вращения (рис. 2)



Рис. 2. Электрическая схема частотно-регулируемого привода

Замечено, что асинхронные двигатели ставятся на оборудование, которое изначально потребляет много энергии. Это относится к вентиляторам, насосам и трансформаторам. Применение регулируемого электропривода позволит не только существенно экономить энергию, но и снизить затраты, связанные с обслуживанием оборудования:

- размеры пусковых токов уменьшаются до номинальной отметки, и минимизирует неблагоприятное воздействие, которое имеют данные токи на питающую сеть;
- аннулируется вероятность гидроударов в гидравлических сетях, то есть динамические влияния на оборудование значительно снижаются;
- срок годности всех элементов вращения электродвигателя увеличивается за счет того, что оборудование основную часть времени работает на частоте ниже номинальной.

Исходя вышесказанного, можно сделать вывод, что стремление снизить эксплуатационные затраты вдобавок снижает риск аварии и увеличивает срок функционирования оборудования.

Вдобавок, если использовать этот регулируемый привод в его насосных установках, то можно экономить и воду с теплом. Применение преобразователей частоты в сфере ЖКХ позволяет сэкономить до 15 % воды, а тепла – до 10 %.

## Литература

1. Edtechrus [Electronic resource]. URL: <https://edtechrus.ru/featuresofmanagement> (date of the application: 14.02.2020).
2. Saymon.info [Electronic resource]. URL: <https://saymon.info/ekonomiya53/> (date of the application: 14.02.2020).
3. Equipnet [Electronic resource]. URL: [https://www.equipnet.ru/articles/hi-tech/hi-tech\\_1271.html](https://www.equipnet.ru/articles/hi-tech/hi-tech_1271.html) (date of the application: 14.02.2020).
4. Eprivod [Electronic resource]. URL: <http://eprivod.com/preimushhestva-i-nedostatki-energoberegayushhix-elektrovdigatelej> (date of the application: 14.02.2020).

УДК 621.31

### ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ АВТОДИММИРОВАНИЯ

Денисова А.Р.<sup>1</sup>, Абдуллина Г.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>abdullinaguzel081997@gmail.com

Рассматриваются вопросы оценки снижения расхода электроэнергии на освещение при установке светодиодных светильников с использованием системы автодиммирования. Регулирование светового потока светильников происходит в зависимости от увеличения или уменьшения естественного света.

**Ключевые слова:** светильники, автодиммирование, регулирование освещенности, естественный свет, светодиодное освещение, уровень освещенности.

Согласно постановлению Правительства РФ [1] с 1 января 2020 г. начался второй этап применения требований к осветительным устройствам и электрическим лампам. На данном этапе значительно повышаются требования к световой отдаче ламп ( $\eta_{\min}$ , лм/Вт – характеристика энергоэффективности) для общественных и производственных помещений. Светодиодные светильники позволяют перейти на новый уровень автоматизации и управления осветительными системами и выдерживать требования постановления [1] по всем параметрам.



Система автоматического регулирования светового потока ADL-System включает в себя ряд устройств, подключенных к светильнику с возможностью регулирования (светодиодный светильник) [3], которые автоматически поддерживают освещенность на рабочей поверхности на нормируемом уровне, уменьшая или повышая световой поток светильника (рис. 1). Система интегрируется в каждый светильник, не требуя обвязки слаботочным кабелем, и осуществляет регулирование светильников независимо друг от друга. Принцип работы системы базируется на функции автодиммирования [2].

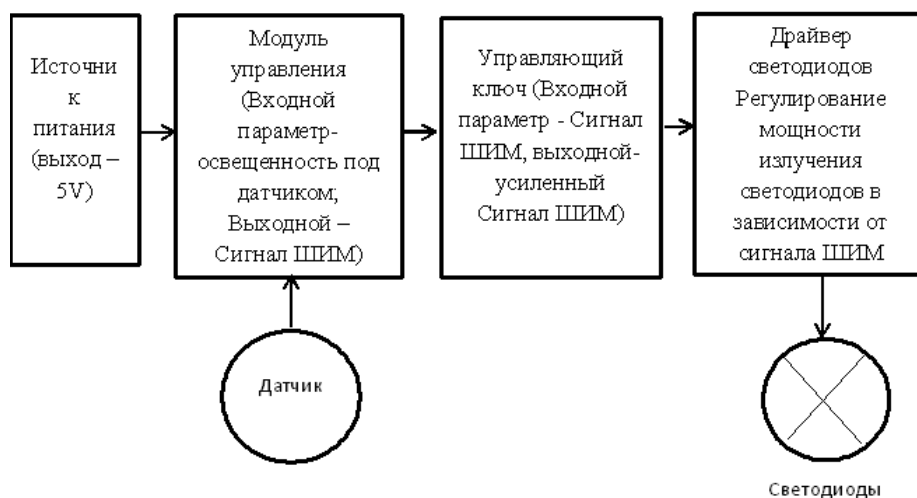


Рис. 1. Блок-схема устройства управления светильником

Основу нашей разработки составляет программа, функционирующая по определенному алгоритму и реализующая задуманный сценарий. Программа регулирует мощность светильника в зависимости от интенсивности естественного света, проникающего в помещение. Она уменьшает световой поток светильника на такую же относительную величину и освещенность под светильником остается в пределах нормы.

Для определения энергоэффективности данной системы в помещении, с комбинированным освещением, нами проводится эксперимент. В учебной аудитории площадью 35,4 м<sup>2</sup>, имеющей окно, были установлены 6 светодиодных светильников с индивидуальным автодиммированием мощностью 40 Вт каждый (рис. 2).

Рассмотрев светильники первого ряда (вдоль окна) получили следующие результаты. При отсутствии естественного освещения в помещении (ночь), мощность каждого светильника  $P_{ном1} = P_{ном2} = P_{ном3} = 40$  Вт (100 %). При естественном освещении, поступающем через окно

( $S_0 = 3,42 \text{ м}^2$ ), мощность первого светильника (ближе к окну) регулируется системой управления и снижается до  $P_{\text{рег1}} = 7 \text{ Вт}$ , т. е. он потребляет всего 17 % своей мощности. Мощность второго светильника при дневном свете составила  $P_{\text{рег2}} = 14 \text{ Вт}$ , т. е. потребляет 35 % своей мощности. Мощность третьего светильника (тот, что дальше всех от окна) осталась неизменна, и он работает 100 % своей мощности.

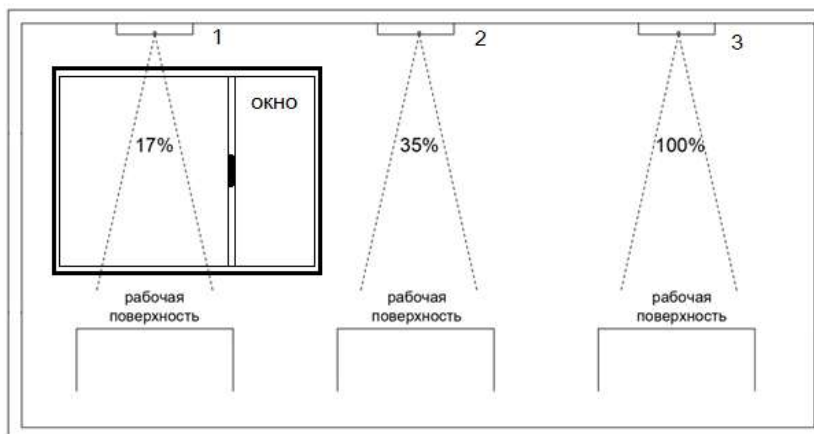


Рис. 2. Изменение уровня освещенности в зависимости от расположения рабочей поверхности относительно окна

Отсюда видно, что первый и второй светильники в дневное время потребляют в 3 и в 2 раза меньше электроэнергии соответственно. Это доказывает существенную эффективность таких систем.

Экономия электроэнергии за счет регулирования светового потока светильников составила 51 %, а срок окупаемости менее года. Система ADL-System может учитывать индивидуальные потребности пользователя. Например, помимо основной функции по поддержанию освещенности на рабочей поверхности, возможно добавление в программу функции изменения световой температуры, зависящей от времени суток. Эта функция добавит дополнительно ощущение комфорта, особенно для людей, находящихся в помещении с искусственным светом длительное время.

## Литература

1. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 10 ноября 2017 г. № 1356. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 11.01.2020).

2. Денисова А.Р., Роженцова Н.В. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 247 с.

3. Панов Д.Ю., Денисова А.Р., Сушков С.Л. Мероприятия по энергосбережению в административных учреждениях [Электронный ресурс] // Мир Науки. Актуальные научные исследования в современном мире: матер. Междунар. (заочной) науч.-практ. конф. София, 2016. С. 118–123. URL: [http://science-peace.ru/files/ANISM\\_2016.PDF](http://science-peace.ru/files/ANISM_2016.PDF) (дата обращения: 20.02.2020).

УДК 62-52

## ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА I-TOR НА ПОДСТАНЦИЯХ ТАТНЕФТИ

Денисова А.Р.<sup>1</sup>, Фархутдинов А.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>denisova\_ar@mail.ru, <sup>2</sup>afarhutdinov@mail.ru

Рассмотрены понятие АСКУЭ, возможности внедрения АСКУЭ, а также потенциальные возможности внедрения устройств i-TOR на предприятиях ПАО «Татнефть».

**Ключевые слова:** электроэнергия, учет, АСКУЭ, i-TOR, автоматизация, информация, обработка.

Автоматизированная система контроля и учета энергии (АСКУЭ) – это инструмент, который позволяет любому современному предприятию не только получать подробную информацию о потреблении энергии, но и достигать рационального потребления каждого носителя энергии-электричества, воды, пара и газа – и делать это с учетом всех индивидуальных характеристик производства.

Достоверность и оперативность учета электрической энергии становится все более актуальной задачей как для предприятий энергетики, так и для конечных потребителей. АСКУЭ является рациональным решением:

– способствует повышению точности учета электроэнергии  
снижению потребляемой мощности на предприятии в часы пиковых нагрузок электросистемы;

– позволяет производить расчет за электроэнергию по дифференцированным тарифам;

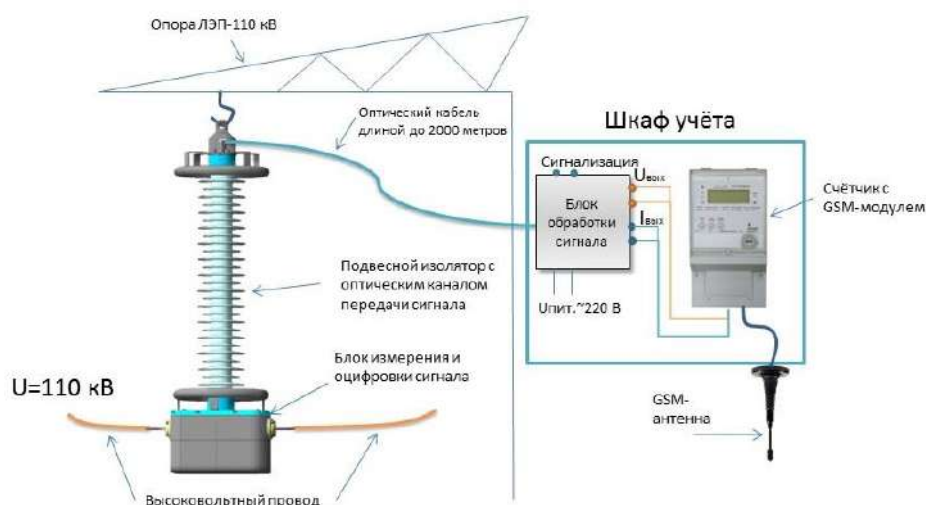
– осуществляет контроль за качеством электроэнергии.

В России сегодня ПАО «Татнефть» является одной из крупнейших компаний в регионе и крупнейшим потребителем электроэнергии с годовым потреблением электроэнергии около 4000 млн кВт·ч. Среди структурных подразделений, входящих в ПАО «Татнефть», девять нефтегазодобывающих офисов являются основными потребителями электроэнергии.

Характерной особенностью объектов нефтяной промышленности является большая территориальная разбросанность, сложность сбора информации и большое количество потребляемой электроэнергии. Затраты на электроэнергию составляют около 7 % от общих производственных затрат компании, поэтому снижение затрат на электроэнергию является приоритетом для компании.

В связи с этим возникает вопрос о переходе к современным и инновационным решениям для автоматизированного учета электроэнергии: электронным измерительным трансформаторам для автоматизированного учета и лучшей наблюдаемости в сетях.

При выборе технического решения для АСКУЭ стоит сосредоточиться в первую очередь на ее стоимости. Поскольку цена на зарубежные аналоги значительно высока, выбор ПАО «Татнефть» пал на отечественного производителя измерительных электронных трансформаторов i-TOR, который намного дешевле на отечественном рынке. Схема автоматизированного измерения электроэнергии устройства фирмы i-TOR изображена на рисунке.



Блок-схема системы измерения тока и напряжения в фазе линии электропередач 110 кВ

Конструкция устройств i-TOR основана на классических и хорошо изученных принципах преобразования шкалы тока и напряжения. В измерительном компоненте комбинированный электронный датчик тока и напряжения установлен с высоким потенциалом, преобразуя фактические значения тока и напряжения подключенной к нему линии высокого напряжения в цифровой сигнал. Цифровой сигнал передается по оптоволоконному каналу на блок обработки информации, который преобразует его в аналоговые сигналы тока и напряжения, пропорциональные первичным значениям. Эти сигналы могут в дальнейшем передаваться на любой серийный счетчик, которому разрешено работать в коммерческих системах учета электроэнергии. Это обеспечивает полную гальваническую развязку между высоковольтной сетью и измерительными приборами, значительно снижая затраты на изоляцию высокого напряжения.

Основным преимуществом введения измерительного комплекса i-TOR для ПАО «Татнефть» является снижение затрат на покрытие потерь электроэнергии. Одним из условий заключения договоров между поставщиком энергии и потребителем является то, что бухгалтерские устройства должны находиться на границе баланса. Однако, если это технически невозможно, используется дорогостоящее высоковольтное оборудование для оснащения узлов учета на границе баланса. Это, в свою очередь, дорогое решение. Реализация измерительного комплекса позволит решить проблему установки оборудования в недоступные приборы для измерения электроэнергии. При этом можно будет оплачивать потери электроэнергии не по расчетным данным, которые в настоящее время планируются и имеют завышенные значения, а непосредственно по реальным значениям. Потери электроэнергии будут регистрироваться измерительным прибором в определенных единицах измерения.

Таким образом, выбор ПАО «Татнефть» АСКУЭ на базе устройств i-TOR имеет огромный потенциал, который может снизить энергопотребление, путем снижения затрат на потери электроэнергии на 2 %.

## Литература

1. Денисова А.Р., Фархутдинов А.Р. Внедрение систем интеллектуального учета электроэнергии и повышение наблюдаемости в высоковольтных сетях ПАО «Татнефть» // В сборнике: Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: сб. тр. V Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и магистрантов. Тольятти, 2019. С. 53–57.

2. i-TOR [Электронный ресурс]. URL: <http://www.i-tor.ru/> (дата обращения: 27.02.2020).

3. Роженцова Н.В., Шигапов А.И. Автоматизация энергоучета как основа энергосбережения // Инновации в науке и практике: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2018. С. 172–176.

4. Иванова В.Р. Алгоритм управления искусственным освещением // Новая наука: техника и технологии: сб. ст. Стерлитамак, 2017. № 5 (1). С. 25–28.

УДК 620.179.13

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УСТАНОВОК ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ И ИНФРАКРАСНЫМ ТЕРМОМЕТРАМИ**

Загидуллин А.М.<sup>1</sup>, Тукшаитов Р.Х.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>zigidullin\_almaz@bk.ru, <sup>2</sup>trh\_08@mail.ru

Рассмотрены особенности методики измерения температуры установок энергетических систем с помощью контактных и ИК-термометров, а также их достоинства и недостатки. Показано, что погрешность измерения контактными электротермометрами составляет не более 1–2 °С, в то время как погрешность измерения ИК-термометрами при измерении температуры на уровне 100 °С одних материалов ее значение превышает на 40 %, а других, в зависимости от коэффициента излучения поверхности объекта, может быть, наоборот, занижается на 50–70 %.

**Ключевые слова:** температура, электротермометр, ИК-термометр, коэффициент излучения, погрешность измерения.

В процессе эксплуатации различного электротехнического оборудования, а также его испытания иногда по разным причинам происходит его перегрев [1–3]. Это может быть за счет появления неисправности в оборудовании, его преждевременной изношенности, перегрузки и другим причинам. Поэтому имеется необходимость периодического контроля теплового режима эксплуатации оборудования [4, 5].

В работе поставлена задача разработать методику проведения термометрических измерений и выявить значения погрешностей, допускаемых при применении термоэлектрических и инфракрасных термометров.

**Методика измерений.** В качестве основного объекта измерений использована поверхность электроплитки. Температура ее поверхности повышалась ступенчато от 25 до 170 °С с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР). Для снижения погрешности измерение температуры осуществлялось в одном и том же участке поверхности плиты вначале термоэлектрическим термометром (AZ8003), а затем сразу ИК-термометром (G300).

**Результаты измерений.** При проведении термоэлектрических измерений с помощью термоэлектрического термометра время, требуемое для получения действительного значения температуры элемента энергетических систем, составило 3–5 с при 30 °С, 15–20 с при 40 °С и 25–30 с при 50–70 °С. В тех термометрах, где в качестве термодатчика используется термистор, время измерения температуры обычно составляет даже нескольких минут. Следовательно, существенным недостатком контактных приборов является их инерционность, обусловленная тем, что датчик электротермометра в силу недостаточной теплопроводности его материала приобретает температуру объекта только через некоторое время. Другим недостатком используемого типа электротермометра является то, что после достижения максимального значения температуры нередко происходит скачкообразное его снижение на 1–2 °С с последующим повторным возрастанием и не всегда до первоначального показания. Это происходит по нескольким причинам: из-за сложности обеспечения одинакового контакта датчика с поверхностью объекта и наличия определенного недостатка в самой электронике при опрашивании температуры датчика. Поэтому суммарная погрешность прибора достигает 1–2 °С, несмотря на трехзначное выведение значения показателя на дисплей.

Иногда следует учитывать наличие разброса показаний при тестировании нескольких однотипных электротермометров, которые могут быть выше погрешности измерения того или иного типа прибора.

Наряду с контактными термометрами находят применение также бесконтактные инфракрасные промышленные и медицинские термометры (ИК-термометр), измеряющие температуру в диапазоне от 10 до 370 °С. Они, в отличие от электротермометров, позволяют оценить температуру объекта уже через 2–3 с, что позволяет их условно отнести к безынерционным.

При сравнении показаний электротермометра и ИК-термометра различие в получаемых значениях будет еще больше. Это обусловлено тем, что поверхности изучаемых объектов имеют разную излучательную, отражательную способность и шероховатость поверхности, которые характеризуется разным коэффициентом излучения. Погрешность измерения также зависит от абсолютного значения температуры объекта. Причем она, в процессе проведения термометрических исследований, как правило, возрастает по мере повышения измеряемой температуры. При работе с одним объектом погрешность измерения при температуре 100 °С составила +60 %, а при использовании некоторых других материалов показания наоборот занижены при той же температуре порядка на 70 °С.

Для наглядности в таблице представлена зависимость погрешности определения температуры окисленной поверхности электроплитки ИК-термометром от абсолютного ее значения.

Сравнительная оценка показаний температур двумя типами термометров

$T_{\text{электротер.}}$	23,3	25,6	29,1	43,3	52,2	68,5	92	106	130	156
$T_{\text{ИК-терм.}}$	25,5	28,6	33,2	50,2	66,4	92,2	125	148	181	220
$\Delta T$	2,2	3,0	4,1	6,9	14	24	33	40	51	64
$\delta_T, \%$	10	12	14	16	27	56	36	38	39	41

Как следует из таблицы, по мере повышения абсолютного значения температуры поверхности электроплитки погрешность ее определения ИК-термометром значительно возрастает и достигает порядка 40 % при температуре 100 °С. При определении температуры других материалов ИК-термометром погрешность может существенно отличаться, а при исследовании поверхности металла, покрытого лаком, показания ИК-термометра при исходной температуре 100 °С наоборот занижаются на 50–70 %. Следовательно, применение ИК-термометров возможно лишь после его предварительной калибровки во всем диапазоне измеряемых температур относительно поверенного электротермометра.

## Литература

1. Тукшаитов Р.Х. Методика оперативной оценки температуры поверхности нагретых тел на основе использования термочувствительности кожи человека // Учебный эксперимент в образовании. 2018. № 2 (86). С. 76–82.



2. Тукшаитов Р.Х., Айхайти И. Контроль температуры корпуса светодиодных ламп при работе в разных осветительных устройствах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 9-10. С. 145.

3. Борисов А.Н., Тукшаитов Р.Х., Кафиятов Н.Р. Малогабаритное устройство для теплового воздействия на ткани человека // Фундаментальные и прикладные проблемы физики полупроводников и источников света: тез. докл. V Всерос. конф. Саранск, 2007. С. 85.

4. Нигматуллин Р.М., Иштырякова Ю.С., Тукшаитов Р.Х. К характеристике параметров современных типов светодиодных ламп в условиях повышенных температур их эксплуатации в ЖКХ // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: матер. XII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием в рамках III Всерос. светотехн. форума с междунар. участием. Саранск, 2015. С. 284–287.

5. Айхайти И., Тукшаитов Р.Х. Усовершенствование методики контроля времени температурной стабилизации осветительных приборов // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 4, № 4. С. 142–145.

УДК 621.316.925.2

## АЛГОРИТМ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ

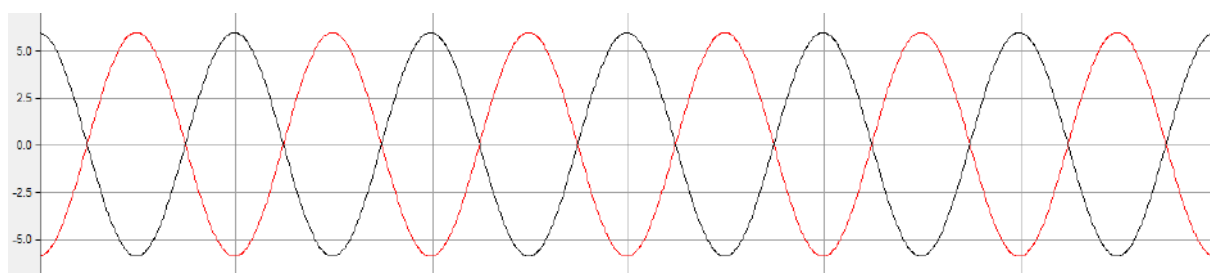
Новокрещенов В.В.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
vitnov@inbox.ru  
Науч. рук. Иванов И.Ю.

Предложен алгоритм для комплекта цифрового терминала релейной защиты, позволяющего защищать линию электропередачи с любой степенью продольной компенсации.

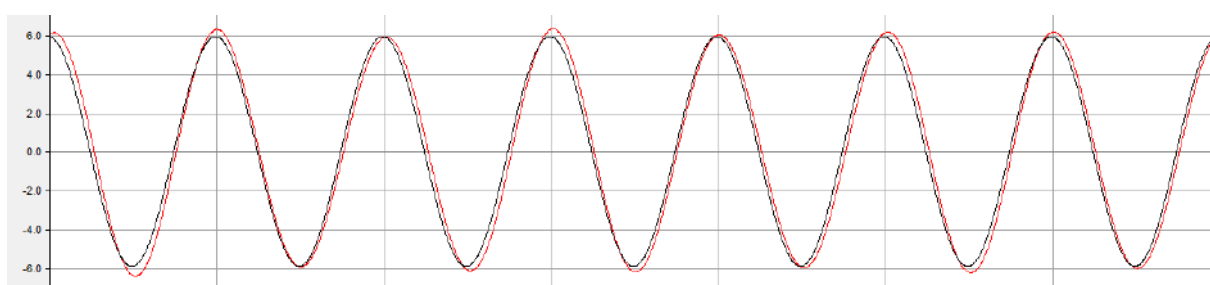
**Ключевые слова:** активно-адаптивная сеть, дифференциальная релейная защита, алгоритм, линия электропередачи, продольная компенсация.

В электроэнергетике существует несколько способов повышения пропускной способности линий электропередач. Одним из способов является установка последовательно линии конденсаторных батарей

для компенсации реактивного сопротивления ЛЭП. Данное техническое решение помимо достоинств обладает также и недостатками: при коэффициенте компенсации более 50 % реактивного сопротивления линии наблюдаются такие явления как: инверсия тока во время КЗ, инверсия напряжения во время КЗ, низкочастотные колебания после отключения короткого замыкания и т.д. Эти (и другие) явления приводят к невозможности защищать линию электропередачи, так как приводят к ложному срабатыванию или несрабатыванию релейной защиты при повреждениях на защищаемой линии. В частности, инверсия тока при КЗ на линии приводит к тому, что токи направлены не к месту короткого замыкания (рис. 1, *а*), а как бы мимо него (рис. 1, *б*), в результате дифференциальная и дифференциально-фазная защита воспринимает данное повреждение как внешнее и не срабатывает [1]. По этой причине в настоящее время степень компенсации реактивного сопротивления линии электропередачи не превышает 50 %. Для решения указанной проблемы был разработан алгоритм, позволяющий защищать линию электропередачи при любой степени продольной компенсации (рис. 2).



*а*



*б*

Рис. 1. Осциллограмма токов при трёхфазном коротком замыкании в середине линии с двухсторонним питанием без продольной (*а*) и с продольной (*б*) компенсацией (разными цветами показаны токи с разных концов линии)

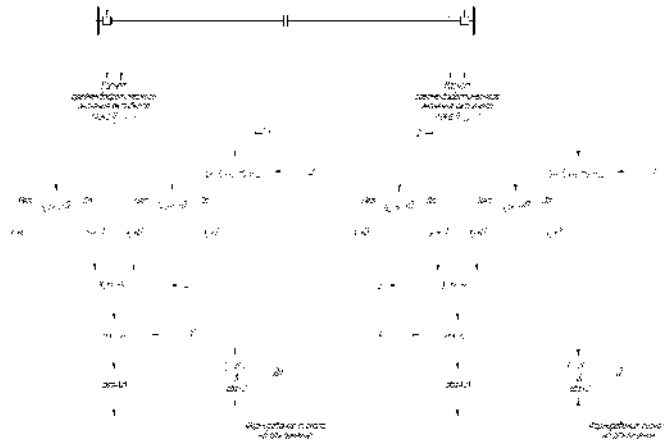
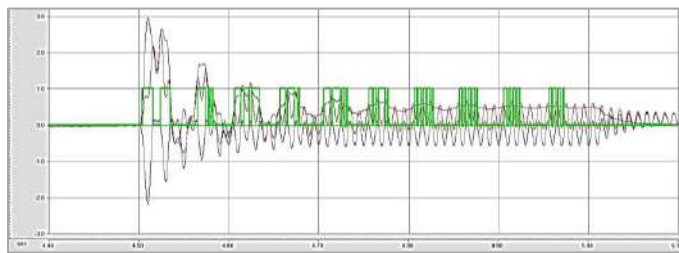
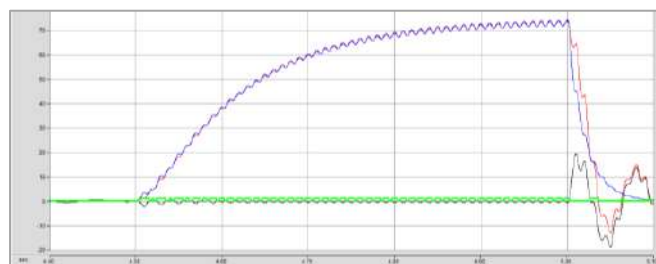


Рис. 2. Алгоритм защиты линии электропередачи при внутренних повреждениях

Для проверки адекватности алгоритма в программе PS CAD была смоделирована линия электропередачи подобная той, что изображена на рис. 2. Как показали исследования, описанный алгоритм показывает удовлетворительные результаты при любой степени продольной компенсации линии (рис. 3).



*a*



*б*

Рис. 3. Осциллограммы действующих значений активных токов при возникновении внутреннего короткого замыкания в середине линии непосредственно у компенсирующего устройства при 100 %-й (*a*) и 200 %-й (*б*) компенсации реактивного сопротивления (красным и чёрным цветом показаны токи с разных концов линии, синим – их дифференциальная сумма, зелёным – дискретный сигнал на отключение (логический ноль или единица))

Вышеописанный алгоритм, при его использовании на линиях с продольной компенсацией (в том числе на линиях с продольной компенсацией, относящихся к разряду «интеллектуальные и активно-адаптивные сети»), позволит задавать любую степень компенсации без ограничения по надёжности функционирования релейной защиты.

## Литература

1. Микропроцессорные устройства релейной защиты: учеб. пособие / И.Л. Кузьмин [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. 328 с.

УДК 621.31

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Рокина Е.Г.

ФГБОУ ВО «МарГУ», г. Йошкар-Ола

Науч. рук. Сидорова В.Т.

Приводятся результаты исследования компенсации реактивной составляющей мощности в распределительных сетях. Исследованы параметры сетей низкого напряжения, для которых компенсация реактивной составляющей мощности может быть экономически эффективной.

**Ключевые слова:** компенсация реактивной составляющей мощности, коэффициент мощности, устройства компенсации реактивной составляющей мощности.

Компенсация реактивной составляющей мощности в распределительных сетях в России считается неэффективной вследствие передачи небольшой мощности. Тем не менее, в европейских странах, например в Германии, широко применяется компенсация реактивной мощности в сетях низкого напряжения. Как было показано в работах [1–3], при подключении устройств компенсации между фазой и нейтралью, уменьшается ток нулевой последовательности. Это говорит о симметрирующем эффекте при такой компенсации не только по обратной, но и по нулевой последовательности. Таким образом, при пофазной компенсации могут быть уменьшены коэффициенты несимметрии

по обратной и нулевой последовательности на 6,4 и 6,1 %, соответственно [1]. Уменьшение коэффициентов несимметрии по напряжению приводит к незначительному уменьшению потерь электроэнергии. Но может быть учтено в качестве мероприятия по улучшению показателей качества электроэнергии согласно ГОСТ 32144-2013 [4].

Так же в работах [3] было показано, что при компенсации реактивной составляющей мощности потери напряжения могут быть уменьшены до 3 % от номинального значения.

Компенсация непосредственно у трансформаторной подстанции, по сути, компенсирует реактивную мощность только самого трансформатора. Как показали измерения в реальных сетях низкого напряжения, значения коэффициента мощности в линии могут быть  $\cos \varphi = 0,85$  и ниже. Поэтому было предложено определять места установки компенсирующих устройств с учетом значения коэффициента мощности в точках линии и экономической целесообразности [2]. Согласно Приказу Минпромэнерго РФ от 22 февраля 2007 г. № 49 значение коэффициента мощности для расчетов в сетях напряжением 0,4 кВ принимают равным  $\cos \varphi = 0,944$  [5].

Был разработан алгоритм определения мест установки компенсирующих устройств, написано программное обеспечение и получено свидетельство на программу для ЭВМ [6].

В данной работе проведены исследования параметров сети, для которых компенсация реактивной мощности будет эффективной. По результатам исследований параметров реальных сетей 0,4 кВ, были получены следующие результаты. Во-первых, в сетях, где наблюдалось уменьшение значений коэффициента мощности к концу фидера, отрицательные значения отклонения напряжения были в пределах нормы. Что можно объяснить значительным уменьшением активной составляющей мощности по сравнению с реактивной составляющей, которая уменьшалась в меньшей степени вследствие отличного от единицы коэффициента мощности нагрузок (значительно недогруженная линия). Во-вторых, в сетях, где наблюдались значительные отрицательные отклонения значений напряжения, коэффициент мощности имел значения близкие к  $\cos \varphi = 0,9 \div 0,95$ . Это объясняется высокими потерями напряжения вследствие значительной передаваемой мощности. Из полученных результатов был сделан вывод о существовании линий, где имеется средняя загрузка линии и имеются какие-либо потребители, имеющие низкий коэффициент мощности (около 0,85 и ниже). Предполагается,

что компенсация реактивной составляющей мощности для таких линий будет экономически эффективной. В последующих исследованиях планируется опередить предельные параметры таких линий.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта УМНИК. 2017, ответственный исполнитель – Елена Рокина.

## Литература

1. Сидорова В.Т., Рокина Е.Г., Рокина А.Г., исследование коэффициентов несимметрии при компенсации реактивной мощности в воздушных сетях 0,4 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 4 (55). С. 34–37.

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

3. Карчин В.В., Сидорова В.Т., Леухин А.Н. Улучшение показателей качества электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,4 кВ с помощью компенсации реактивной мощности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 1-2. С. 61–67.

4. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 12.02.2020).

5. О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения) [Электронный ресурс]: приказ Минпромэнерго РФ от 22 февраля 2007 г. № 49. Доступ из справ.-прав. системы «Консультант Плюс» (дата обращения: 12.01.2020).

6. Определение точек эффективной компенсации реактивной мощности в малых распределительных сетях 0,4 кВ: ПрЭВМ 2018664570 Рос. Федерация № 2018661002; заявл. 01.10.18; опубл. 19.11.18.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО СХЕМЕ СКОТТА В СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

Самигуллина Ю.Б.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
yulduz.sam11@mail.ru  
Науч. рук. Сидоров А.Е.

Рассмотрено применение комплектной трансформаторной подстанции КТПТО-80 в строительных организациях. Выявленные преимущества и основные сферы применения их при строительстве.

**Ключевые слова:** трансформатор, трансформаторная схема, строительная организация, электроподогрев, симметрия.

Комплектная трансформаторная подстанция КТПТО-80 наружной установки предназначена для электропрогрева бетона и мёрзлого грунта с автоматическим или ручным регулированием температуры, а также для питания временного освещения и ручного трехфазного электроинструмента на напряжение 42 В (в условиях строительных площадок).

Нормальная работа КТПТО-80 обеспечивается при температуре окружающего воздуха от  $-40$  до  $+10$  °С. Подстанция оснащается трансформатором ТМТО-80/0,38 Scott-T с естественным охлаждением. В КТПТО-80 имеются блокировки, обеспечивающие безопасность работ обслуживающего персонала [1].

Так как несимметричное потребление электроэнергии влечет за собой не только технические проблемы, но и экономические штрафные санкции со стороны питающей энергосистемы, это может сопровождаться надбавкой, достигающей 10 % от тарифа за электроэнергию для строительной организации, и оказывать существенное влияние на экономику отрасли, то для экономии при строительстве можно также использовать трансформатор Скотта.

Преимуществом применения схемы Скотта, который представляет собой оборудование, которое используется для получения двухфазного или однофазного напряжения с источника трехфазного, для питания контактной сети электроприводов рабочих механизмов и электрифицированного транспорта является то, что она позволяет применять стандартные преобразователи энергии с количеством фаз, кратным трем, для уменьшения токовой несимметрии в трехфазной сети при резко переменных нагрузках.

Трансформаторные схемы Скотта обладают следующими преимуществами:

- выравняется перекося фазного напряжения;
- симметрично загрузаются все три фазы питающей сети;
- поддерживается стабильность систем электроснабжения;
- улучшается качество электроэнергии, передаваемой потребителям;
- ток, проходящий через каждую вторичную обмотку трансформатора и через каждый вентиль, вдвое меньше, чем в схеме звезда-двойной зигзаг, так как в схеме с уравнивающим реактором параллельно работают два вентиля;
- повышенный коэффициент использования трансформатора по сравнению с другими схемами: неполная звезда, открытый треугольник и т.д.;
- для питания контактной сети электроприводов рабочих механизмов и электрифицированного транспорта позволяет применять стандартные преобразователи энергии с количеством фаз, кратным трем, для уменьшения токовой не симметрии в трехфазной сети при резко переменных нагрузках [2].

В России производятся трансформаторы масляного типа ТМ, ТМГ, ТМГП со схемами Скотта (Scott-T) и V/v-0 предназначены для использования в сетях 6–10 кВ, 35 кВ, в которых имеется дисбаланс нагрузки по фазам, и, как следствие, перекося фазного напряжения. В частности, при использовании активно-резистивных или активно-индуктивных потребителей (длинные линии электрического обогрева, электротранспорт) применение стандартных трехфазных трансформаторов вызывает существенные перегрузки по току в одной-двух фазах, при недогруженной третьей, что приводит к отключению или выходу трансформатора из строя.

Линейка мощностей трансформаторов ТМГП включает как стандартные номиналы, так и нестандартные согласно проектным данным, например: ТМГП-400кВА, ТМГП-335/10/0,561, ТМГП-630кВА 6/3,585кВ, ТМГП 1250/10/4,35кВ, ТМГП (ТМГ)-1000 35/2,4кВ и т.д.

Трансформаторы на 6 и 10 кВ стандартно изготавливаются в герметичном исполнении ТМГ – без расширительного бака. В некоторых случаях данное оборудование обязательно снабжается газовым реле Бухгольца.

Трансформаторы на 35 кВ предпочтительно использовать в исполнении ТМ – с расширительным баком.



Трансформаторы ТМГ, ТМГП со схемой Скотта (Scott-T) применяются для питания систем электрообогрева (скин-эффект и др.) различного рода трубопроводов, в том числе нефтяных, водяных, где требуется согласовать трехфазную питающую сеть с однофазной или двухфазной нагрузкой – греющей линией.

Данные трансформаторы, в отличие от стандартных трехфазных ТМГ и ТСЛ, позволяют избавиться от перекоса фазного напряжения, возникающего при такого рода нагрузке. Также трансформаторы Скотта и  $V/v-0$  ( $V/I$ ) применяются в металлургии, химической промышленности, на железных дорогах.

Также в России производятся сухие трансформаторы по схеме Скотта мощностью до 3200 кВА класса напряжения до 10 кВ следующих типов: сухие ТЛСП Scott-T и ТЛСЗП Scott-T.

Трансформаторы по схеме Скотта могут применяться в строительных организациях:

- для прогрева мёрзлого грунта при строительстве (на основе скин-эффекта);
- обогрева протяженных трубопроводов (индукционно-резистивный обогрев);
- для питания контактной сети двухфазных электроприводов рабочих механизмов и электрифицированного транспорта;
- при электроснабжении объектов для получения сбалансированной трехфазной нагрузки [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что трансформатор Скотта целесообразно использовать для решения технических и экономических проблем, возникающих со стороны питающих энергосистем.

## Литература

1. Применение трансформаторов Скотта на подстанциях / Г.Н. Ворфоломеев [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2008. № 6. С. 273–276.

2. Трансформаторы тяговых подстанций с повышенным симметрирующим эффектом / Р.Р. Мамошин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1989. № 4. С. 22–25.

3. Бородулин Б.М. Симметрирование токов и напряжений на действующих тяговых подстанциях переменного тока // Вестн. ВНИИЖТ. 2003. № 2.

## ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ АЭРОПОРТА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ

Сидоров А.Е.<sup>1</sup>, Саттаров М.Ш.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>asidorini@rambler.ru, <sup>2</sup>sattarovmaratka@yandex.ru

Рассматривается возможность подхода к созданию оптимальной структуры системы освещения аэропорта с целью ее оптимизации по критерию надежности и бесперебойности питания.

**Ключевые слова:** система освещения, оптимизация, надежность, бесперебойность.

Проектирование систем электроосвещения аэропорта, как, впрочем, и сложных технических систем другого вида, имеет две достаточно ярко выраженные стадии: внешнее проектирование и внутреннее проектирование [1, 2]. Основной задачей внешнего проектирования является выбор оптимальной для заданных условий общей структуры системы, т. е. совокупности основных элементов (объектов, агрегатов, устройств) этой системы, оптимальных численных значения параметров элементов, характера функциональных, динамических и конструктивных связей, обеспечивающих решение поставленной функциональной задачи наиболее рациональным (в смысле принятого критерия предпочтения) способом. Задачей внутреннего проектирования является оптимизация внутренней структуры элементов принятого варианта построения системы, выбор конкретных технических решений относительно конструктивного исполнения этих элементов, а также оптимизация процесса функционирования этой системы [2].

Характерной особенностью стадии внешнего проектирования является наличие существенных неопределенностей как при выборе альтернативных вариантов построения системы, так и при количественной оценке показателей качества этих вариантов. Это создает трудности информационного характера для применения методов оптимизации на стадии внешнего проектирования. Одновременно имеют место трудности математического характера, так как выбор общей структуры

проектируемой системы формальными методами не может быть сведен к поиску оптимального сочетания численных значений показателей качества и параметров элементов системы. Это объясняется тем, что при поиске оптимальной структуры проектируемой системы варьируются не только показатели и параметры элементов системы, но и состав этих элементов, вид и принципы построения используемых технических средств, характер функциональных, динамических и конструктивных связей [1–3].

На стадии внутреннего проектирования эти трудности, как правило, отсутствуют, поскольку имеющиеся неопределенности должны быть разрешены на стадии внешнего проектирования. Типичной кибернетической задачей математического синтеза для стадии внутреннего проектирования является, например, направленный поиск структуры регулирующих устройств для проектируемой автоматизированной системы, когда состав, типаж и численные значения параметров самих объектов управления предварительно выбраны или заданы [4, 5].

Вследствие трудностей информационного и математического характера распространение на стадию внешнего проектирования математических методов, разработанных для внутреннего проектирования, себя не оправдывает. Построение для каждого возможного варианта структуры проектируемой сложной технической системы, развёрнутой оценочной модели, используемой при внутреннем проектировании и отображающей процесс функционирования системы рассматриваемой фиксированной структуры, приводит к существенному усложнению оптимизационной задачи синтеза. В то же время применение на начальных этапах проектирования системы оценочных математических моделей ее структуры не дает желаемых результатов вследствие недостаточной полноты и достоверности исходной информации по количественным показателям качества сопоставляемых вариантов.

Поэтому на практике выбор структуры системы на стадии внешнего проектирования осуществляется, как правило, на основании сопоставительного анализа крайне ограниченного числа эвристически установленных вариантов ее построения. Это позволяет установить в результате выполнения значительного объема работ по математическому и физическому моделированию лучший из сопоставляемых вариантов, который, однако, может быть далеко не оптимальным, если исходить из многообразия вариантов построения проектируемой системы [6].

Следовательно, с практической и теоретической точки зрения одной из основных современных проблем в области оптимизации сложных систем является разработка формализованных методов позволяющих при приемлемом объеме вычислительной работы выбирать на этапе внешнего проектирования оптимальный вариант системы в результате логико-математического синтеза ее структуры. Под синтезом структуры в данном случае понимается логико-математический метод структурных исследований, обеспечивающий направленный выбор из допустимых комбинаций элементов проектируемой системы такой их совокупности и такого характера функциональных, динамических и конструктивных связей, которые соответствовали бы условиям формирования структуры системы с заданными характеристиками, являющейся наилучшей в смысле принятого критерия предпочтения.

### Литература

1. Морозовский В.Т., Синдеев И.М., Рунков К.Д. Системы, электро-снабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение. 1973. 420 с.
2. Веретенников Л.П. Исследование процессов в судовых электро-энергетических системах. Теория и методы. Л.: Судостроение. 1973. 375 с.
3. Воронов Ю.Н., Сидоров А.Е., Васильев А.Н. Обобщенная структура проектируемой системы электроснабжения самоходного артилле-рийского орудия // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 1-2. С. 132–135.
4. Ступаченко А.А. САПР технологических операций. Л.: Машино-строение: Ленингр. отд-ние, 1988. 233 с.
5. Идрисова А.Р., Роженцова Н.В., Мухаметзянова Ф.М. Мероп-риятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: сб. тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. Тольятти, 2016. С. 97–100.
6. Булатов О.А., Фетисов Л.В. Повышение энергоэффективности распределения электрической энергии в сетях низкого напряжения с применением вольтодобавочных трансформаторов // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Кишинев, 2017. С. 13–17.

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Тихонин С.Н.<sup>1</sup>, Зенина О.А.<sup>2</sup>, Шевченко Н.Ю.<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КТИ» (филиал) ВолгГТУ, г. Камышин  
<sup>1</sup>stihonin@yandex.ru  
Науч. рук. Шевченко Н.Ю.

Высокий уровень потерь в электрических сетях является одной из основных причин снижения их энергоэффективности. На распределительные трансформаторы приходится 25–30 % всех технических потерь в энергосистемах. Поэтому особенно актуальным становится вопрос снижения потерь электроэнергии в распределительных трансформаторах.

**Ключевые слова:** трансформатор, энергоэффективность, потери, аморфная сталь.

Применяемые материалы и технологии в производстве оказывают основное влияние на энергетические параметры трансформатора в целом.

Помимо типа стали, важнейшим фактором является технология сборки магнитопровода. Наибольшее распространение получила технология шихтовки «step-lap», которая имеет ряд преимуществ: уменьшение потерь холостого хода на 20 %, экономия времени при сборке, уменьшение габаритов изделия с сохранением существующих потерь, коэффициент увеличения потерь магнитопровода: 1,15–1,2.

Аморфные сплавы Metglas® 2605SA1 и 2605NB1M способны существенно снизить потери силовых трансформаторов благодаря превосходным магнитомягким характеристикам (аморфной структуре и малой толщине).

Рассмотрим конкретные конструкции трансформаторов с использованием данных технологий.

Минский электротехнический завод им. Козлова освоил выпуск энергосберегающих трансформаторов герметичного исполнения. Данные трансформаторы имеют низкий уровень потерь холостого хода и короткого замыкания и сниженный уровень скорректированной звуковой мощности [1].

Обмотка низшего напряжения трансформаторов ТМГ33 выполнена из алюминиевой фольги. Уровень потерь холостого хода и короткого замыкания трансформаторов данной серии соответствует классу энергоэффективности X2K2.

В табл. 1 представлены технические характеристики и потери мощности при коэффициенте загрузки  $K_3 = 0,7$  трансформаторов ТМГ33 в сравнении с трансформаторами ТМГ и ТМ серийного исполнения.

Таблица 1

Энергосберегающие трансформаторы ТМГ33 в сравнении с трансформаторами серийного исполнения

Серия	Мощность, кВА	$U_{\text{ном ВН}}$ , кВ	$U_{\text{ном НН}}$ , кВ	$P_{\text{кз}}$ , кВт	$P_{\text{хх}}$ , кВт	$K_3$	$\Delta P_{\text{тр}}$ , кВт
ТМ	1000	10	0,4	10,2	1,55	0,7	6,548
ТМГ11	1000	10	0,4	10,8	1,4	0,7	6,692
ТМГ12	1000	10	0,4	10,5	1,1	0,7	6,245
ТМГ21	1000	10	0,4	11,6	1,3	0,7	6,984
ТМГ32	1000	10	0,4	10,5	1,1	0,7	6,245
ТМГ33	1000	10	0,4	9,545	0,957	0,7	4,398

Общие потери у трансформаторов ТМГ33 ниже на 14 %.

Другим важнейшим достижением трансформаторостроения являются сухие трансформаторы с литой изоляцией, с геафолевой литой изоляцией и сухие трансформаторы с воздушно барьерной изоляцией.

Преимущества трансформаторов с литой изоляцией: экологическая безопасность; пожаробезопасность; низкий уровень шума; высокая устойчивость к токам короткого замыкания; возможность работы в сетях, подверженных грозovým и коммутационным перенапряжениям; высокая стойкость к механическим усилиям, возникающим в режиме короткого замыкания.

В табл. 2 даны технические характеристики сухих трансформаторов с электротехническим сердечником с литой изоляцией (ТЛС, ТЛС3, ТСГ5Л, ТСДГЛ), с воздушно барьерной изоляцией (ТС ТС3) и с сердечником из аморфной стали ТСЛА (ТСЗЛА) [2].

Таблица 2

Трансформаторы сухие с аморфным сердечником в сравнении с трансформаторами с электротехническим сердечником

Серия	Материал сердечника	Мощность, кВА	$U_{\text{ном ВН}}$ , кВ	$U_{\text{ном НН}}$ , кВ	$P_{\text{кз}}$ , кВт	$P_{\text{хх}}$ , кВт	$K_3$	$\Delta P_{\text{тр}}$ , кВт
ТС (ТС3)	Электротехническая сталь	1000	10	0,4	11,0	1,8	0,7	7,19
ТЛС (ТЛС3)	Электротехническая сталь	1000	10	0,4	9,3	2,0	0,7	6,557
ТСГЛ (ТСДГЛ)	Электротехническая сталь	1000	10	0,4	8,4	2,15	0,7	6,266
ТСЛА, (ТСЗЛА)	Аморфная сталь	1000	10	0,4	8,6	0,43	0,7	4,644

Потери холостого хода у трансформатора ТСЛА ниже на 76 %. Потери мощности у трансформатора ТСЛА ниже на 35 % [3].

Выводы: традиционные технологии, включая шихтовку магнитопровода методом *step-lap*, не позволяют достичь такого уровня энергоэффективности, какой обеспечивает применение аморфной стали. Этот материал дает возможность снизить потери холостого хода на 75–80 %.

### Литература

1. Силовые масляные трансформаторы МЭТЗ им. Козлова. Каталог [Электронный ресурс]. URL: <https://metz.by> (дата обращения: 30.01.2020).
2. Сухие трансформаторы. Каталог продукции ЭНСОНС [Электронный ресурс]. URL: <https://ensons.ru/images> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Михайлин С.О., Шевченко Н.Ю. Анализ энергоэффективности распределительных трансформаторов // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: сб. тр. V Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. Тольятти, 2019. С. 207–211.

УДК 621

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КОГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Фаттахов И.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[iln.fattahov@yandex.ru](mailto:iln.fattahov@yandex.ru)

Науч. рук. Рудаков А.И.

Рассмотрены понятие «когенерация», когенеративные установки, их основные достоинства и недостатки. Обоснована целесообразность их применения в энергетике.

**Ключевые слова:** когенерация, теплоэнергетика, электроэнергетика, системы, станции, эффективность.

Когенерация определяется как последовательная генерация двух разных форм полезной энергии из одного первичного источника энергии, обычно механической и тепловой энергии [1]. Механическая энергия может использоваться либо для привода генератора переменного тока

для производства электроэнергии, либо для вращающегося оборудования, такого как двигатель, компрессор, насос или вентилятор, для оказания различных услуг [2]. Тепловая энергия может использоваться как для непосредственного технологического применения, так и для косвенного производства пара, горячей воды, горячего воздуха для сушки или охлажденной воды для технологического охлаждения [2].

Когенерация предоставляет широкий спектр технологий для применения в различных областях хозяйственной деятельности. Общий КПД использования энергии в режиме когенерации может достигать 85 % и выше в некоторых случаях [1].

Наряду с экономией ископаемого топлива, когенерация также позволяет снизить выбросы парниковых газов (в частности, выбросы CO<sub>2</sub>). При производстве электроэнергии на месте снижается нагрузка на инженерные сети и устраняются потери на линиях электропередачи [2].

На макроуровне это позволяет частному сектору разделить часть финансового бремени национальной энергетики; кроме того, сохраняются местные источники энергии [2]. На микроуровне общий счет за электроэнергию потребителей может быть снижен, особенно при одновременной потребности в электроэнергии и тепле на объекте, а в стране практикуется рациональный тариф на электроэнергию [2].

Выхлопные газы когенерационного двигателя имеют высокую температуру, колеблющуюся от 400 до 500 °С. Эти газы разбавляются предварительно нагретым воздухом (при 60–70 °С) из контура водяного охлаждения, используемого для системы внутреннего охлаждения двигателя, который достигает температуры около 95 °С [3].

В результате образуется газовый поток, который обычно имеет температуру 200–300 °С. Эти газы пригодны для использования в качестве осушающих газов, хотя их включение в сушилки должно быть тщательно изучено в каждом конкретном случае, чтобы как можно меньше влиять на запрограммированный цикл сушки.

С целью регулирования работы сушилки также оснащены газовыми горелками. На рис. 1 [2] схематично показано, как работает когенерационный двигатель.

Поскольку сегодня во многих отраслях промышленности существует устойчивая потребность в тепловой энергии, но переменную электрическую потребность с пиками и минимумами, технологии, сочетающие когенерацию с аккумулярованием тепловой энергии, позволяют лучше сбалансировать электрическую и тепловую нагрузки путем «развязки» этих двух систем, когда это необходимо.



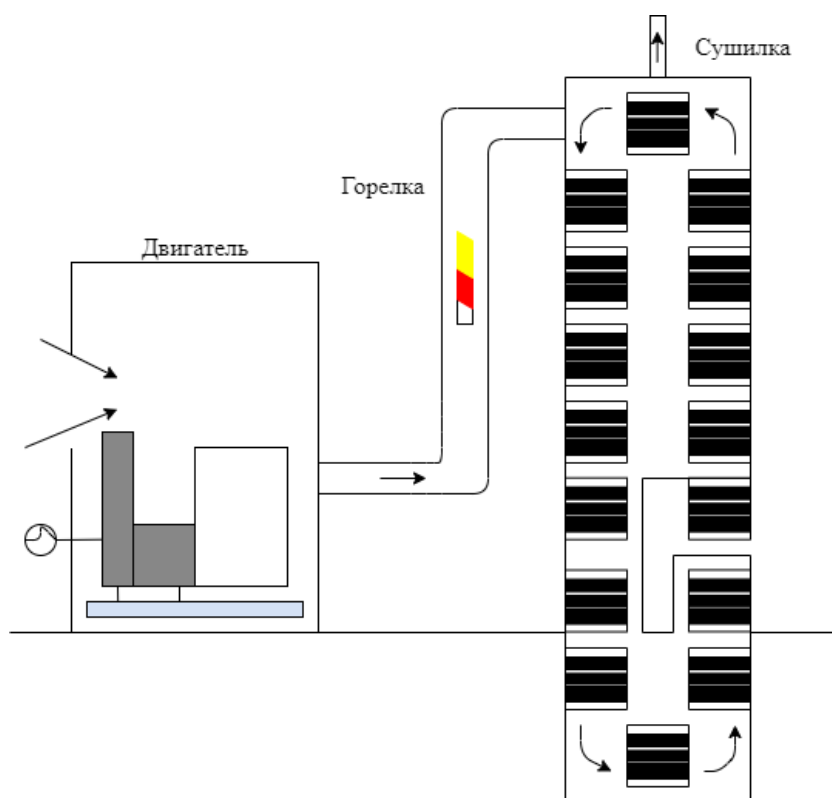


Рис. 1. Схематичное изображение газового двигателя

Как правило, когенерационные системы, реализуемые на более крупных установках, являются более дорогими и требуют более сложного оборудования. Тем не менее, они доказали свою экономическую эффективность [3] во многих областях применения, в том числе в целлюлозно-бумажной, химической, сталелитейной, нефтеперерабатывающей и пищевой промышленности, все из которых имеют значительные потребности в электрической и тепловой энергии.

Благоприятные экологические последствия когенерации обусловлены не только присущей ей эффективностью, но и ее децентрализованным характером. Поскольку транспортировка тепла на большие расстояния нецелесообразна, когенерационное оборудование должно быть физически расположено в непосредственной близости от места его использования [1]. Из этого вытекает ряд экологических положительных последствий: энергия, как правило, вырабатывается в непосредственной близости от потребителя электроэнергии, что значительно снижает потери при передаче и потребность в распределительном оборудовании. Когенерационные станции, как правило, меньше по размеру, чем обычные электростанции, и принадлежат и эксплуатируются более мелкими и локализованными компаниями-потребителями. Когенерация лежит в основе систем централизованного теплоснабжения и охлаждения.

## Литература

1. Кожиченков В.С. Новые тенденции в тригенерационных технологиях // Главный энергетик. 2017. № 8. С. 51–58.
2. Кропачев А.М. Малая когенерация – большие возможности // Энергосбережение. 2017. № 8. С. 48–51.
3. Егорова Д.А. Экономический эффект когенерации в рамках энергоснабжения // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2017. Т. 7, № 8. С. 34–41.

УДК 621.3.084.872

### АКТУАЛЬНОСТЬ LI-ИОН БАТАРЕЙ В СИСТЕМАХ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Фетисов Л.В.<sup>1</sup>, Маврин Д.Г.<sup>2</sup>, Трофименко С.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>leonidfetisov@mail.ru, <sup>2</sup>xxx2013.x@yandex.ru, <sup>3</sup>sergeyanatolevich@mail.ru

Науч. рук. Фетисов Л.В.

Описаны необходимые точки роста технологии li-ion аккумуляторных батарей в современных реалиях повсеместной оптимизации (оптимизации площадок инсталляции батарей, бюджетов, обслуживающего персонала). Среди точек роста будет правильно выделить правильно подобранную химию батарей, постепенное снижение совокупной стоимостью владения TCO (англ. Total Cost of Ownership, TCO), влияние температуры на срок службы батарей, и, для наглядности, попробуем сравнить li-ion с свинцово-кислотными VRLA (Valve Regulated Lead Acid) аккумуляторами

**Ключевые слова:** Li-ion, бесперебойное питание, оптимизация, батарейный массив, совокупная стоимость владения.

Li-ion аккумуляторы представлены на рынке уже более 20 лет и используются в различных системах, требующих какое-либо время автономии [3]. Но как факт принимаем то, что совместно с источниками бесперебойного питания (ИБП) литиевые батарейки до последнего времени использовались не так часто. Это связано с рядом факторов, среди которых: невозможность подобрать необходимое соотношение цены/качества,

плотности энергии/безопасности и надежности для производителей ИБП. Однако достижения в области литий-ионной химии и технологий в аккумуляторостроении за последние 10 лет позволили производителям ИБП взглянуть в сторону литий-ионных батарейных массивов. Эти достижения в значительной степени были обусловлены требованиями, установленными в отрасли электромобилей, что стимулировало производителей батарей создавать li-ion батарейки с эффективностью заряда/разряда от 80 до 90 % и впечатляющей удельной энергией 200 Втч/кг.

У литий-ионных аккумуляторов есть несколько ярко выраженных преимуществ по сравнению со свинцовыми:

- размер li-ion батареи в два-три раза меньше, чем у кислотно-свинцовых;
- до десяти раз больше циклов разряда-заряда;
- меньший ток саморазряда (до трех раз);
- заряжается в четыре раза быстрее свинцовых.

Но не обошлось и без минусов:

- в полтора-два раза больше капитальные затраты;
- строгие правила транспортировки.

Если говорить о химических процессах в рассматриваемых типах батарей, то по сравнению со свинцово-кислотной химией литий-ионная химия обеспечивает более высокую энергию и мощность на единицу веса, обычно называемую плотностью энергии (Вт/кг) и плотностью мощности (Вт/кг) [2]. Факт того, что литий-ионная химия может обеспечить большой ток в течение короткого промежутка времени, при сохранении безопасной температуры внутри ячейки, заставляет производителей ИБП постепенно переходить на литий.

Особое значение имеет срок службы. Это расчетное время, в течение которого батарея будет работать, прежде чем она достигнет 80 % своей энергетической емкости [1]. Срок службы предполагает, что батарея работает в условиях далеких от тех, что заявлены для применения заводом изготовителем, поэтому он очень изменчив. Напротив, календарный срок службы – это расчетное время, в течение которого батарея будет оставаться заряженной в течение всего срока службы без перебоев в подаче электроэнергии при определенной температуре, обычно 25 °C (77 °F). Срок службы свинцово-кислотных аккумуляторов составляет 3–6 лет, в то время как литий-ионные аккумуляторы могут иметь срок службы до 10 лет. Стоит

обратить внимание, что пройдет несколько лет, прежде чем данные о фактическом сроке службы станут доступны для новых литий-ионных батарей, однако, некоторые производители литий-ионных батареи предлагают гарантии в диапазоне 10 лет в качестве «компенсации» отсутствия данных об обслуживании.

Помимо вышеупомянутых преимуществ, не стоит забывать, что благодаря более высокой плотности энергии литий-ионных аккумуляторов, они намного меньше по площади/объему, а также имеют куда меньший вес по сравнению с VRLA. Эта экономия пространства/веса актуальна для любого конечного пользователя систем бесперебойного питания [4].

### Литература

1. Avelar V., Martin Zacho M. Battery Technology for Data Centers: VRLA vs. Li-ion [Electronic resource]. URL: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=SPD\\_VAVR-A5AJXY\\_EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-A5AJXY_EN) (date of application: 13.02.2020).

2. Patrick Donovan, Martin Zacho, FAQs for Using Lithium-ion Batteries with a UPS [Electronic resource]. URL: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_Doc\\_Ref=SPD\\_VAVR-A5VTU5\\_EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=SPD_VAVR-A5VTU5_EN) (date of application: 13.02.2020).

3. Уэн С. Выравнивание заряда батарей обеспечивает долгое время работы и продлевает срок службы. Техас Инструментс, 2010. 14 с.

4. Фетисов Л.В., Шрыков И.В. Использование альтернативных источников энергии для энергообеспечения жилых и производственных помещений // Инновации в науке и практике: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул, 2018. С. 75–79.

## Секция 7. СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 621-316.925

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Алексеева С.Ф.<sup>1</sup>, Сиразутдинов Ф.Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань

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

<sup>1</sup>alekseevasonfar@mail.ru

Науч. рук. Исаков Р.Г.

Предложена модель трансформатора тока, учитывающая наличие гистерезиса в его характеристике намагничивания. Магнитная система моделируемого трансформатора тока задана в соответствии с ферромагнитной теорией Джилса-Атертона.

**Ключевые слова:** трансформатор тока, насыщение трансформатора тока.

Магнитопроводы защитных трансформаторов тока (ТТ) выполняются из ферромагнитного материала – электротехнической стали. Измерительные ТТ данного типа могут быть подвержены насыщению, что вносит нелинейные искажения в форму кривой вторичного тока.

Для анализа работы устройств релейной защиты (РЗ) в переходных режимах короткого замыкания в первую очередь необходимо разработать модель измерительных ТТ.

В общем случае, для моделирования вторичного тока в переходных режимах КЗ могут быть использованы следующие модели кривой намагничивания ТТ: кусочно-линейная аппроксимация; аналитическая нелинейная функция; гистерезисная кривая (модель Джилса-Атертона, модель Джона Чена).

В стандартных библиотеках программ моделирования и симулирования энергетических систем модели измерительных ТТ учитывают кривую насыщения трансформатора тока, благодаря чему можно отследить искажение формы вторичного тока ТТ при насыщении сердечника. Однако

подобные модели недостаточно корректно отображают работу трансформатора тока в переходных режимах короткого замыкания, так как не учитывают возможное наличие остаточной намагниченности в магнитопроводе ТТ.

Наиболее полный учёт физических свойств ферромагнетика осуществляет модель кривой намагничивания Джилса-Атертона (Jiles-Atherton method – далее  $J-A$ ), основанной на уравнении энергетического баланса. Математическая модель гистерезиса в модели  $J-A$  позволяет учитывать остаточную намагниченность в сердечнике ТТ. Моделирование магнитного гистерезиса разделяется на два этапа. На первом этапе рассматривается безгистерезисная намагниченность  $M_{an}$ . Затем, на втором этапе, гистерезис описывается дифференциальным уравнением с учетом знака изменения напряженности магнитного поля  $H$ . Под безгистерезисной намагниченностью понимают значение намагниченности  $M_{an}$  в материале после процесса размагничивания ниже постоянного значения напряженности магнитного поля  $H$ . Зависимость намагниченности от приложенного постоянного поля носит название кривой бизгистерезисного или идеального намагничивания.

Гистерезис зависимости намагниченности  $M$  и магнитной индукции  $B$  ферромагнитного материала при изменении напряженности внешнего магнитного поля  $H$  в модели  $J-A$  описывается дифференциальными уравнениями, описывающими необратимый (1.1) и обратимый (1.2) процесс намагничивания:

$$\frac{dM_{irr}}{dH} = \frac{(M_{an} - M_{irr})}{\delta k / \mu_0 - \alpha (M_{an} - M_{irr})}; \quad (1.1)$$

$$\frac{dM_{rev}}{dH} = c \cdot \left( \frac{dM_{an}}{dH} - \frac{dM}{dH} \right). \quad (1.2)$$

С учётом того, что общая намагниченность представляет собой сумму необратимой и обратимой намагниченности, получим:

$$\frac{dM}{dH} = \frac{\delta_m}{(1+c)} \frac{(M_{an} - M_{irr})}{\delta k / \mu_0 - \alpha (M_{an} - M_{irr})} + \frac{c}{(1+c)} \frac{dM_{an}}{dH}. \quad (1.3)$$

Расчет петли магнитного гистерезиса требует начальных условий. Эти условия определены состоянием ненамагниченного материала:  $M_{irr} = 0$  и  $H = 0$ .

Алгоритм вычисления общей намагниченности в модели Джилса-Атертона представлен на рис. 1. Существенный недостаток данной модели состоит в обязательном задании параметров магнитной системы трансформаторов тока, которые не являются паспортными данными.

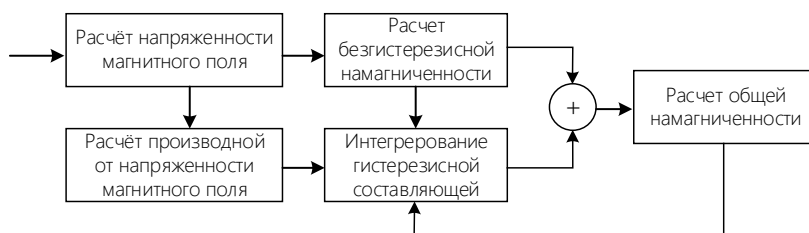


Рис. 1. Алгоритм реализации модели  $J-A$

Моделирование работы трансформатора тока в переходных режимах с учетом насыщения и гистерезиса магнитного материала сердечника проводилось в среде MatLab/Simulink.

Результаты моделирования представлены на рис. 2. Уровень искажения синусоидальной кривой вторичного тока получен при условии, что постоянная времени затухания свободной аperiodической составляющей тока  $X / R = 10$ , а отношение тока КЗ к номинальному току трансформатора тока  $K_{MAX} = 10$ .

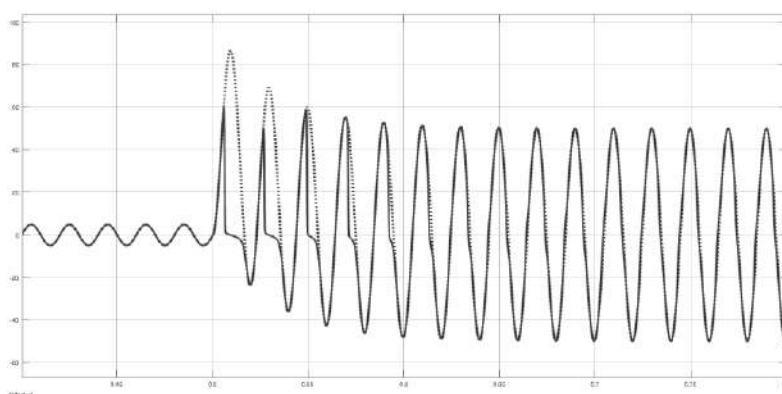


Рис. 2. Результаты моделирования для  $X / R = 10$ ,  $K_{MAX} = 10$

Параметры магнитной системы трансформатора тока соответствуют Fe 0,2 wt% C и приняты в соответствии с [1]:

– намагниченность насыщения  $M_S = 1,5743 \cdot 10^6$  А/м;

- параметр, учитывающий эффективную напряженность магнитного поля в сердечнике  $\alpha = 7,0921 \cdot 10^{-4}$  А/м;
- постоянная необратимой деформации доменных стенок –  $k = 1154,6$ ;
- постоянная упругого смещения доменных единиц  $c = 0,0198$ .

## Литература

1. Mathematical Model for Current Transformer Based On Jiles-Atherton Theory and Saturation Detection Method [Electronic resource]. URL: [https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1093&context=ece\\_etds](https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1093&context=ece_etds) (date of the application: 04.09.2019).

УДК 621-313.3

## АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ СУЩЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ СИГНАЛА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

Афонин И.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

bkmz8991@mail.ru

Науч. рук. Хузяшев Р.Г.

Предложена блок-схема алгоритма, который определяет набор существенных признаков осциллограммы, полученной программно-аппаратным комплексом волнового определения места повреждения. Также представлены примеры обработки нескольких реальных осциллограмм в виде графиков и численных значений.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, модель, волновое определение места повреждения, алгоритм, сигналы переходного процесса.

Тема работы связана с обработкой осциллограмм сигналов переходного процесса, зафиксированных программно-аппаратным комплексом волнового определения места повреждения [1]. Перед нами была поставлена цель: заменить осциллограмму набором численных значений существенных признаков [2]. Под существенными признаками мы понимаем размах амплитуды, начало сигнала переходного процесса, численное фиксированное приращение переднего фронта сигнала переходного процесса (величина ступеньки и время). По этим параметрам мы можем определить вид осциллограммы, которая связана с видом источника сигнала переходного процесса [3].



## Краткая блок-схема алгоритма:

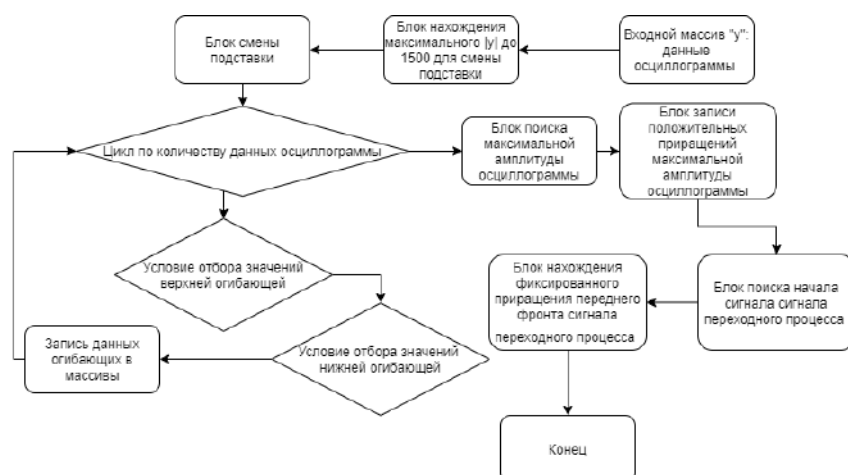


Рис. 1. Краткая блок-схема алгоритма

Блок-схема (рис. 1.) кратко описывает алгоритм нахождения существенных признаков осциллограммы по ее вычисленным значениям огибающих.

**Осциллограммы и существенные признаки.** Ось абсцисс означает время, а ось ординат – амплитуду (представлены только диапазоны, где произошли сигналы переходного процесса).

Существенные признаки (рис. 2):

- 1) максимальная амплитуда – 90, время – 1758;
- 2) массив приращений сигнала переходного процесса:
  - значение – 73; время – 1757; ширина ступеньки – 25;
  - значение – 32; время – 1731; ширина ступеньки – 27;
  - значение – 7; время – 1703; ширина ступеньки – 10;
  - значение – 1; время – 1689; ширина ступеньки – 2;
- 3) время начала сигнала переходного процесса – 1686.

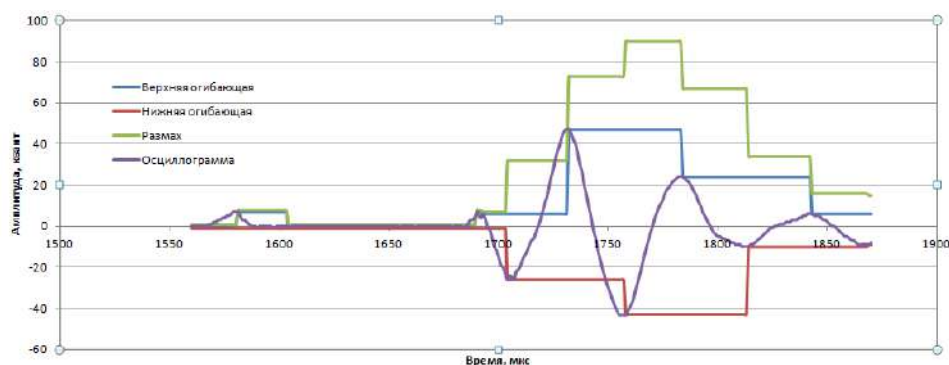


Рис. 2. Промежуток осциллограммы сигнала переходного процесса, зарегистрированного 2 ноября 2019 г.

Существенные признаки (рис. 3):

- 1) максимальная амплитуда – 35; время – 2654;
- 2) массив приращений сигнала переходного процесса:  
– значение – 26; время – 2653; ширина ступеньки – 2;  
– значение – 16; время – 2650; ширина ступеньки – 1;
- 3) время начала сигнала переходного процесса – 2646.

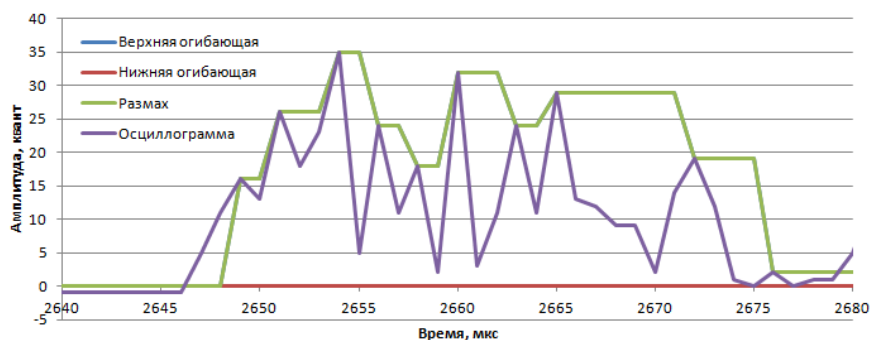


Рис. 3. Промежуток осциллограммы сигнала переходного процесса, зарегистрированного 27 февраля 2020 г.

Вывод: полученный алгоритм вполне удовлетворяет наши условия в том смысле, что он заменяет полученную осциллограмму набором чисел (существенных признаков).

Планы на дальнейшую работу: мы должны учитывать не только один всплеск осциллограммы, но и еще определить количество этих всплесков. Примером служит плановая коммутация, которая сопровождается появлением нескольких всплесков. Также имеются примеры частичных разрядов, когда появляются очень короткие всплески, и они разделены длинными паузами либо очень короткими.

## Литература

1. Практическая реализация волнового метода определения места повреждения в разветвленных распределительных электрических сетях 6(10) кВ / Р.Г. Хузяшев [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 2. С. 98–107.
2. Коробейников А.В. Использование вектора вторичных признаков при классификации сигналов // Молодой ученый. 2017. № 2. С. 118–120.
3. Качесов В.Е., Лавров В.Ю., Черепанов А.Б. Параметрический способ определения мест повреждения в распределительных сетях // Электрические станции. 2003. № 8. С. 38–43.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЗА СЕТЕЙ 6–35 КВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И РЕЗИСТИВНОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Каримов Н.М.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
niyazak47@mail.ru  
Науч. рук. Губаев Д.Ф.

Представлены основные достоинства и недостатки использования изолированной и резистивной нейтрали трансформатора, виды релейных защит, которые могут быть использованы для каждого вида заземления.

**Ключевые слова:** РЗА, изолированная нейтраль, резистивная нейтраль, ОЗЗ, нейтраль трансформатора.

На данный момент в России согласно Правилам устройства электроустановок (7-е издание) [1] предусмотрена работа электрических сетей 6–35 кВ с тремя режимами нейтрали:

- 1) изолированной (незаземленной);
- 2) заземленной через дугогасящий реактор (компенсированная сеть);
- 3) заземленной через резистор.

В начальный период развития энергетики активно использовался изолированный режим использования нейтрали трансформатора. Предпосылками к использованию изолированного режима работы сети можно отнести следующие факты:

- способность к самовосстановлению нарушенной при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) изоляции широко применявшихся в то время кабелей 10(6) кВ с бумажно-пропитанной изоляцией;
- малые токи замыкания на землю, обеспечивающие электробезопасность.

Многолетние наблюдения и научные исследования режима работы сети с изолированной нейтралью, как правило с малыми токами ОЗЗ, выявили и недостатки указанного режима, в частности:

- возможность явления феррорезонанса, возникающего в контуре нулевой последовательности (КНП) между индуктивностью заземляемых трансформаторов напряжения (ТН) и емкостями фаз сети относительно земли;

– недопустимость работы КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена из-за отсутствия возможности процесса самовосстановления изоляции, в котором скорость роста трингов напрямую определяется характером воздействующих перенапряжений [2];

– при ОЗЗ возможно появление значительных дуговых перенапряжений;

Достоинства комбинированного (ДГР + высокоомный резистор) заземления нейтрали:

1) снижение добротности в контуре нулевой последовательности (КНП) даст устойчивый положительный эффект в различных режимах эксплуатации и при изменениях схемы сети;

2) ограничение перенапряжения до значений не более  $2U_{\Phi\max}$ ;

3) практически исключаются опасные феррорезонансные явления [3].

Достоинства низкоомного заземления нейтрали:

1) быстрое отключение ОЗЗ релейной защитой и максимальный охват обмоток электрических машин (двигателей, генераторов, трансформаторов) защитой от ОЗЗ;

2) снижение перенапряжения в сети, возникающего при однофазных, особенно дуговых, замыканиях (ОДЗ);

3) устранение феррорезонансных явлений с ТН и самопроизвольное смещение нейтрали.

В сетях 6 и 10 кВ наиболее приемлемы варианты подключения резистора к нейтрали ТЗН или специальных фильтров нулевой последовательности типа ФМЗО (рис. 1).

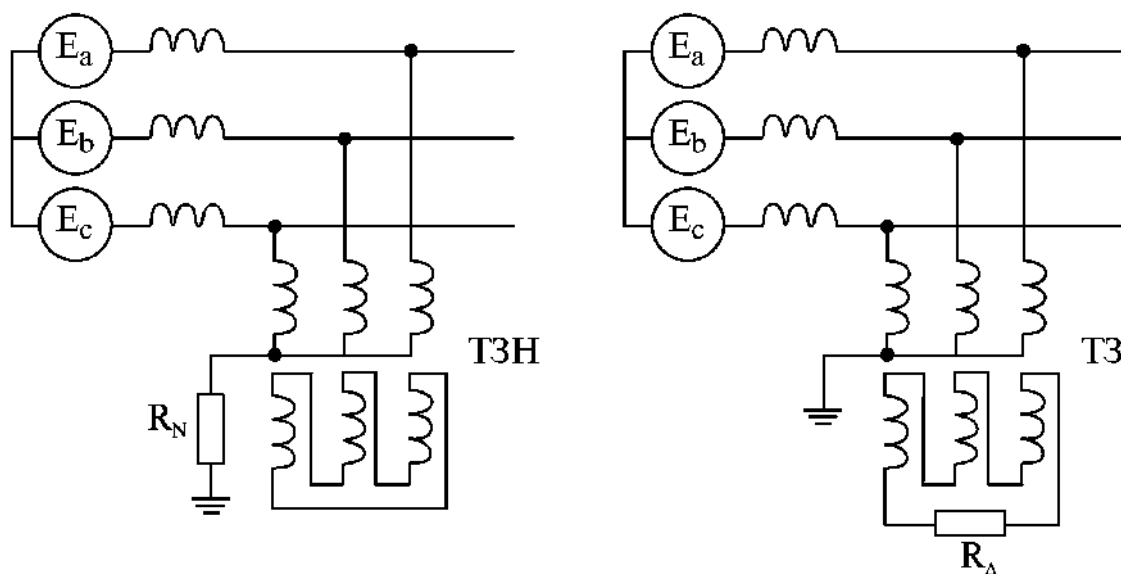


Рис. 1. Схемы подключения резистора к нейтрали сети

Основные алгоритмы работы защит от ОЗЗ при изолированном режиме работы нейтрали трансформатора:

- 1) реагирование на составляющие переходного процесса;
- 2) реагирование на направление мощности нулевой последовательности, т. е. используются угловые соотношения между напряжением и током нулевой последовательности;
- 3) реагирование на высокочастотные составляющие тока нулевой последовательности отходящих фидеров;
- 4) наложение (инжекция) в контур нулевой последовательности (КНП) тока с частотой, отличной от основной, и измерение его с помощью ТТНП.

Второй и третий алгоритмы используются в терминалах ОПФ Сириус, БМРЗ, SPAC-801 и ряде других.

При установке высокоомного резистора параллельно дугогасящему реактору можно осуществить алгоритм от ОЗЗ, реагирующий на ток промышленной частоты.

При использовании низкоомного резистора защита от ОЗЗ устанавливается на всех отходящих кабельных линиях с использованием релейной защиты нулевой последовательности и трансформаторов тока типа ТТНП и цифровых терминалов или реле РТЗ-50, РТЗ-51 (РТ-40/2(6,10)) с действием на отключение этих присоединений. Если кабельная линия состоит из нескольких параллельно работающих трехфазных или групп из трех однофазных кабелей, то трансформаторы тока ТТНП устанавливаются на каждом трехфазном кабеле или на каждой группе из трех однофазных кабелей [4].

Более совершенными являются защиты, построенные на отечественных реле типа РТЗ-51, блоках микропроцессорной защиты БМРЗ (например, БМРЗ-КЛ-11, БМРЗ-КЛ-36, БМРЗ-КЛ-42, БМРЗ-КЛ-51) НТЦ «Механотроника», терминалах защиты SEPAM типа S20 (код ANSI 50N/51N или 50G/51G) фирмы Schneider Electric, защиты серии SPACOM, например, SPAC-800 производства «АББ Реле-Чебоксары», устройства типа MiCOM P121, P122 Compact, P123 компании AREVA (бывшая ALSTOM), защита типа SIPROTEC 4 7SJ61 фирмы SIEMENS и т. д.

## Литература

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Норматика, 2019. 462 с.
2. Шалин А.И. Резистивное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ с СПЭ-кабелями // Новости ЭлектроТехники. 2008. № 2 (50). С. 3–4.

3. СТО Газпром 2-1.11-070-2006. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО Газпром [Электронный ресурс]. М.: ВНИИГАЗ, 2006. 24 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293841/4293841767.pdf> (дата обращения: 23.01.2020).

4. СТО 18-2013. Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6–35 кВ [Электронный ресурс]. СПб.: ОАО «Ленэнерго», 2013. 77 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293744/4293744502.pdf> (дата обращения: 23.01.2020).

УДК 621.316

## ОЦЕНКА ЗАЩИЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РЕКЛОУЗЕРОВ В РАМКАХ ПРОЕКТА «УМНЫЙ РЭС»

Китанин Д.С.<sup>1</sup>, Плотникова Ю.Д.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>kitaninds@gridcom-rt.ru, <sup>2</sup>kozyr\_j@list.ru

Науч. рук. Губаев Д.Ф.

Применение реклоузеров в рамках системы автоматического секционирования распределительных сетей, показала свою эффективность на тестовых участках сети. В статье приведен анализ возможных ошибок и вариант их решения.

**Ключевые слова:** реклоузер, селективность, надежность сети, Автоматическое секционирование, SmartGrid.

В настоящее время во всем мире компании, отвечающие за распределение электрической энергии, прилагают максимальные усилия над решением проблемы перебоев в работе электрической сети. С этой целью энергосбытовые и энергоснабжающие компании измеряют индексы надежности IEEE (Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике). Этими индексами являются: SAIFI – индекс средней частоты отключений по системе; SAIDI – индекс средней продолжительности отключений по системе; CAIDI – индекс средней продолжительности отключения одного потребителя.

Вместе с тем анализ показателей надежности сетей, использующих принципы децентрализованного секционирования, на протяжении 15 лет доказывает эффективность применения реклоузеров в качестве основного

оборудования при создании пунктов автоматического секционирования и сетевого резервирования, базирующуюся на сокращении времени поиска места аварии и сокращении времени восстановления электроснабжения конечного потребителя [1].

Распределительные сети среднего напряжения проектируются, как правило, по радиальным схемам древовидной конфигурации с многократным резервированием магистрали. Защитные аппараты устанавливаются на питающих центрах. Также известно, что 70-80 % повреждений, которые возникают в воздушных распределительных сетях, происходят по причине атмосферных воздействий на линию. Если на линии случилось повреждение (устойчивое или неустойчивое), то электроснабжение теряют потребители целого фидера. Из-за невозможности достоверно определить и локализовать место повреждения длительность отключения может достигать нескольких часов (а иногда и суток). Поиск поврежденного участка, последующий вывод в ремонт линии и сам ремонт, как правило, производится силами оперативно-выездных бригад с привлечением большого числа людей и техники [2]. Поэтому электрические сети в сельской местности имеют более низкую надежность электроснабжения присоединенных к ним потребителей по сравнению с сетями других уровней напряжения. Зачастую проблема надежности в распределительных сетях решалась за счет разукрупнения линий, включающий, в том числе, сооружение новых центров питания и линий.

Этот способ достаточно эффективен технически, однако требует значительных капитальных затрат на этапе строительства и текущих расходов на эксплуатацию. А инвестиций в их реконструкцию и развитие не хватает.

В этих условиях актуальной является задача повышения надежности распределительных электрических сетей 10 кВ при их реконструкции и техническом перевооружении с минимизацией затрат на осуществление этих мероприятий. При этом необходимо учитывать, что надежность распределительных электрических сетей достигается не только использованием современных конструктивных решений, но и возможностями управления ею в ремонтных режимах и в режимах, наступающих после возникновения устойчивых повреждений, что может быть достигнуто применением автоматического секционирования и резервирования ВЛ-10 кВ. Децентрализованный (автоматический) подход к управлению аварийными режимами обеспечивает полную независимость работы пунктов секционирования от внешнего управления. Каждый отдельный

аппарат, являясь интеллектуальным устройством, анализирует режимы работы электрической сети и автоматически производит локализацию места повреждения и восстановление электроснабжения потребителей неповрежденных участков сети. Преимуществом децентрализованного подхода является отсутствие человеческого фактора. Отключение короткого замыкания и локализация повреждения происходят автоматически [3]. Время восстановления питания на неповрежденных участках сети сокращается до секунд, как следствие снижается риск ущерба потребителям электрической энергии.

Реализуемая на данный момент в Сетевой Компании программа секционирования распределительных сетей находится на стадии разработки и внедрения алгоритмов работы. При этом ключевую роль играет оборудование рассматриваемого участка сети. Так, выключатель нагрузки (ВН) требует иного подхода по сравнению с реклоузером.

Реклоузер – подвесные секционирующие дистанционно управляемые выключатели, имеющие комплект релейных защит и способные коммутировать токи короткого замыкания.

На практике не всегда получается рассчитать защиты реклоузера так, чтобы они были селективны с выключателем на ПС данного присоединения. Здесь речь идет именно о селективности по току, так как попытка обеспечить селективность по времени приведет к увеличению времени на вышестоящих защитах, что не всегда допустимо (увеличение уставки по времени «нижестоящей» защиты ведет к пересмотру уставок всех «вышестоящих» защит). В связи с этим приходится отказываться от возможности данного реклоузера отключать токи короткого замыкания собственными защитами и приравнивать его по набору функций к ВН. Это также вносит изменения в составление алгоритмов участков сети, где есть хотя бы один реклоузер.

На мой взгляд, необходимо создать методику оценки способности реклоузеров обеспечить селективность по току с защитами на ПС, а в будущем – заранее оценивать оптимальное место установки реклоузера.

Для этой оценки была разработана небольшая программа (в Excel), которая может на основании имеющихся у нас данных (трехфазный ток КЗ на шинах ПС, уставки защит на ПС, точное место установки имеющихся реклоузеров, характеристики линий) выдавать оптимальное расстояние, способное создать необходимое затухание токов короткого замыкания для обеспечения селективности по току. Начальный экран данной программы представлен на рисунке.



1	A	B	C	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Q	T	U	X	Y	AB	AD	AG	AH	AK	
2	Исходные данные				Участки								Провод	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв	Зв
3	Параметр	Значение			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		A-15	2,001	AC-35	0,988	ПС-25	6,456	A3K25	1,174	A3K35	0,321	
4	U <sub>н</sub> , В	10500	20 (Предыдущий участок), Ом/км	0,988	0,908									A-25	1,329	AC-50	0,793	ПС-35	4,776	МЭК25	0,723	МЭК35	0,205	
5	(2) ток ПС, А	3143	1 (Предыдущий участок), км	0,15	1,56	0	0	0	0	0	0	0		A-35	0,986	AC-70	0,579	ПС-50	3,606	A3K35	0,845	A3K120	0,258	
6	(3) ток ПС, А	1384	2 (Предыдущий участок), Ом	0,158	1,541	0	0	0	0	0	0		A-50	0,728	AC-95	0,483	ПС-70	2,285	МЭК35	0,329	МЭК120	0,170		
7	20 (Расстояние установки), Ом/км	0,988	Z <sub>н</sub> , Ом	1,69536										A-70	0,576	AC-120	0,440	ПС-5	12,530	A3K50	1,076	A3K150	0,211	
8			Z <sub>т</sub> min, Ом	1,528787										A-95	0,479	AC-150	0,400	ПС-6	10,296	МЭК50	0,370	МЭК150	0,144	
9			Минимальная длина от шин ПС, км		4,22									A-120	0,435					A3K70	0,429	A3K185	0,177	
10	Расчет:													A-150	0,394					МЭК70	0,270	МЭК185	0,124	
11	Таблица	Уч. установки, км		Фиксируемые поля																		A3K240	0,145	
69				Поля трубопроводов заполнения																		МЭК240	0,106	
70																								

Начальный экран разработанной программы

## Литература

1. Кваша Е., Махаров Б. Что такое реклоузер? Остерегайтесь подделок! // Энергетика. 2010. № 4 (35).

2. Воротницкий В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2005. № 3 (33). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php> (дата обращения: 18.11.2019).

3. Воротницкий В. Будущее сетей в американском контексте [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2012. № 3 (75). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2012/75/08.php> (дата обращения: 18.11.2019).

УДК 621.314.222.6

## МОНИТОРИНГ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Кулакова М.А.<sup>1</sup>, Герасимов Э.Ф.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>satifex3000.97@mail.ru, <sup>2</sup>yungrb666@gmail.com

Науч. рук. Ярыш Р.Ф.

Совершенствование ЕЭС России обеспечивается в результате реализации новых современных технологий. В статье рассматривается применение смарт трансформаторов, однако актуальной задачей является оперативный контроль за текущим техническим состоянием трансформаторов.

**Ключевые слова:** активно-адаптивные сети, совместимость интеллектуальных электронных устройств, управление и мониторинг.

Более шести десятков лет назад в России была создана Единая электроэнергетическая система (ЕЭС). За этот достаточно большой период основная часть оборудования физически и морально устарела, поэтому нуждается в значительном усовершенствовании и применении новых технологий, в использовании современных информационно-диагностических систем и систем управления [1].

Одним из значимых элементов создаваемых в настоящее время «умных», «интеллектуальных» или активно-адаптивных электрических сетей являются «цифровые подстанции», в которых происходит замена многочисленных проводных связей для обмена традиционными аналоговыми и дискретными сигналами, а также унифицированный обмен цифровыми сообщениями. Это позволяет осуществить распределенную реализацию функций системы автоматизации подстанции и полную функциональную совместимость интеллектуальных электронных устройств различных производителей, тем самым обеспечивается более эффективная работа всей энергосистемы [2].

В центре системы передачи и распределения электроэнергии находятся силовые трансформаторы, вследствие чего задача повышения надежности, снижения потерь и затрат на их обслуживание является первостепенной. Единичная мощность силовых трансформаторов находится в диапазоне от нескольких киловольт-ампер до сотен тысяч киловольт-ампер, отказ подобного оборудования обходится очень дорого. Сокращение срока службы трансформаторов происходит из-за плановых и неожиданных всплесков нагрузки, так как резко повышается температура внутри трансформаторов, вследствие чего они испытывают серьёзные механические напряжения. Внезапный выход трансформаторов из строя также может привести сеть к настоящему хаосу, запустив цепь отключений. Это создаст финансовые, юридические и множество других проблем. Сетевые компании вынуждены постоянно контролировать состояние своих трансформаторов, чтобы успеть принять меры до того, как произойдёт отказ.

Однако новые решения в энергетических системах и энергетике в целом вносят владельцам трансформаторов и новые проблемы. Некрупные производители электроэнергии стараются обзаводиться генераторами на возобновляемой энергии. Работа этих генераторов может нарушать графики энергопотребления в сети и создавать перегрузки в распределительных трансформаторных подстанциях. Подобные тенденции свидетельствуют о том, что в распределительных сетях необходимы трансформаторы с системами мониторинга состояния

и управления такого уровня, который ранее был доступен только для магистральных сетей. Смарт трансформаторы составляют неотъемлемую часть интеллектуальной сети, их главная задача – осуществлять регулирование напряжения и поддерживать контакт с интеллектуальной сетью, чтобы позволить удаленное администрирование, в случае необходимости, предоставление информации и обратной связи об источнике питания, а также самих трансформаторах. Одно из преимуществ смарт трансформаторов – независимая работа.

Умный трансформатор осуществляет оптимизацию напряжения, что, в свою очередь, обеспечивает точное количество необходимой энергии, которое немедленно реагирует на колебания в энергосистеме, действуя как стабилизатор напряжения. Это позволяет гарантировать оптимизированное напряжения без помех. Такие трансформаторы уменьшают потребление энергии и объем выбросов парниковых газов.

Умные трансформаторы исполняют работу в качестве источников оптимального напряжения, которое непосредственно поставляется энергопотребителям. Они связаны с интеллектуальной сетью и могут быть динамично администрируемыми, а это позволяет пользователю контролировать их работу и управлять ими во время периодов колебания мощности, поэтому возникает гарантия того, что источник питания оптимизирован по напряжению и при возрастании, и при уменьшении нагрузки.

Многие из устройств разработаны таким образом, что будут работать в диапазонах напряжения, отличающихся от номинальных. Умный трансформатор обеспечивает эффективную работу устройств, увеличивая срок их службы и уменьшая потребление энергии, так как он регулирует базовое напряжение.

Можно сделать вывод, что смарт трансформаторы на сегодня не только разработаны, но и успешно используются на объектах ЕНЭС. При этом традиционными остались способы подключения сигналов от трансформаторов тока обмоток и выходов технологических защит трансформаторов к системе РЗА подстанции, в частности: реле Бухгольца, предохранительные и отсечные клапаны и т. д. Одной из главных задач сейчас является переход на организацию всех внутриподстанционных коммуникаций по стандарту МЭК 61850.

Важнейшая составляющая работы силовых трансформаторов – надежность. Для повышения надежности работы силовых трансформаторов, осуществляющих обеспечение электрическими мощностями важные технологические объекты, необходимо внедрение методов и средств оперативной диагностики. Цель внедрения – обеспечение эксплуатирующего персонала следующей информацией:

- 1) текущее техническое состояние трансформаторов, причины и дефекты, обусловившие ухудшение состояния всего трансформатора;
- 2) остаточный, на данный момент времени, ресурс работы трансформаторов на подстанции, т.е как долго еще возможна их безаварийная эксплуатация при выявленных и развивающихся дефектах;
- 3) эффективность и сроки проведения ремонтных работ, которые применяются к данному оборудованию для поддержания его надежной работы и безаварийной эксплуатации [3].

Вышеперечисленные вопросы напрямую связаны между собой, но наиболее сложная и важная задача – это мониторинг текущего технического состояния трансформаторов.

### **Литература**

1. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной связью [Электронный ресурс]. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 51 с. URL: [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies\\_aas.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf) (дата обращения: 27.01.2020).

2. Дарьян Л.А., Мордкович А.Г., Цфасман Г.М. Принципы реализации трансформаторного оборудования для цифровых подстанций [Электронный ресурс]. URL: [http://www.asu-vei.ru/download/publications/reports/doklad\\_travek\\_2010\\_cifrovie\\_podstancii.pdf](http://www.asu-vei.ru/download/publications/reports/doklad_travek_2010_cifrovie_podstancii.pdf) (дата обращения: 27.01.2020).

3. Бедерак Я.С., Богатырев Ю.Л. О необходимости внедрения систем мониторинга силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше // Промэлектро. 2008. № 3. С. 8–17.

УДК 621.315.052

## **ВЛИЯНИЕ КАБЕЛЬНОЙ ВСТАВКИ НА ПАРАМЕТРЫ ЛИНЕЙНОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА**

Максакова Е.Д.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
[maksakova\\_alena@mail.ru](mailto:maksakova_alena@mail.ru)  
Науч. рук. Писковацкий Ю.В.

Высокочастотная (ВЧ) связь в настоящее время широко используются для передачи сигналов релейной защиты и противоаварийной автоматики. Активное использование ВЧ связи определяется высокой надежностью и сравнительной

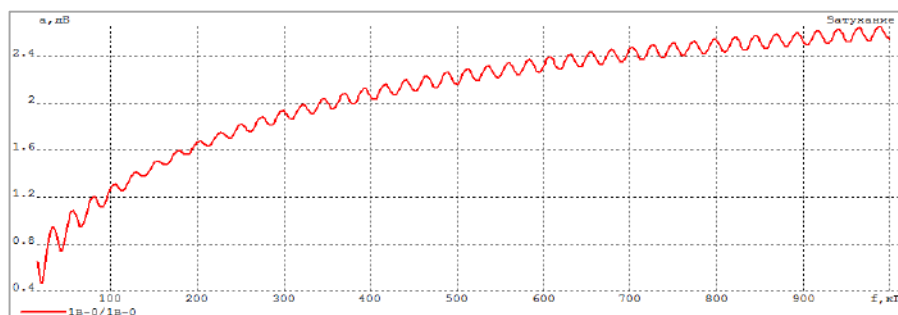
дешевизной. Однако достоверность и надежность передачи информации по ВЧ каналам зависит от параметров ВЧ тракта. В последние годы наметилась тенденция увеличения числа проектируемых кабельно-воздушных линий (КВЛ) 110 и 220 кВ. В работе рассматривается влияние кабельной вставки на параметры ВЧ тракта.

**Ключевые слова:** высокочастотный тракт, кабельная вставка, кабельно-воздушная линия.

Трассы воздушных линий (ВЛ) часто сталкиваются с естественными и искусственными препятствиями. Необходимость кабельной вставки возникает в пределах города, при пересечении линией железной дороги, аэродрома, трасс межгорода и иных объектов.

Существует несколько факторов, оказывающих влияние на параметры ВЧ тракта при кабельной вставке. В первую очередь есть существенная разница между волновыми сопротивлениями воздушного и кабельного участков линии. Так, для ВЛ волновое сопротивление составляет ориентировочно 400 Ом для междуфазных волн, а для кабельной линии (КЛ) – всего 30 Ом. В месте перехода воздушной линии в кабельную возникают потери из-за отражения волн от этого места, в тракте появляется дополнительное затухание приблизительно 5–7 дБ. Также в случае несогласованности ВЛ и КЛ по концам линии возникают волны, которые многократно отражаются от мест нарушения однородности. Это приводит к появлению между максимальным и минимальным значениями периодических изменений затухания.

В качестве примера приведён расчет затухания в линейном тракте, организованном на ВЛ 110 кВ при отсутствии (рис. 1, а) и наличии кабельной вставки (рис. 1, б). Расчет выполнен в программном комплексе «WinTrakt», позволяющем производить точные расчеты параметров ВЧ трактов на базе модальной теории распространения сигналов по неоднородным многопроводным линиям и определить для ВЧ тракта частотные зависимости: рабочего затухания, входного сопротивления, затухания несогласованности.



а

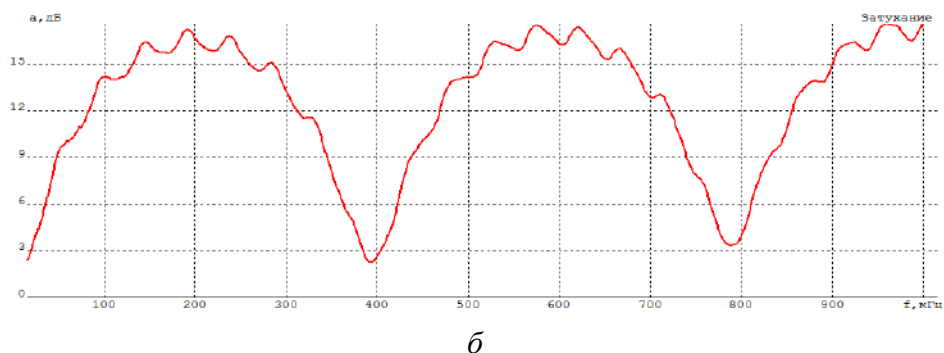


Рис. 1. Затухание линейного тракта ВЛ 110 кВ при отсутствии (а) и наличии (б) кабельной вставки

Исходные данные для расчета:

- 1) нагрузка линии (концевая нагрузка) составляет 450 Ом;
  - 2) схема присоединения фаза – земля. ВЧ обработку имеют фазы *B* и *C* (расчет представлен для фазы *B*);
  - 3) принятое удельное сопротивление земли 100 Ом·м (учет влияния земли по уравнениям Карсона);
  - 4) опоры типа П110-4;
  - 5) марка провода ВЛ – АС 185/29, кабеля – АПВПу2гж-1×630/150 (расположение фаз треугольником, глубина – 1,8 м);
  - 6) длина участка ВЛ до кабельной вставки – 2761 м, длина кабельной вставки – 253 м, длина участка ВЛ после кабельной вставки – 3119 м;
  - 7) влияние опор и провисание проводов не учитывается.
- Общий вид схемы ВЧ тракта представлен на рис. 2.

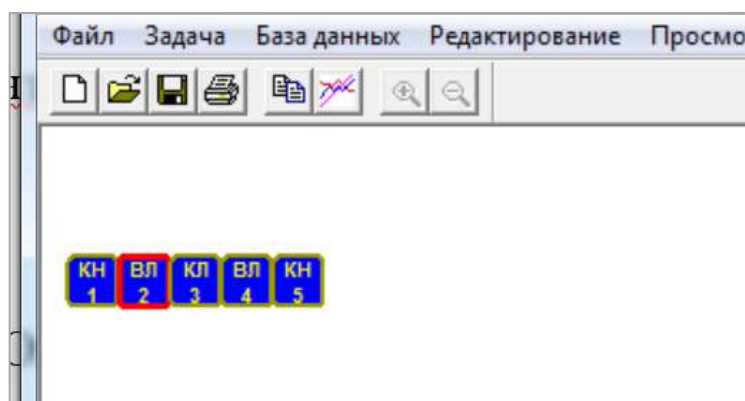


Рис. 2. Схема ВЧ тракта ВЛ 110 кВ

Для уменьшения в месте перехода влияния неоднородности желательно устанавливать согласующие устройства по схеме ВЧ обхода. Это согласующее устройство включает в себя два конденсатора связи (КС), два фильтра присоединения (ФП), один высокочастотный заградитель

(ВЧЗ). Такие комплекты устанавливаются на входе в КЛ и на выходе из нее, в том случае, если кабельная вставка находится в середине линии. Фильтр присоединения с конденсатором связи, который присоединяется к КЛ, имеет расчетное сопротивление со стороны линии, приблизительно равное волновому сопротивлению кабельной линии. Это позволит скомпенсировать разницу волновых сопротивлений, уменьшить возникновение волн в месте стыка ВЛ и КЛ и снизить влияние кабельной вставки на ВЧ тракт.

Хотя кабельная вставка оказывает существенное влияние на параметры ВЧ тракта, организация ВЧ каналов по КЛ и КВЛ возможна при выполнении точных расчетов параметров ВЧ трактов на базе модальной теории распространения сигналов.

### Литература

1. Кабельные вставки [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/17\\_27574\\_kabelnie-vstavki.html](https://studopedia.ru/17_27574_kabelnie-vstavki.html) (дата обращения: 30.01.2020).

2. Шкарин Ю.П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи (часть 2). М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. С. 42–44.

УДК 621-313.3

### РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–35 КВ»

Максимов Р.В.<sup>1</sup>, Галиев Р.А.<sup>2</sup>, Надергулов М.М.<sup>3</sup>, Хузин А.Ш.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>rostikmv@mail.ru, <sup>2</sup>galiev97@yandex.ru, <sup>3</sup>nadergulov97@mail.ru, <sup>4</sup>ya.airat203@yandex.ru

Науч. рук. Писковацкий Ю.В.

Повсеместное внедрение микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, а также переход на цифровые подстанции требует от персонала новых знаний и навыков работы с данным оборудованием. Для подготовки специалистов необходимо создание учебных лабораторных стендов, позволяющих изучить: устройство и работу микропроцессорного терминала; взаимодействие нескольких терминалов и испытательного оборудования в одной системе.

**Ключевые слова:** автоматика, релейная защита, моделирование, симулятор, терминал, Seram, цифровая подстанция, МЭК 61850.

В Казанском государственном энергетическом университете на кафедре релейной защиты и автоматизации электроэнергетических систем создаётся лаборатория «Цифровая подстанция». Основным лабораторным стендом данной лаборатории является стенд «Релейная защита и автоматика электроустановок распределительных устройств напряжением 6–35 кВ», выполненный на базе микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) Seram производства компании Schneider Electric. Разрабатываемый лабораторный стенд позволит ознакомиться со всеми основными функциями МУРЗ Seram, такими как: настройка оборудования, настройка различных модулей (ввода/вывода, связи, а также дисплея и датчиков); активация защиты, создание графических связей между датчиками и функциями измерения, выполняемыми реле; настройка защит, параметрирование функций защит, управления и контроля; анализ осциллограмм, отображение, анализ и печать осциллограмм; контроль в режиме реального времени, контроль состояния всех реле; управление сигнализацией и событиями.

Лабораторный стенд включает в себя восемь шкафов. В каждом шкафу размещены терминал защиты, контактор, имитирующий выключатель, модули связи и блок питания. Подключение к токовым цепям и дискретным входам терминала осуществляется через разъёмы, расположенные на передней панели шкафа. Для моделирования выключателя использовались контакторы, имеющие три нормально открытых контакта и два нормально закрытых контакта.

Реализовано два способа связи между терминалами (Ethernet и RS485), которые позволяют расширить возможности данных устройств, приближая их к уровню цифровой подстанции, а также наглядно ознакомить с основными способами и стандартами (МЭК61850) передачи информации между устройствами, как на физическом уровне, так и на программном. Подключение РЕТОМ-51 к лабораторному стенду позволяет освоить навыки работы с ним и выполнить испытания устройств релейной защиты.



Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда



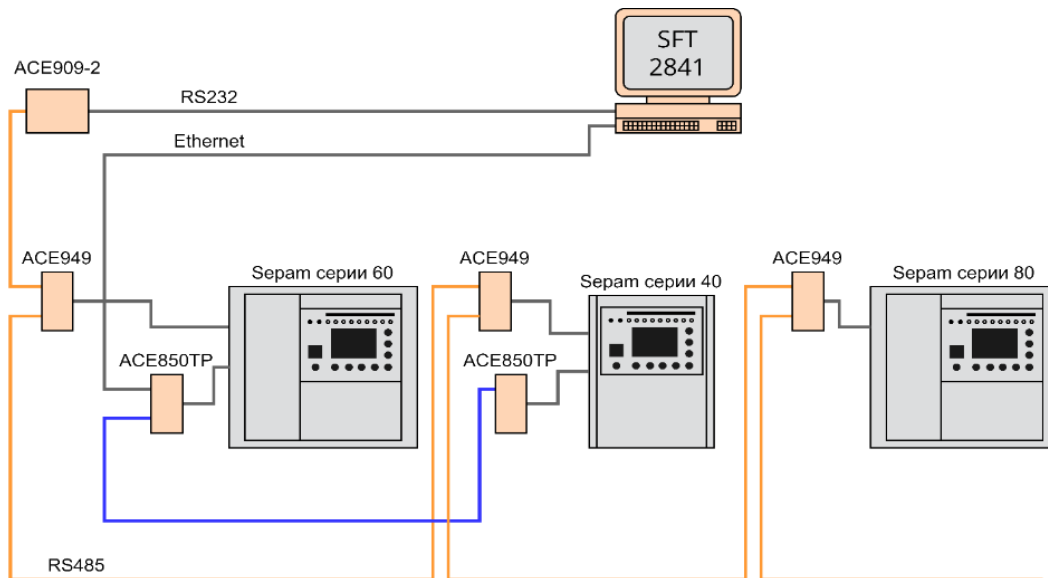


Рис. 2. Схема связи между терминалами по RS485 и Ethernet

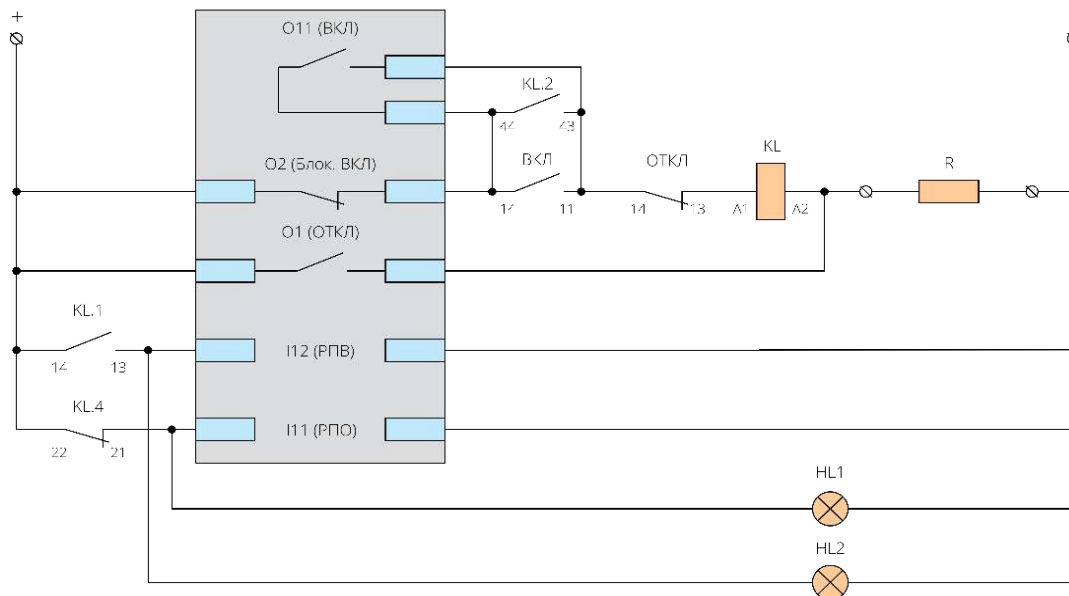


Рис. 3. Релейно-контактная схема управления выключателем

Использование данного лабораторного оборудования в учебном процессе позволит ознакомиться со всеми основными функциями микропроцессорных устройств РЗА, системами связи, организацией цифровой подстанции, а также с испытательным оборудованием, необходимым для обслуживания данных устройств.

Дальнейшим направлением развития лабораторного стенда является расширение функциональных возможностей путем применения SCADA-систем в целях ознакомления с функциями АСУ ТП, такими как: телеуправление, телеизмерение и телесигнализация.

## Литература

1. IEC 61850. Communication Networks and Systems in Substations. 1<sup>st</sup> ed. 2004.
2. ISO 9506-1:2003. Industrial automation systems – Manufacturing Messaging Specification – Part 1: Service Definition. 416 p.
3. ISO 9506-2:2003. Industrial automation systems – Manufacturing Messaging Specification – Part 2: Protocol Specification. 183 p.
4. Карпов В.Э. Связь по интерфейсу RS-232 [Электронный ресурс]. URL: <http://robofob.ru/materials/begin/mRS232.pdf> (дата обращения: 30.01.2020).
5. Seram серии 80. Измерения, защита, управление и контроль [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации. URL: <http://www.pro-schneider.ru/content/files/183.pdf> (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 621-316

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ НА БАЗЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕРВЕРА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Митрофанов С.Е.<sup>1</sup>, Хусаинова Р.Т.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>mitrofanoff.sewastyan@yandex.ru, <sup>2</sup>husainovart@gridcom-rt.ru

Науч. рук. Мустафин Р. Г.

Сделан обзор структуры цифровой подстанции, определяемой документом МЭК-61850, а также её элементов; описаны основные преимущества и проблематика внедрения этой технологии. Также проведено сравнение состава цифровой подстанции согласно МЭК-61850 и подстанции, основанной на едином центральном сервере.

**Ключевые слова:** цифровая подстанция, сервер, релейная защита, автоматика, шина процесса.

Цифровые данные, цифровые сигналы – всё чаще эти понятия упоминаются в самых разных сферах деятельности человека и создают образ передовых технологий, нечто футуристическое.

Электроэнергетика – не исключение: всех от мала до велика начинает касаться этот вопрос. Простым потребителям уже вполне доступны «умные» розетки, лампочки, выключатели, хоть и технологически эти устройства далеки от совершенства. А в промышленной

энергетике всё чаще можно услышать про автоматизацию подстанций, про смену приборов учёта потребителей на «интеллектуальные» счётчики электроэнергии, про подстанции нового поколения – цифровые подстанции (ЦПС).

Интерес развития таких технологий приводит к необходимости новой информационной модели коммуникации для управления большим количеством устройств и связи их друг с другом, которая была разработана в документе МЭК 61850. МЭК 61850 – это набор стандартов, в который входят стандарт по одноранговой связи и связи клиент-сервер, стандарт по конструкции и конфигурации подстанции, стандарт по методике испытаний, стандарт экологических требований, стандарт по проектированию [1].

Так что же такое цифровая подстанция? Это подстанция, оснащенная комплексом цифровых устройств, обеспечивающих функционирование систем релейной защиты и автоматики, учета электроэнергии, АСУ ТП, регистрации аварийных событий по протоколу МЭК 61850 [2].

Для того чтобы подстанция стала цифровой, необходимы:

1. Интеллектуальные первичные устройства (измерительные трансформаторы тока и напряжения, получающие данные сразу в цифровом виде).

2. Сетевые устройства: шины процесса, шины подстанции. В данном случае слово «шина» не следует понимать буквально, речь идёт о целой системе передачи данных между устройствами.

Шина процесса – технологическая шина, необходимая для обмена информацией между уровнем процесса и уровнем присоединения. На ней собираются цифровые данные с первичной аппаратуры (показания тока и напряжения, положение коммутационных аппаратов).

3. Интеллектуальные электронные устройства, поддерживающие протоколы МЭК61850: MMS, GOOSE, SV.

SV (*Sampled Values* – стандарт МЭК 61850-9-2) – протокол передачи оцифрованных мгновенных значений от измерительных трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН). В схеме ЦПС данный протокол является связующим элементом, подобным цепям переменного тока, связующим устройства релейной защиты, автоматики и измерений (УРЗАИ).

GOOSE (*Generic Object Oriented Substation Event* – стандарт МЭК 61850-8-1) – протокол передачи данных о событиях на подстанции. Он является одним из наиболее известных и служит для обмена сигналами между УРЗАИ в цифровом виде.

MMS (Manufacturing Message Specification – стандарт МЭК 9506) – протокол передачи данных и команд между диспетчерским управлением и ИЭУ, реализует функции АСУ ТП, т.е. сбор данных телесигнализации и телеизмерений, а также передачу команд телеуправления.

ЦПС обладают рядом преимуществ:

- упрощаются вторичные присоединения – обилие медных кабелей сменяется малым количеством волоконно-оптических линий связи;
- снижение погрешности при передаче и обработке сигналов;
- возможность осуществления самоконтроля каналов связи;
- первичное оборудование не воздействует на вторичное, потому что отсутствуют сильные электромагнитные поля;
- удешевление наладки оборудования и, в перспективе, последующее упрощение обслуживания;
- увеличение степени наблюдаемости за ПС, её диагностики, и, как следствие, уменьшение количества технологических нарушений ввиду непрерывной диагностики оборудования.

Однако, несмотря на осязаемое упрощение подстанции – на смену меди приходит оптоволокно, а терминалы заменяются или доукомплектовываются, её структура остаётся классической. А почему бы не пойти дальше и не убрать все терминалы, заменив их одним, хоть и довольно большим сервером, внутри которого будут осуществлены всевозможные виды защит и автоматик. В теории применение этой технологии позволит существенно уменьшить размеры подстанций и сэкономить на оборудовании. Один единый сервер (см. рисунок) позволит навсегда решить проблемы с выбором терминалов, согласованием их между собой, появится возможность осуществлять абсолютно любые защиты и автоматик, задавать уставки в одной программной среде и сразу для всего оборудования, осуществлять быстрое изменение конфигурации системы в случае необходимости. Схема подстанции заметно упрощается.



Централизованная структура ЦПС

Но встаёт вопрос надёжности такой системы, ведь при каком-либо повреждении сервера будут выведены из работы абсолютно все защиты, и повысить надёжность в данной ситуации можно только применением сразу нескольких таких серверов с одинаковым набором функций. Возможно из-за этой проблемы весь экономический эффект будет теряться, однако, если посмотреть с другой стороны, намного проще становится расчёт надёжности оборудования – чем выше нужна надёжность оборудования, тем больше серверов необходимо установить.

Также существует ряд проблем, распространяющихся на любую цифровую подстанцию, будь то ЦПС, описанная в МЭК-61850, или подстанция с центральным процессором. Среди них хочется выделить:

1) отсутствие нормативных документов (полный перевод стандарта МЭК-61850 на русский язык и его соответствие и согласованность с российскими стандартами, требования к архитектуре комплекса РЗА и ПА для ЦПС, требования к шинам процесса и подстанции);

2) риск сбоя системы в результате различных действий киберпреступников (DDOS-атаки, несанкционированное управление по линии связи или подмена данных, взлом доступа к изменению уставок терминала, управлению выключателями и подмене показаний электросчетчиков).

Все вышеперечисленные вопросы были рассмотрены в ходе данной работы.

## Литература

1. МЭК 61850 [Электронный ресурс]. URL: [http://hodjent.narod.ru/DOWNLOAD/IEC\\_61850\\_brochure\\_ru.pdf](http://hodjent.narod.ru/DOWNLOAD/IEC_61850_brochure_ru.pdf) (дата обращения: 28.01.2020).

2. Цифровая подстанция МЭК 61850 [Электронный ресурс]. URL: [https://etz-vektor.ru/storage/document/file\\_46.pdf](https://etz-vektor.ru/storage/document/file_46.pdf) (дата обращения: 28.01.2020).

3. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / под общ. ред. Ю.Н. Руденко и В.А. Семенова. М.: МЭИ, 2000. 648 с.

4. Корсунов П.Ю., Моржин Ю.И., Попов С.Г. Разработка Концепции «Цифровая подстанция». Договор № И-11-41/10. М.: ОАО «НТЦЭ», 2011. 248 с.

5. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий. М.: ИД «Спектр», 2014. 228 с.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ (АСДТУ)

Сабирзянова А.Т.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

sabirzyanovaat@gridcom-rt.ru

Науч. рук. Ярыш Р.Ф.

Рассмотрена система оперативно-диспетчерского технологического управления энергетическими сетями, обеспечивающая возможности перехода оперативно-диспетчерского и технологического управления электроэнергетическими системами от мониторинга текущего режима к проактивным методам управления с предвидением событий и своевременным инициированием изменений.

**Ключевые слова:** энергетический комплекс, технологическое управление, проактивный анализ надежности режима

Сегодня энергетика благодаря своей глобальной востребованности является той отраслью, куда стекаются наиболее передовые и перспективные разработки. Производимая ими продукция соответствует высоким стандартам качества и надежности.

Такой уровень энергетики невозможен без следующих составляющих:

- четкая визуализация и контроль параметров состояния электрохозяйства предприятия и прилегающей электрической сети в нормальных и аварийных режимах;
- высокая эффективность оперативно-диспетчерского и диспетчерско-технологического управления электрохозяйством предприятия;
- необходимая надежность работы основного и вспомогательного оборудования подстанции и электрических сетей;
- обеспечение снижения эксплуатационных затрат;
- минимизация возможных потерь от простоев и аварийных ситуаций;
- исключение ошибок, связанных с человеческим фактором.

Основным назначением автоматизированной системы диспетчерского и технологического управления энергетическим комплексом (АСДТУ) является оперативно-диспетчерское технологическое управление

энергетическими сетями, исходя из обеспечения требуемых качественных показателей электроэнергии, высокой надежности электроснабжения, снижения уровня аварийности, минимизации потерь, повышения эффективности обслуживания энергетических сетей [1].

Для мониторинга АСДУ в филиале ОАО «Сетевая компания» Альметьевские электрические сети использовался программный продукт компании «НТК Интерфейс» «ОИК Диспетчер НТ»[3]. Необходимость в осуществлении предвидения событий и своевременного инициирования изменений сподвигла перейти к созданию нового поколения автоматизированных систем управления производством, передачей и распределением электроэнергии – к продукту АО «Монитор Электрик» «СК-11».

Это достигается за счет:

- кардинального сокращения времени подготовки и проведения расчетов при планировании режимов, а значит, ускорения темпов принятия и повышения качества решений по управлению энергосистемой;

- значительного повышения точности режимных расчетов, основанных на данных о реальных физических электроэнергетических объектах;

- включения в практику работы оперативного персонала нового класса приложений on-line моделирования текущих процессов, автоматического проактивного анализа надежности режима дополнительно к подсистеме SCADA и телеметрической информации реального времени;

- создания условий для приобретения оперативно-технологическим персоналом профессионального опыта и квалификации в сжатые сроки.

Типовой программно-технический комплекс энергетического диспетчерского центра (ПТК ЭДЦ) представляет собой интегрированную аппаратно-программную платформу, которая включает в себя:

- аппаратную группу отказоустойчивых серверных компонент;
- совместимые с ней операционные системы и управленческие прикладные программы;

- автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчеров;

- систему отображения оперативной технологической информации (СОИ);

- систему единого времени (СЕВ);

- систему записи диспетчерских переговоров (СЗДП).

Аппаратная группа серверов представляет собой отказоустойчивый кластер, состоящий из группы хостов (физических серверов), связанных между собой сетью, и имеющий доступ к общему хранилищу данных. Отказоустойчивый кластер обеспечивает высокую надежность работы серверных компонент комплекса, выполняющих функции управления, хранения и передачи данных.

Основополагающим принципом, определяющим всю информационно-техническую архитектуру платформы, обеспечивающим ее гибкость и открытость, является применение международных стандартов и средств общесистемной, информационной и программной интеграции использующих ее функциональных компонентов.

Ключевые преимущества «СК-11»:

- 1) распределенная информационная инфраструктура, способная связать АСДТУ группы центров управления различной конфигурации;
- 2) оценка состояния для более устойчивой работы on-line приложений сетевого анализа в условиях плохонаблюдаемых энергосистем;
- 3) автоматическое эквивалентирование «полных» физических моделей энергосистем в рабочие;
- 4) открытая платформа для интеграции приложений на базе международных стандартов и технологий;
- 5) предоставление возможности совместной работы приложений, поддерживающих CIM разных версий;
- 6) современный, унифицированный для всех приложений графический пользовательский интерфейс [2].

## Литература

1. СТО 56947007- 25.040.05.267-2019. Типовые технические требования к ПТК АСДТУ ЦУС для организации функций удаленного управления ПС из центров управления. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2019. 159 с.
2. СК-11. Общие сведения и базовые принципы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.monitel.ru/products/ck-11/overview.html> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Программное обеспечение «ОИК Диспетчер НТ» [Электронный ресурс]. URL: <https://iface.ru/prod/oik/> (дата обращения: 30.01.2020).



## НАДЕЖНОСТЬ ПИТАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТОЯННОГО ТОКА

Фарукова Д.И.<sup>1</sup>, Семенов М.Н.<sup>2</sup>, Саломау Д.Б.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>dfarukova@gmail.ru, <sup>2</sup>maxim.snt@inbox.ru, <sup>3</sup>djeuriciosaloma@gmail.com

Науч. рук. Ярыш Р.Ф.

В настоящее время в российской энергетике идет комплексная модернизация и инновационное развитие всех субъектов электроэнергетики на основе передовых технологий и сбалансированных проектных решений (например, согласно [1], таких как «Интеллектуальная сеть энергетики», «Интеллектуальная электроэнергетическая система», «Активно-адаптивная сеть энергетики»). В свою очередь, новые требования предъявляются к системам оперативного постоянного тока с целью повышения надежности питания основных электроприемников устройств РЗА, устройств управления и приводов высоковольтных выключателей и др.

**Ключевые слова:** активно-адаптивные сети, система оперативного постоянного тока, зарядные устройства, аккумуляторная батарея.

В целом, интеллектуальная сеть (Smart Grid, «умная», или активно-адаптивная сеть) представляет собой распределительную сеть, сочетающую в себе комплексные инструменты мониторинга и контроля, информационные технологии и средства коммуникации. Все это обеспечивает более высокую производительность сетей, позволяет генерирующим, сбытовым и коммунальным компаниям предоставлять энергию высокого качества и передавать ее с минимальными потерями. Технически многие проблемы решаются именно с помощью интеллектуальных сетей [2].

В направлении развития системы оперативного постоянного тока (СОПТ) возможно совмещение релейной защиты с функциями информационно-измерительной системы. В основе такой совмещенной системы лежат два фактора:

1) выполнение измерений микропроцессорными устройствами релейной защиты (МУРЗ) в векторной форме;

2) накопление и хранение информации в МУРЗ обо всех происходящих событиях.

Соответственно, весь объем накопленной информации может напрямую использоваться в будущих контрольно-информационно-измерительных системах (КИИС) Smart Grid. В подобных системах релейная защита будет наделена дополнительными функциями измерений, мониторинга и диагностики [3].

В связи с модернизацией появляются новые технические требования, относящиеся к СОПТ:

1) отказ от регулирования напряжения с помощью дополнительных элементов аккумуляторной батареи в сети постоянного тока;

2) переход на модульные зарядные устройства с такими динамическими характеристиками, которые позволяют обеспечить локализацию электрически удаленных коротких замыканий;

3) переход к трехуровневым системам защиты от сверхтоков;

4) обеспечение термической стойкости, невозгораемости кабелей, реализация схмотехнических и компоновочных принципов резервирования цепей и устройств СОПТ;

5) применение инновационных решений по интеграции СОПТ в АСУ подстанции и др.

Согласно [4] СОПТ должна обеспечивать рабочее и резервное питание следующих основных электроприемников: устройств РЗА; устройств управления и приводов высоковольтных выключателей; устройств сигнализации; устройств противоаварийной автоматики; устройств коммерческого учета электроэнергии; устройств связи, обеспечивающих передачу сигналов РЗА; приводов автоматических вводных и секционных выключателей щитов собственных нужд (ЩСН) напряжением 0,4 кВ.

Все перечисленные требования обуславливают необходимость пересмотра требований как к схемным решениям СОПТ, так и к выбору оборудования СОПТ. Рассмотрим некоторые из решений, позволяющих значительно повысить надежность работы подстанции.

Так, снижение токов кратковременной нагрузки на новых подстанциях позволило отказаться от дополнительных элементов в аккумуляторной батарее. В свою очередь, увеличение числа данных элементов в используемых вариантах СОПТ было необходимо для обеспечения срабатывания соленоидов включения масляных баковых выключателей.

На замену автоматических выключателей для защиты от сверхтоков в современных СОПТ новый Стандарт [4] рекомендует к использованию комбинированные аппараты, объединяющие функции предохранителя, выключателя и разъединителя.

Получают распространение зарядные устройства СОПТ с программируемыми режимами заряда, автоматизированными системами контроля изоляции и поиска заземленной фазы. На современных подстанциях используются полупроводниковые преобразователи, они осуществляют тройное преобразование тока. На первом этапе переменный ток выпрямляется, полученный постоянный ток преобразуется в переменный ток высокой частоты, далее этот ток выпрямляется. Одно из преимуществ такой системы перед классическими тиристорными зарядными устройствами (ЗУ) является наработка на отказ таких высокочастотных или импульсных ЗУ около 150 тысяч ч.

В большинстве стран, включая Россию, в системе ОПТ преимущественно используют свинцово-кислотные аккумуляторы. Согласно требованиям, предъявляемым современным электростанциям и подстанциям, наиболее предпочтительными являются аккумуляторы с поверхностными электродами, изготовленными по технологии GroE.

Таким образом, медленный технический прогресс в области СОПТ сдерживает формирование спроса на инновационные технические решения и современное электрооборудование для СОПТ.

## Литература

1. Бударгин О.М. Умная сеть – платформа развития инновационной экономики» [Электронный ресурс]. URL: [http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad\\_Budargin.pdf](http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution/innovations/Presentation/Doklad_Budargin.pdf) (дата обращения: 21.01.2020).

2. Ерцкина Д.А. К вопросу об интеллектуальных электрических сетях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. Т. 13, № 3. С. 36–38.

3. Гуревич В.И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? // Электротехнический рынок. 2010. Т. 36, № 6. С. 62–66.

4. СТО 56947007-29.120.40.041-2010. Системы оперативного постоянного тока подстанций. Технические требования. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. 21 с.

## ЗАЩИТА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Фарукова Д.И.<sup>1</sup>, Семенов М.Н.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>dfarukova@gmail.ru, <sup>2</sup>maxim.snt@inbox.ru

Науч. рук. Сиразутдинов Ф.Р.

Рассмотрен механизм возникновения геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), представляющих опасность для трансформатора. Определен перечень его возможных повреждений от воздействия геомагнитных возмущений. Предложена имитационная модель данного процесса в среде Matlab/Simulink. Представлены результаты моделирования электрической сети 110 кВ с двумя трансформаторами с глухозаземленной нейтралью.

**Ключевые слова:** модель, защита трансформатора, геомагнитные возмущения, глухозаземленная нейтраль, квазипостоянный ток.

В системах электроснабжения для передачи энергии на большие расстояния используются воздушные линии электропередач. Во время такого явления, как геомагнитные бури, в разнесенных точках поверхности Земли наводятся разности потенциалов, под действием них возникает геомагнитно-индуцированный ток (ГИТ). Данный ток в основном проникает в систему именно через линии электропередач, которые, в свою очередь, соединены с землей через выводы обмоток трансформаторов, нейтрали которых заземлены [1].

Эффективность проникновения ГИТ через линии электропередач и соответственно влияние геомагнитного возмущения определяются многими факторами, например: местонахождением относительно полярного круга, протяженностью и ориентацией относительно сторон света [2]. ГИТ определяет особые условия окружающей среды, которые непосредственно влияют на надежность работы подстанции. Несмотря на это, данный фактор в России никак не учитывается при проектировании системообразующих подстанций. Механизм проникновения и направления протекания ГИТ проиллюстрирован на рис. 1.

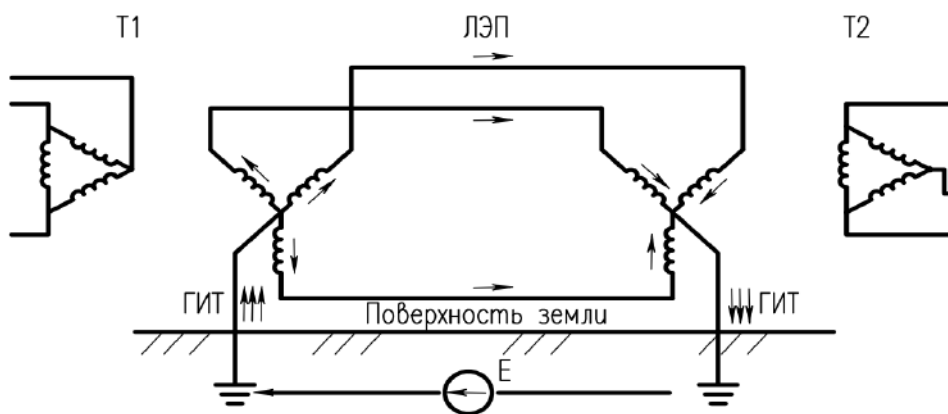


Рис. 1. Механизм проникновения и направления протекания ГИТ

Специалистами американской компании Metatech был произведен расчет на поверхности Земли тех областей, что подвержены данному влиянию. Результат расчета отражен на рис. 2. По данному рисунку можно сделать вывод, что большая часть нашей страны расположена в зоне влияния, а значит, есть необходимость применения защит трансформатора от данного типа воздействий.



Рис. 2. Области риска воздействия ГИТ

Частота геомагнитно-индуцированных токов достаточно мала и равна  $0,001 \div 1$  Гц [3]. Поэтому можно принять работу данной сети эквивалентной работе сети постоянного тока (амплитуда ГИТ  $\approx 300$  А). Тогда квазипостоянный ток, протекая в протяженной электрической сети с глухозаземленной нейтралью, приводит к смещению кривой намагничивания трансформатора, к переходу трансформатора в нелинейный режим работы, что влечет за собой увеличение высших гармоник в фазных токах (рис. 3).

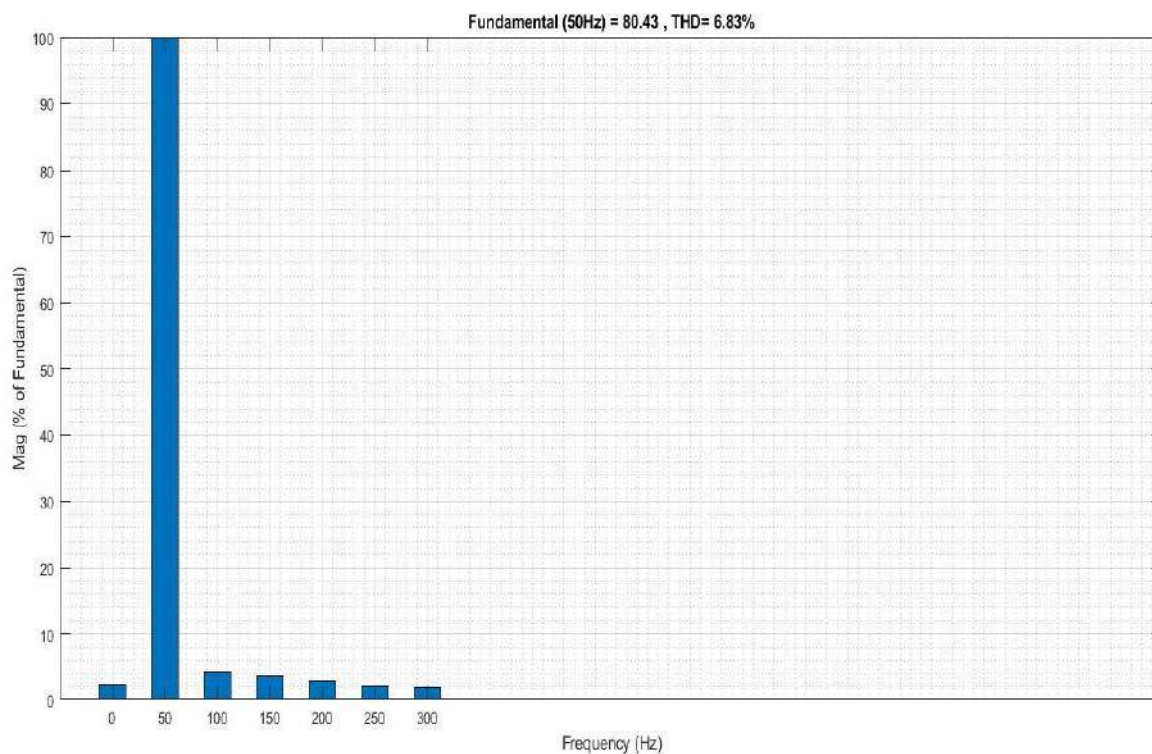


Рис. 3. Появления высших гармоник при геомагнитных возмущениях

В результате ухудшаются электродинамические параметры диэлектриков, входящих в состав трансформаторов, возникают локальные перегревы, пробой и даже выходы из строя (известны многочисленные примеры катастрофических последствий). В процессе изучения данной темы в среде Matlab/Simulink был смоделирован процесс появления высших гармоник при геомагнитных возмущениях.

## Литература

1. Воздействие импульсных возмущений геомагнитного поля на рост геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач / В.Б. Балаховский [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т. 5, № 9. С. 36–44.
2. Инструментальные наблюдения аномальных геомагнитных возмущений, наведенных в геосферах / Л.Е. Собисевич [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. 2014. Т. 6, № 184. С. 30–39 (Сер. «Естественные науки»).
3. Селиванов В.Н., Сахаров Я.А., Ефимов Б.В. Оценка влияния геоиндуцированных токов на силовые трансформаторы магистральных электрических сетей // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. Т. 5, № 13. С. 97–107.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ЛЭП, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ДАЛЬНЕЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

Хакимов Н.Ф.<sup>1</sup>, Фахрутдинов Р.Р.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>niyazhakimov97@mail.ru<sup>1</sup>, <sup>2</sup>fahrutdinovrr@ker-eng.com

Науч. рук. Гавриленко А.Н.

Рассмотрены способы повышения чувствительности дистанционных защит линий. Рассмотрена проблема обеспечения селективного отключения при сложно определяемых коротких замыканиях (КЗ) в силовых трансформаторах и на стороне низкого напряжения ответвительных подстанций.

**Ключевые слова:** короткое замыкание, линия электропередачи, дистанционная защита, дальнейшее резервирование, ответвительная подстанция, силовой трансформатор.

На текущий момент, несмотря на перевод отечественной энергетики на путь инновационного и энергоэффективного развития, в российской электроэнергетической системе (ЭЭС), в том числе на ответвительных и проходных подстанциях, остается высокая доля изношенного, морально устаревшего оборудования. А значит, дальнейшее резервирование (ДР) должно быть достаточно эффективным, то есть потери в результате его функционирования (срабатывания и несрабатывания) должны быть незначительными.

В целях увеличения эффективности дальнего резервирования при межфазных коротких замыканиях на линиях электропередачи 110–220 кВ в большинстве случаев применяются дистанционные защиты. Надо сказать, что в большинстве случаев релейные защиты (РЗ) дальнего резервирования ВЛ с ответвительными или проходными подстанциями, а в отдельных случаях и защиты ближнего резервирования не обладают необходимой чувствительностью. Хотелось бы отметить, что наличие ближнего резервирования не исключает необходимости в дальнем резервировании на случай отказа коммутационного оборудования отпаяк. К тому же дальнейшее резервирование экономически более выгодно ближнего, особенно для линий с большим числом ответвлений.

На чувствительность резервных ступеней дистанционных защит при коротких замыканиях за трансформаторами понизительных и ответвительных подстанций с группой соединения обмоток «звезда-треугольник» (Y/Δ) оказывает влияние большое количество факторов, основными из которых являются:

- значительные токи нагрузки и емкостные токи линии;
- наличие батарей конденсаторов;
- согласование с линейными защитами и защитами, установленными на ответвлениях;
- переходное сопротивление в месте повреждения;
- на некоторых линиях задача осложнена наличием двигательной нагрузки;
- режимы множественной продольно-поперечной несимметрии (ППН).

Повышение эффективности может быть достигнуто за счет адаптации защиты к изменению состояния объекта в нормальном и аварийном режимах, а также контролированием симметричных составляющих и их аргументов, ортогональных составляющих сопротивлений (токов), аварийных составляющих сопротивлений (токов), параметров по концам защищаемого объекта.

Из этого следует, для уменьшения объема повреждений электрооборудования и его неселективного отключения в аварийных режимах на воздушных линиях с понизительными подстанциями необходима установка специальной релейной защиты, учитывающей все вышеперечисленные факторы. Для этого можно использовать шкаф дистанционной и токовой защит линии с возможностью дальнего резервирования типа ШЭ2607 025 производства ООО НПП «ЭКРА». К тому же выполнение ЗДР в виде дополнительной функции в шкафах ступенчатых защит линии серии ШЭ2607 позволяет одновременно с модернизацией ЗДР выполнить замену традиционных защит тупиковых линий на микропроцессорные.

## Литература

1. Нагай И.В., Нагай В.В. Проблемы и решения дальнего резервирования трансформаторов ответвительных и промежуточных подстанций // Релейщик. 2009. № 4. С. 30–35.
2. Васильев Д.С. Высокочувствительная защита дальнего резервирования линий электропередачи // Энергетик. 2008. № 12. С. 5–7.
3. Нагай В.И., Маруда И.Ф., Нагай В.В. Резервирование релейной защиты и коммутационных аппаратов электрических распределительных сетей. Ростов-н/Д: Известия вузов. Северо-Кавказский регион, 2009. 315 с.
4. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35–330 кВ. М.: Энергия, 1968. 16 с.
5. Расчёт параметров настройки защиты дальнего резервирования линий 110–220 кВ с односторонним питанием на базе микропроцессорных устройств: метод. указания. Чебоксары: ООО НПП «ЭКРА», 2015.



6. Многомерная релейная защита / Ю.Я. Лямец [и др.] // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Москва, 2009. С. 105–112.

7. Журавлев Д.П. Особенности работы логической схемы защиты дальнего резервирования // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. Спец. выпуск «Диагностика энергооборудования». 2010. С. 80–82.

УДК 621-316.13

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА УСТАНОВКИ РЕКЛОУЗЕРОВ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Хаков Л.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

khakovli@yandex.ru

Науч. рук. Р.Ф. Ярыш

Описано нынешнее состояние распределительных сетей, также рассмотрены тенденции к модернизации и предложено использовать генетический алгоритм для поиска мест установки реклоузеров в распределительных сетях – одной из самых динамично развивающихся отраслей в электроэнергетике, подвергаемая в последнее время усиленной «интеллектуализации».

**Ключевые слова:** оптимизация, генетический алгоритм, распределительные сети, реклоузер.

Экономические условия функционирования распределительных электрических сетей в последние десятилетия привели к огромному снижению темпов их реконструкции, технического перевооружения и нового строительства. Вследствие этого возросла динамика физического износа сетевых объектов, что, в свою очередь, привело к росту отключений в распределительных сетях напряжением 6–10 кВ в среднем 56 отключений в год в расчете на 100 км длины воздушных линий [1, 2]. Известно, что 80 % повреждений возникают в воздушных распределительных сетях, и если на линии случилось повреждение, то электроснабжение теряют потребители целого фидера. Из-за невозможности

достоверно определить и локализовать место повреждения длительность отключения может достигать нескольких часов, а иногда и суток. Поиск поврежденного участка и последующее выделение его производится силами оперативно-выездных бригад, с привлечением огромного числа людей и техники.

Зачастую проблема надежности в распределительных сетях решалась за счет разукрупнения линий с сооружением новых подстанций, а также строительством новых линий, разукрупняющих существующие. Этот способ достаточно эффективен технически, однако требует значительных капитальных затрат на этапе строительства и текущих расходов на этапе эксплуатации.

В этих условиях актуальной является задача повышения надежности распределительных электрических сетей 6–10 кВ при их реконструкции с минимизацией затрат на осуществление этих мероприятий. При этом важно учитывать, что надежность распределительных электрических сетей достигается не только использованием современных конструктивных решений, но и возможностями управления ею в ремонтных режимах и в режимах, наступающих после возникновения устойчивых повреждений, что может быть достигнуто применением автоматического секционирования и резервирования ВЛ 6–10 кВ.

Децентрализованный (автоматический) подход к управлению аварийными режимами обеспечивает полную независимость работы пунктов секционирования от внешнего управления. Каждый отдельный аппарат, являясь интеллектуальным устройством, анализирует режимы работы электрической сети и автоматически производит локализацию места повреждения и восстановление электроснабжения потребителей неповрежденных участков сети.

Реклоузеры в последние годы набирают особую популярность в связи с рядом достоинств:

- необслуживаемость в течении всего срока эксплуатации;
- встроенная логика сетевой автоматики (АПВ, АВР);
- увеличение наблюдаемости сетей (GSM);
- уменьшение времени поиска повреждений.

Также следует отметить о снижении стоимости реклоузеров за последнее десятилетие, в связи с чем автоматизация распределительных сетей становится экономически обоснованным как в промышленных районах, так и в сельской местности.

Согласно правилам устройства электроустановок, потребители электроэнергии делятся по трем категориям надёжности [3]. Однако за рубежом используют другие критерии, которые начинают применять и в нашей стране. Компании, отвечающие за распределение электрической энергии, энергосбытовые и энергоснабжающие компании измеряют индексы надёжности IEEE. Основным используемым индексом является SAIFI (индекс средней частоты отключений по системе), который определяется отношением общего числа отключенных потребителей электроэнергии, потерявших питание от длительных внеплановых нарушений электроснабжения, к общему числу подключенных потребителей электроэнергии за рассматриваемый отчетный период времени.

Однако, в виду большого разнообразия сетей среднего класса напряжения и их древовидной структуры, проблематично выбирать оптимальные места и количество устанавливаемых реклоузеров. При полном переборе в протяженной распределительной сети с большим количеством узлов расчёт и выбор занимает большие ресурсы человеко-часов, даже при использовании программных комплексов для расчёта режимов. Из-за этого фактора предлагается использовать генетический алгоритм, который хоть и не гарантирует абсолютной оптимизации, но предлагает сведение показателей к необходимым минимумам с минимальными трудозатратами. Алгоритм выполняет выбор мест и рассчитывает показатель SAIFI в автоматическом режиме.

Генетический алгоритм создает некоторое количество первоначальных решений – популяций, среди которых может быть много решений, приближенных к локальным минимумам функции, а также к глобальному минимуму. Далее происходит отбор лучших индивидов, характеристики которых ближе к требуемым, последующее скрещивание индивидов и формирование следующего поколения решений. Далее всё повторяется, пока не найдётся оптимальное решение или не пройдёт определенное количество итераций, так называемое условие завершения алгоритма.

Хоть генетические алгоритмы и не гарантируют 100 % сходимости к глобальному минимуму, но стремятся к нему, возможно произвести несколько повторений для проверки, что в конечном итоге всё равно оказывается удобнее полного перебора всех возможных решений.

## Литература

1. Боков Г.И. Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? [Электронный ресурс] // Новости электротехники. 2012. № 2 (14). URL: <http://news.elteh.ru/arh/2002/14/03.php> (дата обращения: 11.02.2020).
2. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике / Н.И. Воропай [и др.]. М.: ООО ИД «Энергия», 2013. 212 с.
3. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 11.02.2020).
4. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учеб.-метод. пособие / под ред. Ю.Ю. Тарасевича. Астрахань: ИД «Астраханский университет», 2007. 87 с.

УДК 621.316

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ИЗОЛИРОВАННУЮ РАБОТУ

Хасаншин А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[khasanshin.aa@mail.ru](mailto:khasanshin.aa@mail.ru)

Науч. рук. Писковацкий Ю.В.

Предложены технические мероприятия, позволяющие выделять объект малой генерации на изолированную работу, что позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей. Создана модель района, прилегающего к объекту малой генерации. Представлены результаты расчета динамической устойчивости генерирующего оборудования и показа эффективности установки предлагаемой автоматики

**Ключевые слова:** малая генерация, модель, электроснабжение, надежность, режим, автоматика.

В последние годы прослеживается тенденция развития распределенной генерации на территории России. Так как средний возраст крупных станций составляет более 30 лет, острее встает вопрос о модернизации генерирующих мощностей. Однако объемы реконструкций можно

значительно снизить с помощью ввода распределенной генерации. Помимо этого, одной из важнейших причин ввода генераторов малой мощности является экономия затрат предприятий на энергообеспечение собственного производства.

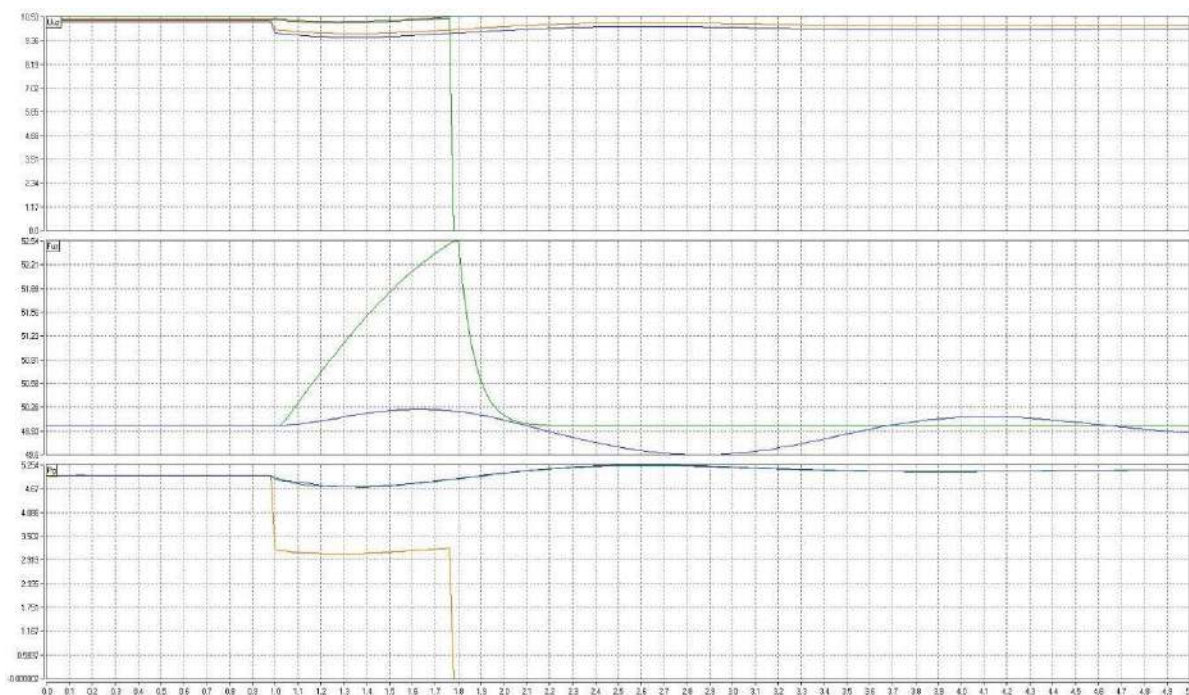
При работе малой генерации возможны несколько режимов работы: параллельно с сетью и изолированно от энергосистемы. Для обеспечения надёжности электроснабжения переключения между параллельной и изолированной работой генерации должны происходить без перерыва электроснабжения. При потере питания от энергосистемы генераторы малой мощности должны обеспечивать бесперебойное снабжение электроэнергией. Однако при обычном выделении генерации на изолированную работу без применения специальных технических решений возможно нарушение динамической устойчивости генераторов и, как следствие, отключение питания.

Изучение данного вопроса проводилось на модели, созданной в программном комплексе «Диалоговый автоматизированный комплекс программ анализа режимов работы энергосистем» (ПК «ДАКАР»). Объект малой генерации подключен к шинам 10 кВ подстанции 110 кВ. Питание ПС 110 кВ осуществляется по двум линиям 110 кВ. При условии аварийного отключения одной из линий в ремонтной схеме второй линии происходит прекращение электроснабжения всей ПС 110 кВ. Для исключения потери питания рассматривается выделение малой генерации на нагрузку ПС 110 кВ.

В результате расчетов динамической устойчивости для режимов выделения объекта малой генерации на сеть 10 кВ ПС 110 кВ без применения специальных технических решений было выявлено, что ввиду значительного превышения объемом генерируемой мощности объема потребления нагрузки происходит отключение генераторов технологическими защитами по превышению заданных уставок частоты. Временные характеристики изменения напряжения, частоты на секциях 10 кВ ПС 110 кВ и активной мощности генераторов представлены на рисунке.

Для возможности выделения малой генерации на изолированную работу при условии аварийного прекращения электроснабжения ПС 110 кВ от внешней сети 110 кВ рассмотрена установка комплектов АОПЧ с настройкой, представленной в таблице.

Также на всех ступенях рассматривалась дополнительная уставка по контролю скорости изменения частоты с уставкой 1 Гц/с по схеме логического «И» с основной уставкой срабатывания.



Временные диаграммы: *a* – напряжение в узлах 10 кВ; *б* – частота в узлах 10 кВ; *в* – активная мощность генераторов

### Предлагаемые уставки срабатывания комплекта АОПЧ

Место контроля	Номер ступени	Уставка срабатывания, Гц	Выдержка времени, с	Действие
Т-1 сторона 10 кВ	1	50,5	0	Отключение Г-1
	2	51	0,2	Отключение Г-2
Т-2 сторона 10 кВ	1	50,5	0	Отключение Г-4
	2	51	0,2	Отключение Г-3

Предложенные технические решения позволяют практически во всех возможных вариантах схемно-балансовой ситуации выделять генераторы на сеть 10 кВ ПС 110 кВ без контроля баланса генерации и нагрузки ПС 110 кВ. Поддержание стабильного электроснабжения существенно повышает надежность все энергосистемы.

Дополнительно рассмотрен режим выделения генерации на предварительно сбалансированную нагрузку. Результаты расчета показали, что выделение возможно даже без применения специальных технических мероприятий.

Таким образом, проведены расчёты с целью определения возможного отклонения значения потребляемой нагрузки от нулевого сальдо, при котором возможно выделение генераторов на изолированную работу. Полученное значение находится в пределах от  $-7$  до  $+10$  %, то есть значение потребляемой нагрузки ПС 110 кВ может быть на 7 % меньше или на 10 % больше значения вырабатываемой мощности объекта малой генерации для возможности выделения на изолированную работу.

### Литература

1. Самойленко В.О., Ерошенко С.А., Паздерин А.В. Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии : сб. докл. 5-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках специализир. форума «Ехро Build Russia». Екатеринбург, 2016. С. 45–47.

2. Проблемы подключения и эксплуатации малой генерации [Электронный ресурс]: семинар. URL: [http://cigre.ru/activity/conference/seminar\\_sb/](http://cigre.ru/activity/conference/seminar_sb/) (дата обращения: 30.01.2020).

3. Ньюшлосс Дж., Ряпин И.Ю. Тенденции развития распределенной генерации // Энергосбережение. 2012. № 7. С. 18–25.

4. Илюшин П.В. Проблемные технические вопросы работы объектов распределенной генерации в составе энергосистемы и подходы к их решению // Энергоэксперт. 2015. № 1. С. 58–62.

5. Кейко А.В. Становление прогнозных технологических исследований в энергетике // Системные исследования в энергетике. Ретроспектива научных направлений СЭИ–ИСЭМ: монография / отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2010. С. 127–146.

6. Стенников В.А., Воропай Н.И. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция [Электронный ресурс]. URL: [http://energystrategy.ru/projects/Energy\\_21/4-2.pdf](http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4-2.pdf) (дата обращения: 30.01.2020).

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Шакиров М. М.<sup>1</sup>, Сабанаев И. И.<sup>2</sup>, Мустафин Р.Г.<sup>3</sup>, Ярыш Р.Ф.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>mikhail2307@yandex.ru@.ru, <sup>2</sup>sabanaev424@mail.ru

Науч. рук. Гавриленко А. Н.

Представлена концепция внедрения технологий автоматизированной системы мониторинга и технического диагностирования на подстанциях. Рассмотрены основные условия реализации системы прогнозной диагностики. Перечислены эффекты от внедрения системы. Оснащение оборудованием диагностирования даст возможность осуществить переход от графика ППР на ремонт оборудования по состоянию.

**Ключевые слова:** автоматизация, диагностика, электроэнергетика, моделирование, оценка состояния, программно-технический комплекс.

В последние годы произошли изменения, заставляющие пересматривать требования к объектам электроэнергетики. Износ оборудования требует дополнительных денежных вложений для модернизации электрических мощностей. Увеличение спроса на электроэнергию в связи с развитием электротранспорта, цифрового производства, телекоммуникационной индустрии и т. п. предъявляют более высокие требования к надежности и качеству услуг в области энергетики.

В настоящее время широкое применение АСМД (автоматизированная система мониторинга и технического диагностирования) является одним из важных качественных скачков в развитии отрасли. Однако во многих случаях существующие АСМД выполняют функцию индикатора или сигнализатора, но не средства технического диагностирования. АСМД индикаторного типа существенно дешевле, но и эффективность их использования ниже, чем в случае АСМД, которые способны выполнять техническое диагностирование [1].

Современные мировые тенденции развития технического диагностирования электросетевого оборудования предполагают преимущественное ориентирование на проведение диагностирования под рабочим напряжением без отключения оборудования. Для этого необходимо активное внедрение в электроэнергетику АСМД [2].

АСМД оборудования предлагает автоматизацию операций по следующим критериям:

– сбор и анализ параметров работы электрического оборудования на ПС;



- оповещение оперативного персонала ПС о возникновении аварийных режимов работы электрооборудования;
- долгосрочное хранение и представление данных АСМД ПС в едином центре обработки информации;
- экспертно-аналитическая обработка данных АСМД для проведения оценки технического состояния электрооборудования;
- дополнительные рекомендации по обслуживанию оборудования.

Прикладными пользователями АСМД оборудования ПС на разных уровнях технологического управления могут являться:

- оперативный персонал ПС;
- служба диагностики на уровне филиалов и исполнительного аппарата;
- руководящие сотрудники на уровне филиалов и исполнительного аппарата.

Эксплуатирующим и обеспечивающим персоналом АСМД оборудования ПС на всех уровнях технологического управления являются:

- специалисты службы ССПИ, АСДУ и СДТУ;
- метрологи;
- персонал, обслуживающий силовое оборудование [3].

Для реализации прогнозной диагностики необходим достаточный уровень автоматизации оборудования, а также оснащение этого оборудования определенными диагностическими датчиками.

Система реализована в виде трехуровневой модели с помощью современного программно-технического оборудования, реализующего основные информационные функции.

Трехуровневая модель имеет следующее функциональное разделение:

Уровень I (нижний уровень) – первичные датчики, приборы и измерительные системы (маслоанализаторы, датчики температуры и т. п.), предназначенные для измерения первичных технологических параметров состояния электрического оборудования с разного рода интерфейсами и протоколами.

Уровень II (средний уровень) – преобразование первичных сигналов от датчиков электрического оборудования.

Уровень III (верхний уровень):

- серверные функции – обмен информацией с устройствами среднего уровня, консолидация, хранение, анализ полученных данных, интегрирование в другие автоматизированные системы энергообъекта;
- функции операторской станции – наблюдение за состоянием контролируемых и рассчитываемых характеристик электрического оборудования, оповещение сигналов срабатывания аварийной и предупредительной сигнализации.

Эффекты от внедрения системы:

- заблаговременное выявление незначительных отклонений в работе оборудования, которое убережет последнее от серьезных поломок и простоя;
- снижение риска выхода из строя узлов и агрегатов благодаря упреждающей диагностике;
- заблаговременное оповещение оперативного персонала о потенциальной угрозе критической поломки оборудования;
- сокращение времени незапланированного простоя оборудования, связанного с его внезапной поломкой за счет раннего предупреждения и своевременного заказа запасных частей [4].

## Литература

1. Посупонько Н.В. Автоматизированные системы контроля, диагностики и прогнозирования: учеб. пособие. Ростов-н/Д, 2008. 79 с.
2. Дарьян Л.А. Автоматизированная система мониторинга и диагностики оборудования подстанции: общие технические требования // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 1 (28). С. 82–88.
3. СТО 56947007-29.240.35.270-2019. Автоматизированная система мониторинга и технического диагностирования КРУЭ. Общие технические требования. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2019. 39 с.
4. СТО РусГидро 02.02.106-2019. Гидроагрегаты. Автоматизированный мониторинг и диагностирование. Функциональные и технические требования. М.: ПАО «РУСГИДРО», 2019. 65 с.

УДК 621.311.25

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОНДЕНСАТОРОВ СВЯЗИ

Шафигуллин М.И.<sup>1</sup>; Сибгатуллин М.Ф.<sup>2</sup>, Таначев Г.П.<sup>3</sup>.

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>shafigullin.marat97@gmail.com; <sup>2</sup>prof9797@inbox.ru; <sup>3</sup>Egor-tanachev@mail.ru

Науч. рук. Мустафин Р.Г.

Описан принцип работы системы мониторинга контроля конденсаторов связи, необходимого для определения начала процесса их разрушения и формирования соответствующего сигнала о начале и развитии этого процесса в режиме текущего времени.

**Ключевые слова:** конденсатор связи, высокочастотная связь, надежность работы высокочастотного тракта.

Необходимость диагностирования состояния конденсаторов связи (КС) в режиме реального времени для надежной и безопасной эксплуатации аппаратуры уплотнения обусловлена тем, что процесс, ведущий к выходу КС из строя, развивается постепенно и имеет долговременный характер, к тому же профилактические испытания конденсаторов связи проводится один раз в три года, это не гарантирует их долгосрочную работу.

Процесс разрушения батареи начинается с пробоя одной секции, что влечет за собой ее закорачивание и увеличение общей емкости всей батареи. Через некоторый промежуток времени происходит пробой следующей секции, затем еще одной, после чего процесс разрушения принимает лавинообразный характер.

Возможные разрушения конденсатора связи, как правило, сопровождаются аварийным отключением линии электропередач и являются очень опасными для находящегося в это время на объекте персонала и рядом установленного оборудования, так как при взрыве происходит выброс фарфоровой изоляции на территории распределительного устройства, что может привести к травматизму персонала или нанести повреждение рядом установленного оборудования.

Автоматическая система мониторинга состояния конденсаторов связи основана на измерении ёмкости каждого установленного на энергообъекте конденсатора связи в режиме реального времени. Основой системы мониторинга является датчик ёмкости конденсатора связи (ДКС), который встраивается в фильтр присоединения (ФП) и производит замер тока, увеличение которого свидетельствует об увеличении емкости конденсатора связи (рис. 1). ДКС устанавливается в цепь между нижней обкладкой конденсатора связи и ФП. Датчик работает следующим образом: при протекании через первичную обмотку трансформатора  $T1$  ДКС тока промышленной частоты, обусловленного реактивным сопротивлением КС (сопротивлением ФП можно пренебречь, так как токи промышленной частоты, проходят через воздушный трансформатор ФП в землю, минуя аппаратуру ВЧ постов, т. е.  $Z_{ФП} \ll Z_{КС}$ ), между ее выводами образуется напряжение, обусловленное ее сопротивлением току промышленной частоты, которое трансформируется на вторичную обмотку трансформатора  $T1$  ДКС. Переменное напряжение вторичной обмотки трансформатора  $T1$  выпрямляется диодным мостом  $VD1$ , и в виде сигнала «активная токовая петля 4–20 мА» выдается на выходной разъем  $X2$  ДКС (рис. 2). Сигнал от датчика по соединительным кабелям поступает в контроллер.



Рис. 1. Структурная схема системы контроля конденсаторов связи с использованием датчика контроля конденсатора связи

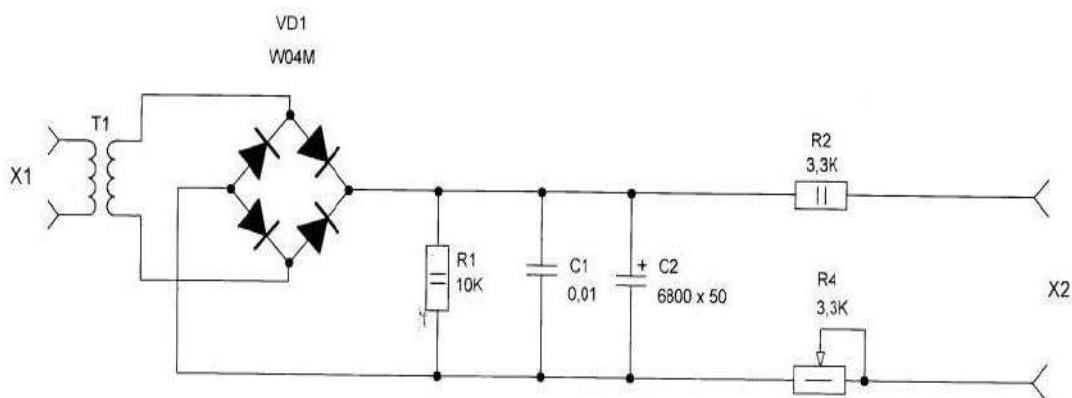


Рис. 2. Принципиальная схема датчика контроля конденсатора связи: X1 – входной разъем; X2 – выходной разъем; T1 – трансформатор; VD1 – диодный мост; R1 – первый резистор; C1, C2 – конденсаторы; R2 – второй резистор; R4 – третий резистор (подстроечный)

Для исключения ошибочных данных, связанных с изменениями наложенного напряжения на конденсатор связи, необходимо осуществлять контроль напряжения на секции шин подстанции. Для этого необходимо встраивать в измерительные цепи трансформатора напряжения секций шин, преобразователь для линейного преобразования входного сигнала напряжения с шин в выходной сигнал постоянного тока и передачи по интерфейсу RS-485 в контроллер. В контроллере выполняется преобразование сигнала и анализ полученной информации, а результат измерений отображается на дисплее контроллера и на АРМ. Также имеется возможность вывода сигнала на предупредительную сигнализацию (звуковую, световую) и подключения к системам регистрации аварийных событий (РАС). Структурная схема мониторинга состояния конденсаторов связи (рис. 3) и пример мнемосхемы с экрана АРМ в EKRASCADA (рис. 4).

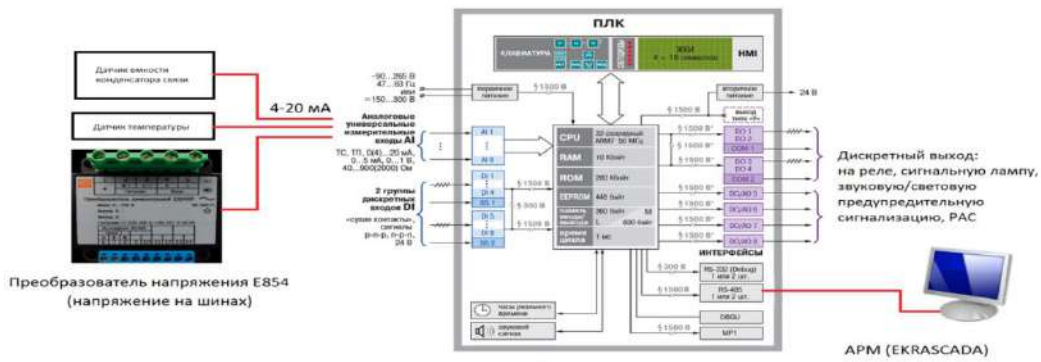


Рис. 3. Структурная схема мониторинга состояния конденсаторов связи

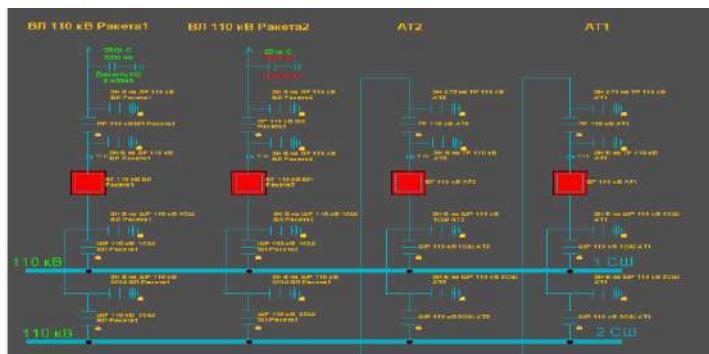


Рис. 4. Экран АРМ в EKRASCADA

## Литература

1. Датчик контроля состояния конденсаторов связи [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/267/2675248.html> (дата обращения: 27.02.2020).
2. Система контроля состояния конденсаторов связи [Электронный ресурс]. URL: <https://findpatent.ru/patent/267/2675250.html> (дата обращения: 27.02.2020).

## Секция 8. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК662.613.12

### МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ

Анисимов А.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aastiran@gmail.com

Науч. рук. Бариева Э.Р.

Рассмотрены перспективные методы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ.

**Ключевые слова:** золошлаковые отходы, переработка ЗШО, рециклинг.

Утилизация золошлаковых отходов является одной из главных экологических проблем тепловых электрических станций. На данный момент количество производимых отходов в год составляет в среднем 20 миллионов тонн, из них на переработку отправляют лишь малую часть, а остальную складывают на золоотвалах. При этом золошлаковые отходы относятся к вторичным минеральным сырьевым ресурсам, пригодным для производства различной продукции [1].

На данный момент существует пять основных направлений переработки золошлаковых отходов (ЗШО):

- 1) строительные материалы;
- 2) дорожное строительство;
- 3) производство различных наполнителей;
- 4) извлечение драгоценных и черных металлов [2].

Использование ЗШО в качестве строительного материала получила самое большое распространение. Один из способов добавление в состав бетона зол и шлаков приводит к изменению качества цементной смеси. Наличие их в наиболее ходовой марке портландцемента (ПЦ-400) в количестве от 25 до 30 % приводит к увеличению прочности конечного изделия и уменьшению использования песчаного материала до 25 % [3].

Добавка золошлаковых отходов при изготовлении керамического кирпича является одним из способов вторичного использования. Изделия с добавлением ЗШО, согласно требованиям ГОСТ 530-95, соответствуют на сжатие не ниже марки М 125, а на изгиб – не ниже марки М 300. Нужно отметить, что при их введении уменьшается плотность огневой усадки, в связи с этим наблюдается уменьшение брака [4].

При укладывании дорожного покрытия добавление ЗШО в молотом состоянии в количестве до 30 % позволяет увеличить прочность и морозостойкость дороги. Главным минусом данного метода является более долгое структурообразование вместо 28 до 90 суток [5].

Один из перспективных способов утилизации ЗШО использование их в создании искусственных пористых наполнителей для строительства, например, аглопорит, который по сравнению с керамзитом он прочнее и дешевле. Так как потребность в нем составляет несколько миллионов тонн в год, то его замена на аглопорит позволит уменьшить количество ЗШО на золотвалах в соответствующем количестве [6].

Исследования показали, что в состав ЗШО могут входить следующие ценные и полезные компоненты, среди них: золото платиновой группы, железосодержащий магнитный концентрат, алюмосиликатные полые микросферы и возможно редкоземельные металлы в особо малых количествах. Метод разбит на несколько этапов:

- 1) фракционное разделение;
- 2) измельчение сырья;
- 3) комплексное извлечение нужных элементов с помощью сочетания гравитационного, электромагнитного, вибрационного и ультразвукового воздействий.

На выходе остается концентрат из разного рода металлов, который потом поступает на дополнительную химическую обработку [7].

Рециклинг золошлаковых отходов снизит нагрузку на окружающую среду.

## Литература

1. Изучение минералогического состава золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 / Э.Р. Бариева [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2004. № 11-12. С. 138.

2. Золошлаковые отходы. Ч. 2. Экономическая выгода переработки [Электронный ресурс]. URL: <http://ect-center.com/blog/zoloshlakovie-othody-2> (дата обращения: 12.02.2020).

3. Бариева Э.Р., Агаева А.И., Королев Э.А. Использование золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 в строительной промышленности // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 7. С. 44–45.

4. Бариева Э.Р., Королёв Э.А. Влияние золошлаковых добавок на процессы изготовления керамического кирпича // Безопасность жизнедеятельности. 2015. № 4 (172). С. 44–47.

5. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н.И. Ватин [и др.] // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4 (22). С. 16–21.

6. Малыхин Р.Н. Применение золошлаковых отходов в дорожном строительстве Кузбасса // Молодой ученый. 2019. № 15. С. 41–44.

7. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ г. Хабаровск и Биробиджан / Л.Н. Алексейко [и др.] // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2016. № 1 (17). С. 22–34.

УДК 66.067.1

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Аракчеева М.Н.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Kchkinam93@gmail.com

Науч. рук. Бариева Э.Р.

Предложена замена сетчатых фильтров грубой очистки с ручной промывкой на дисковый фильтр с автоматической промывкой дисковых элементов для улучшения показателей качества воды и уменьшения объема сброса сточных вод на предприятии химической промышленности, а также замена центробежного насоса с завышенными параметрами на насос такой же производительности, но с меньшей мощностью для уменьшения затрат энергопотребления.

**Ключевые слова:** сетчатый фильтр грубой очистки, дисковый фильтр, фильтрация, качество фильтрации, центробежный насос, энергопотребление, водопотребление.

Водоподготовка – это процесс технологической обработки и очистки воды с целью нормирования ее качества и доведения до требуемых показателей.

Процесс водоподготовки на химическом производстве состоит из следующих стадий:

- удаление ржавчины, песка и других механических примесей;
- фильтрация и обезжелезивание воды;
- окончательная очистка воды на технологический процесс.



Со скважины вода насосом поступает в емкость для приема воды. После заполнения емкости вода подается на три сетчатых фильтра грубой очистки. Их задача подготовить воду перед ее прохождением через фильтр тонкой очистки и обезжелезивания. Фильтры грубой очистки очищают воду от нерастворенных частиц, удаляют ржавчину, песок и другие механические примеси [1].

После прохождения фильтров грубой очистки вода подается на установки фильтрации и обезжелезивания. Работа фильтров основана на принципе объемного фильтрования воды. Пройдя установку фильтрации и обезжелезивания, вода поступает на обратноосмотическую мембрану, где происходит основная очистка воды. Очищение воды происходит при фильтровании через несколько искусственных пористых мембран, изготовленных из синтетических материалов, скрученных рулоном. На выходе из установки очищенная вода соответствует нормативным требованиям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

#### Регламентируемые показатели качества воды

Показатели	Норматив
Внешний вид	Прозрачная бесцветная жидкость
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не менее	0,999...1,000
рН при 20 °С, в пределах	5,40...6,00
Содержание иона Са, мг/дм <sup>3</sup> , не более	10,0
Содержание НСО <sub>3</sub> , мг/ дм <sup>3</sup> , не более	50,0

Однако при водоподготовке происходит частая остановка оборудования для промывки фильтров грубой очистки. Для решения данной проблемы предлагается произвести замену сетчатого фильтра грубой очистки с ручной промывкой на дисковые фильтры с автоматической промывкой дисковых элементов. В системе с автоматической промывкой процесс осуществляется без разбора корпуса фильтра. Это делает процесс очистки непрерывным, уменьшается расход воды на промывку фильтров, снижается энергопотребление. В результате этого увеличивается производительность и качество фильтрации. Сравнительный анализ эффективности водоподготовки с разными фильтрами грубой очистки приведен в табл. 2 [2].

## Сравнительный анализ качества водоподготовки

Показатели воды	Показатели воды после очистки сетчатым фильтром	Показатели воды после очистки дисковым фильтром
Внешний вид	Прозрачная жидкость с небольшими включениями	Прозрачная бесцветная жидкость
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не менее	0,999	0,999
Содержание НСО <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup> , не более	36,8	18,6
Содержание иона Са, мг/дм <sup>3</sup> , не более	5,1	3,0
рН, при 20 °С, в пределах	5,92	5,88

На предприятии для транспортировки воды из скважины в емкость накопитель установлен центробежный насос. При требуемом напоре системы, установлен насос с завышенными параметрами относительно требуемым, что приводит к увеличению потребляемой энергии и снижению КПД. Предлагается заменить данный насос на насос с такой же производительностью, но с меньшими значениями напора и мощности электродвигателя. Это поможет снизить затраты на электроэнергию, при этом никак не отобразится на производительности насоса [3].

Данные технические решения позволят сократить расходы на электропотребление и водопотребление, а также улучшить качество очистки воды.

## Литература

1. Орлов Н.С. Промышленное применение мембранных процессов: учеб. пособие. М.: РХТУ им. Менделеева, 2013. 111с.
2. «АкваФрешСистемс» – водоснабжение и система очистки воды [Электронный ресурс]. URL: <https://aquafreshsystems.ru/> (дата обращения: 19.02.2020).
3. Портал ЭнергоСовет.ru – энергосбережение, энергоэффективность, энергосберегающие технологии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energsovet.ru/> (дата обращения: 18.02.2020).

## РЕЦИКЛИНГ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ

Ахметгалиев И.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

ilyas\_ilyas2000@mail.ru

Науч. рук. Бариева Э.Р.

Рассмотрен вопрос утилизации шламовых отходов ТЭЦ и перспективные методы его вторичного использования в строительных и сельскохозяйственных отраслях.

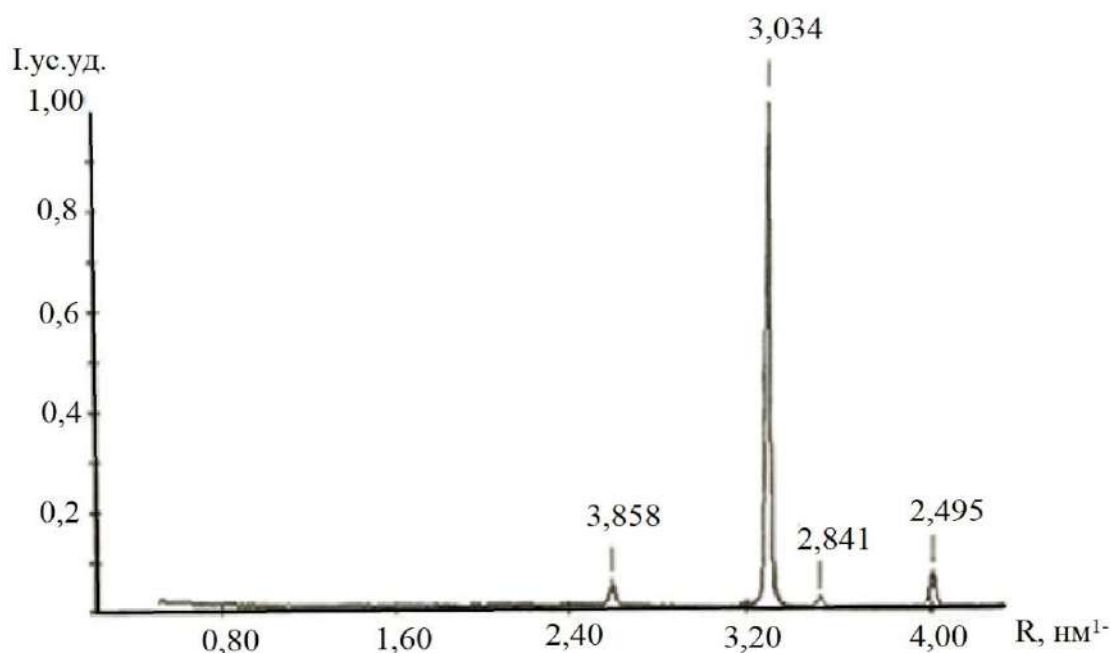
**Ключевые слова:** шламовые отходы, водоподготовка, шламонакопитель, дифрактограмма.

В производственном цикле больших предприятий энергетического комплекса в неотъемлемом порядке присутствует процесс водоподготовки. Сущность этого процесса заключается в удалении из природной воды различных водорастворимых солей, способных образовывать накипь на стенках трубопроводов. Обессоливание воды на большинстве предприятий осуществляется с помощью специальных фильтров, на которых селективно осаждаются те или иные микроэлементы, присутствующие в воде, или же отстаиванием воды в специальных резервуарах, т. е. в шламонакопителях. Побочным продуктом технологии обессоливания является так называемые шламовые отходы, представляющие собой соли извлечённых из воды металлов и реагентов обмывочных жидкостей [1].

Шламовые отходы считаются довольно серьёзной проблемой в цикле производства объектов электроэнергетики, так как зачастую шламонакопители быстро переполняются, и требуется строительство новых. Безусловно, это потребует колоссальных экономических затрат на строительство новых [1].

Сухой шлам обладает высокой дисперсностью. Это обусловлено содержанием 75 % твёрдых частиц в его составе с размерностью 10–25 мкм. По исследованию рентгенографических показателей, видим, что основным компонентом шлама является карбонат кальция –  $\text{CaCO}_3$ . Наличие рыжеватого окраса указывает на наличие в составе небольшого количества примесей, то есть гидроокислов железа. Как видим, на рисунке рентгеновской дифрактограммы нет отражений соединения гидроокисла

железа, значит, они существуют в виде коллоидных размерностей. Из этого делаем вывод, что содержание сухих шламовых остатков – это гидрокарбонат кальция и небольшие примеси гидроокислов железа [1].



Рентгеновская дифрактограмма сухого шлама

Шламовые остатки химводоочистки могут представлять интерес в качестве промышленного сырья для строительной промышленности. Такой шлам можно рекомендовать к использованию в качестве:

- 1) модифицирующей добавки, при изготовлении керамических кирпичей [1];
- 2) минерального эмульгатора, при изготовлении битумной водо-эмульсионной пасты [2];
- 3) универсального пластификатора, при изготовлении шпаклёвочных масс [2].

Карбонатный шлам также может найти активное применение в сельском хозяйстве. Как известно, кислотность почвы является основополагающим фактором урожайности земельного участка. Кислая среда является одной из основных причин упадка плодородия почв. Карбонатный шлам можно использовать в качестве нейтрализатора для кислых почв [3].

Такое использование шламовых отходов поможет уменьшить негативное воздействие на окружающую среду ТЭЦ, и сократить экономические затраты предприятия на строительства новых шламонакопителей.

## Литература

1. Бариева Э.Р., Королёв Э.А. Использование шламовых отходов теплоэнергетики предприятий в производстве керамического кирпича // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2009. № 5-6. С. 111–117.
2. Николаева Л.А., Бородай Е.Н. Ресурсосберегающая технология утилизации шлама водоподготовки на ТЭС: монография. Казань: КГЭУ, 2012. 110 с.
3. Ярославский Н.Е. Полимерные материалы в теплоэнергетике. М.: Энергия, 1981. 215 с.

УДК 504.5

### СНИЖЕНИЕ СТОКОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Валиахметов А.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

azat\_valiakmetov@inbox.ru

Науч. рук. Рустамова А.И.

Статья посвящена изучению методов по снижению негативного воздействия машиностроительной отрасли на окружающую среду путём применения современных методов очистки сточных вод, основанных на сорбционных и ионообменных способностях оксидной ферропульпы.

**Ключевые слова:** очистные сооружения, сброс воды, собственные платежи, гальванохимический метод.

В настоящее время практически все предприятия машиностроительной, электротехнической и других отраслей промышленности включают гальваническое производство. Оно относится к числу наиболее крупных потребителей природных водных ресурсов. Так, до 90 % воды расходуется на промывку деталей после технологических операций, причём удельный расход воды зависит от применяемого оборудования и колеблется в широком диапазоне: от 0,2 до 2,3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> обрабатываемой поверхности.

На сегодняшний день большое количество промышленных объектов оснащено очистными сооружениями, использующимися только с целью доочистки сточных вод до нормальных показателей ПДК (предельно допустимая концентрация) вредных веществ, сбрасываемых в городские канализации, для минимизации негативного воздействия на окружающую среду, однако из-за этого предприятия испытывают ряд экономических потерь, связанных с тем, что вода, сбрасываемая ими, может, как минимум, поступать на иные предприятия, у которых технологический цикл операций при производстве изделий предусматривает возможность использования водных ресурсов с наличием определённого количества примесей, оставшихся вследствие её очистки на предприятии, которое им его отпустило.

Путём данных операций оба предприятия имеют возможность значительно сократить собственные платежи за приобретение и сброс воды у городских водоканалов.

Однако данная работа предусматривает вариант установки комплексного современного оборудования, способного очищать воду до показателей ПДК, приблизительно равных показателям питьевой воды.

Данная необходимость даёт ряд экономических и экологических выгод с перспективой значительного уменьшения водопотребления и снижения нагрузки на окружающую среду путём максимальной водоочистки и повторного использования водных ресурсов во всех технологических процессах предприятия.

В данной работе приводится модель использования комплексных установок очистки сточных вод, сбрасываемых гальваническим цехом, на основе гальванохимического метода.

Данный метод, в отличие от аналогичных, позволяет снизить показатели загрязнений, отвечающих ПДК рыбохозяйственных норм.

Гальванохимическая очистка позволяет без больших финансовых вложений и эксплуатационных затрат очищать промышленные сточные воды от различных загрязнений: ионов тяжелых и цветных металлов, простых и комплексных цианидов, различных органических веществ, являющихся основными загрязнителями сточных вод в машиностроительной отрасли. Гальванохимический метод основан, в первую очередь, на сорбционных и ионообменных способностях оксидной ферропульпы, которая образуется во вращающемся в горизонтальной плоскости аппарате – гальванокоагуляторе – за счёт гальванохимического растворения анодной загрузки гальванокоагулятора при пропускании через неё очищаемых сточных вод.

Осадок, представляющий в основном ферриты тяжелых металлов, имеет кристаллическую нерастворимую форму, быстро осаждается и легко обезвоживается.

## Литература

1. Рекомендации по проектированию очистных сооружений для стоков гальванических цехов. М., 1967. 70 с.
2. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Глобус, 2002. 352 с.
3. Гальванические покрытия в машиностроении: справочник / под ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, 1985. 2 т.
4. ООО НПО «Акваэкопром» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: [http://www.ktgo-m.com/about\\_company/](http://www.ktgo-m.com/about_company/) (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 697.98

## ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Истомина А.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

alenko.11@mail.ru

Науч. рук. Серазеева Е.В.

Рассматривается технология очистки атмосферного воздуха от пыли, выделяющейся в атмосферу в строительном производстве.

**Ключевые слова:** защита окружающей среды, очистные установки, пыль, строительное производство

Одной из основных сфер производственной деятельности человека является строительство. Строительное производство с каждым днем набирает обороты и захватывает огромные масштабы территории. Являясь одним из источников воздействия загрязняющих веществ на атмосферу и здоровье человека.

В ходе технологических процессов в большом объеме происходит выброс пыли, особенно при изготовлении силикатного кирпича [1]. Поэтому важнейшей задачей на сегодняшний день для защиты окружающей среды и сохранения здоровья человека стоит очистка атмосферного воздуха от пыли.

Пыль – аэрозольная система, образованная твердыми частицами дисперсионного происхождения [2], которую условно можно разделить на четыре фракции:

I – крупнодисперсионная пыль, размер частиц 40...100 мкм;

II – среднедисперсионная пыль, размер 10...40 мкм;

III – мелкодисперсионная пыль, размер частиц 1...10 мкм;

IV – очень мелкая, меньше 1 мкм.

Частицы пыли находятся в воздухе во взвешенном состоянии, а также оседают или выделяются в виде порошка.

Пылегазовая смесь, образующаяся в ходе технологических процессов, представляет собой аэродисперсную систему, включающую дисперсную фазу – пылинки, распределенную в дисперсионной среде – газе [4]. Наибольшее пылевыделение происходит при приемке сырья, его хранении, смешивании, дроблении и помоле, а также обжиге измельченного сырья, сушке и погрузке [3].

Для уменьшения выбросов вредных веществ в атмосферу и улавливания пылевых частиц различных фракций (мелкие, средние, крупные) на предприятиях устанавливают пылеулавливающее и газоочистное оборудование.

Для очистки воздуха от пыли используют сухие и мокрые пылеуловители, электрофильтры и фильтры [4].

Для осаждения крупных частиц пыли применяют сухие пылеуловители. Где осаждение частиц происходит под действием силы тяжести частиц и силы диффузии частиц.

Наиболее распространены сухие уловители, такие как циклоны, здесь осаждение частиц пыли происходит под действием центробежной силы. Частицы пыли попадают на стенки циклона и вместе с частью газов попадают в бункер. Часть газов, освободившихся от пыли возвращается в циклон через центральную часть. Недостатком такого улавливания является слабое улавливание частиц пыли.

Более высокая эффективность улавливания частиц пыли осуществляется применением мокрой очистки. Во-первых, очистка газа осуществляется не только от крупных частиц пыли, но и от мелкодисперсной (мелких частиц) пыли. Во-вторых, мокрые пылеуловители обеспечивают очистку от пыли горячих и взрывоопасных газов. В-третьих, осаждение происходит при использовании воды в качестве осадительного реагента. На поверхность капель воды осаждаются частицы пыли [4]. Эффективность работы мокрых пылеуловителей зависит от смачиваемости пыли. Гладкие частицы смачиваются лучше, чем частицы с неровной поверхностью, так как последние больше покрыты газовой оболочкой, затрудняющей смачивание [2]. Задача мокрого пылеуловителя отделить газ от частиц пыли.



Ранее были указаны технологические процессы, где происходит особенно большая запыленность воздуха. На этих процессах уделяется большее внимание улавливанию пыли из воздуха. Для очистки используют уловители пыли, электрофильтры, фильтры. Фильтры применяют для тонкой очистки воздуха. Фильтрация относится к сухому обеспыливанию воздуха и отходящих дымовых газов. Фильтры могут устанавливать, как на II-ой и III-ей ступенях очистки, после грубой очистки (циклоны, мокрых) или они также могут использоваться без предварительной очистки.

При фильтровании газовые потоки проходят через пористые перегородки, пропускающие газ, но задерживающие твердые частицы.

Для более эффективной очистки воздуха от пыли применяют вентиляционный пылеулавливающий агрегат, служащий для 3-х ступенчатой очистки (I, II, III).

Крупная пыль оседает из газового потока быстрее мелкой. Для очистки газа от мелкой пыли требуется прохождения нескольких ступеней очистки или же несколько аппаратов, установленных последовательно по ходу газов [2].

Все-таки какая-то часть мелкодисперсной пыли попадает в атмосферу с вентиляционными выбросами. Проблема состоит в их улавливании.

Снижения выброса в атмосферу пылевидных загрязняющих веществ можно достигнуть при разработке и внедрения безотходного производства; увеличении применения мокрого способа очистки, способствующего улавливанию мелкодисперсной пыли; дополнительной установке вспомогательного оборудования по отсосу пыли (вентиляции, вытяжки); использовании новейших пылеулавливающих установок; увеличении эффективности пылеулавливающих установок; широком применении новых технологий, позволяющих уменьшить выброс пыли в атмосферу.

## Литература

1. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А. Технология возведения зданий и сооружений: учебник для строительных вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2004. 446 с.

2. Егоров В.Н., Хабаров Д.А. Определение запыленности воздуха [Электронный ресурс]: метод. указания по выполнению лаб. работы. М., 2016. 26 с. URL: <http://www.miigaik.ru/upload/iblock/5ff/5ffe2668f35849853c3be325da9139cb.pdf> (дата обращения: 24.02.2020).

3. Технология очистки газовых выбросов от пыли производства силикатного кирпича [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissercat.com/content/tehnologiya-ochistki-gazovykh-vybrosov-ot-pyli-proizvodstva-silikatnogo-kirpicha> (дата обращения: 24.02.2020).

4. Методы и аппараты для очистки газоздушных выбросов от твердых примесей [Электронный ресурс]. URL: <http://ebooks.semgu.kz/content.php?cont=d%3B1330> (дата обращения: 25.02.2020).

УДК 628.3

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Короткова А.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[aleksandrakortkova@mail.ru](mailto:aleksandrakortkova@mail.ru)

Науч. рук. Серазеева Е.В.

Рассмотрен вопрос эффективности очистных сооружений на предприятиях пищевой промышленности и внедрение жиросъемителя для уменьшения содержания загрязняющих веществ в сточных водах.

**Ключевые слова:** сточные воды, технология очистки сточных вод, предприятие пищевой промышленности, жиросъемитель.

Предприятия пищевой промышленности потребляют большое количество воды для производства продукции. При изготовлении продукции большая часть воды загрязняется. Эти воды характеризуются высокими показателями БПК, ХПК, а также содержат высокие концентрации жира, взвешенных веществ [1].

На данных предприятиях очистка сточных вод производится в два этапа: механическая очистка и биологическая очистка. Схема очистных сооружений представлена на рис. 1.

На первом этапе для очистки сточных вод применяют механический способ, благодаря которому из стоков удаляются плавающие и взвешенные частицы.

Вторым этапом является биологическая очистка стока. Вода поступает в аэротенки, где сточная вода постоянно смешивается с активным илом и происходит непрерывная аэрация на всем протяжении аэротенка.

Затем сточные воды отправляются во вторичные отстойники. После вторичных отстойников очищенная вода попадает в контактные резервуары, где при аэрации сточную воду доокисляют. Снижаются до нормативных показателей: ХПК, БПК, растворенный кислород, аммонийный азот [2]. Однако показатели по содержанию жиров и взвешенных веществ превышают допустимые нормы.

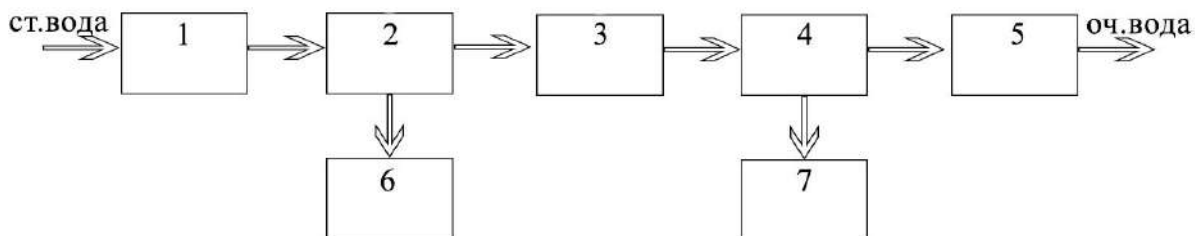


Рис. 1. Фактическая схема очистных сооружений: 1 – приемная камера; 2 – песколовка; 3 – аэротэнк; 4 – вторичные отстойники; 5 – контактный резервуар; 6 – контейнеры для временного хранения песка; 7 – иловые камеры

Самым оптимальным решением, для уменьшения содержания в сточной воде жиров и взвешенных веществ, является установка в систему очистки сточных вод жируловителя. Технологическая схема с внедрением жируловителя представлена на рис. 2.

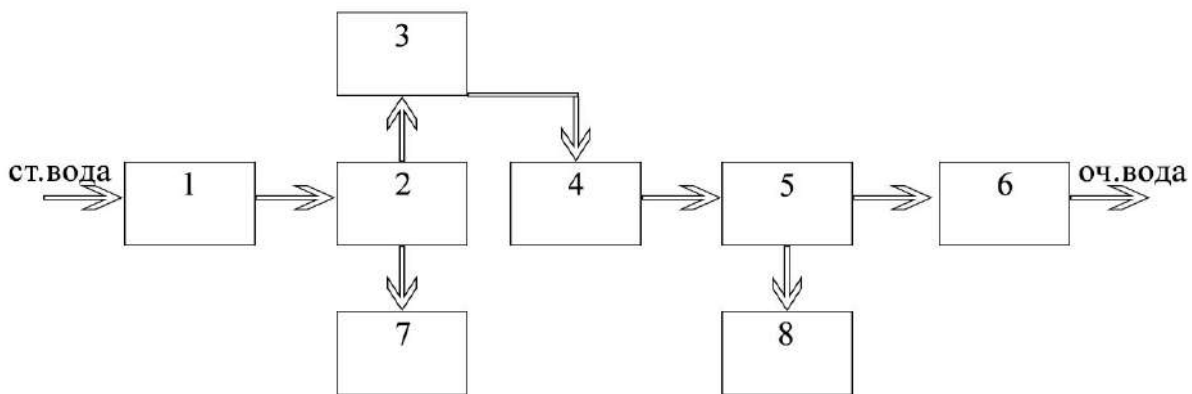


Рис. 2. Оптимизированная схема очистных сооружений: 1 – приемная камера; 2 – песколовка; 3 – жируловитель; 4 – аэротэнк; 5 – вторичные отстойники; 6 – контактный резервуар; 7 – контейнеры для временного хранения песка; 8 – иловые камеры

Принцип работы жируловителя основан на гравитации и слипании частиц. В период отстаивания мелкие компоненты масел всплывают, из-за разности плотности с водой. Затем частицы слипаются, и образуются

плотный жировой слой на поверхности сточных вод. Примеси, содержащиеся в сточной воде, выпадают в осадок. Удаление осадка осуществляется с помощью системы трубопроводов [3].

После установки в систему очистки сточных вод жиросъемщика очистка повышается с 55 до 99 %. Показатели взвешенных веществ и жиров становятся в пределах ПДК, что является для предприятия экологически и экономически выгодным.

### Литература

1. Иванова А.О., Бариева Э.Р. Анализ состава сточных вод на предприятии пищевой промышленности // Вестник магистратуры. 2015. № 4 (43). С. 52–53.

2. Иванова А.О., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В. Модернизация системы очистки сточных вод на предприятии молочной промышленности // Вестник магистратуры. 2015. № 12 (51). С. 63–64.

3. Особенности функционирования жиросъемщика на пищевых и жировых комбинатах [Электронный ресурс]. URL: <https://el-bio.ru/blog/kak-ispolzuyetsya-zhiroulovitel-na-predpriyatiyakh-pishchevoj-promyshlennosti> (дата обращения: 24.02.2020).

УДК 628.517

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ ШУМОГЛУШИТЕЛЯ ВЫБРОСОВ ПАРА

Муллагалева Э.Н.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

elmira.mn@mail.ru

Науч. рук. Липантьев Р.Е.

Посвящена исследованию снижения уровня звукового давления при выбросах пара на энергетических объектах. Предложены эффективные мероприятия по шумоглушению, в основу которых заложено применение технологии совместного использования реактивного и пассивного шумоглушителей. Разработана конструкция шумоглушителя комбинированного типа и описан принцип его работы.

**Ключевые слова:** дросселирование, пар, шумоглушитель, энергетика.

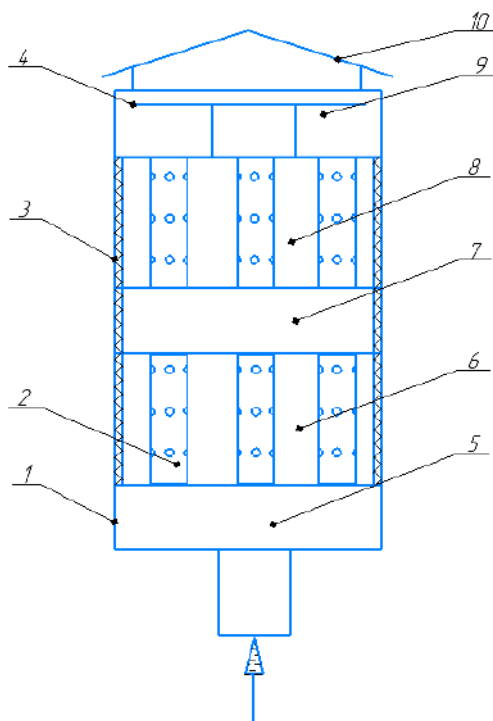
Производственный шум, возникающий в процессе эксплуатации технологического оборудования объектов энергетики, оказывает отрицательное влияние на окружающую природную среду и организм человека. Сегодня известно, что в условиях производственной деятельности шумовое воздействие, кроме ухудшения здоровья сотрудников предприятия, является причиной возникновения психофизиологической нагрузки, действие которой негативно влияет на производительность труда. В результате шумового воздействия ухудшается качество выполняемой работы, а также возрастает вероятность возникновения несчастных случаев на производстве.

Среди наиболее интенсивных источников шума, воздействующих на персонал энергетических предприятий, выделяют паровые и газовые турбины, тягодутьевые механизмы, компрессоры, редукционно-охладительные установки, насосы и другое тепломеханическое оборудование [1]. К более опасным по величине воздействия источникам звукового давления, влияющим непосредственно на размеры санитарно-защитной зоны предприятия, относят выбросы пара в атмосферу, происходящие по технологическим нуждам и реже – в аварийных ситуациях. Так как выхлопные трубопроводы котельных агрегатов, редукционно-охладительных установок и другого оборудования, работающего под давлением, расположены на крышах цехов предприятий, создаваемые ими акустические колебания воздушной среды распространяется на значительные расстояния. В этой связи исследования проблемы возникновения и путей снижения производственного шума являются актуальными задачами обеспечения техноферной безопасности.

Из обзора литературы известно, что величина шума при истечении паровой струи определяется турбулентными пульсациями давления, связанными с колебаниями скорости на границе смешения струи с окружающим воздухом. Перепады давлений на срезе выхлопных трубопроводов превышают критические значения и струя пара, вытекающая из выхлопного трубопровода с избыточным давлением, начинает расширяться и перерасширяться, вследствие чего происходит увеличение скорости пара до сверхзвуковых значений. После достижения струей выходного сечения паропровода происходит интенсивное смешение истекающего пара с окружающим воздухом, при котором начинается основная генерация шума.

На сегодняшний день основным методом снижения интенсивности шума, создаваемого выбросами пара, является применение на объекте шумоглушителей. Известным недостатком работы выпускаемых промышленностью России глушителей являются их ограниченные возможности снижения шума в низкочастотной области.

В качестве альтернативы существующему на рынке инженерных систем оборудованию предлагается использование принципиально нового шумоглушителя (см. рисунок), механизм действия которого базируется на ступенчатом дросселировании.



Принципиальная схема шумоглушителя выбросов пара: 1 – корпус шумоглушителя; 2 – дроссельные трубы; 3 – звукопоглощающий материал; 4 – отбойная пластина; 5 – первый резонаторный блок; 6 – первый дроссельный блок; 7 – второй резонаторный блок; 8 – второй дроссельный блок; 9 – блок расширения; 10 – крыша

Снижение уровня звука в разработанном глушителе состоит из пяти уровней, включающих в себя дроссельные, резонаторные и расширительные ступени. Такое устройство шумоглушителя позволяет обеспечить снижение скоростей потоков пара, образующихся при перепадах давления при работе предохранительного клапана.

Основным отличием разработанного глушителя шума выбросов пара от существующих разработок является последовательное расположение и геометрия ступеней глушения, направленность которых рассчитана на определенный диапазон частот.

С целью определения эффективности предлагаемого устройства проведены производственные испытания в отопительной котельной завода ЖБИ [2]. Источником шумового воздействия на данном объекте являются выхлопные паропроводы котельных агрегатов марки ДКВр-4/13. Изме-

рения фактического значения уровня звукового давления проводились по ГОСТ 23337-2014 с помощью цифрового шумомера ОКТАВА-121. Метеорологические условия определяли по показаниям метеометра МЭС-200А. По результатам экспериментальных исследований было установлено, что шумоглушитель равномерно снижает уровень звука на 5–26 дБ в диапазоне частот от 63 до 8000 Гц, что доказывает его эффективность.

Таким образом, разработанная конструкция шумоглушителя выбросов пара позволяет объединить достоинства глушителей реактивного и диссипативного типа, а проведенные испытания доказывают его эффективность в низкочастотной области звукового спектра. Установка шумоглушителей способствует снижению вероятности возникновения профессиональных заболеваний, а также предупреждает риск возникновения опасных ситуаций, несущих угрозу жизни и здоровью людей на энергетических предприятиях и селитебных территориях вблизи данных объектов.

### Литература

1. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 232 с.
2. Липантьев Р.Е., Муллагалеева Э.Н. Снижение интенсивности шума при выбросах пара на энергетических предприятиях // Техносферная безопасность. 2019. № 3 (24). С. 104–112.

УДК 331.45

### ИННОВАЦИИ В СФЕРЕ ОБУЧЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

Рамазанова Р. И.<sup>1</sup>, Залилова Р.А.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>ramzareg@icloud.com, <sup>2</sup>zaiilova@bk.ru

Науч. рук. Аверьянова Ю.А.

Рассмотрены инновационные методы по обучению молодых специалистов безопасным приемам труда и предложена разработка интерактивного тренинга, помогающего успешно освоить основные требования по охране труда на производстве.

**Ключевые слова:** охрана труда, инновационные методы обучения, цифровые технологии, статистика, производственный травматизм.

На сегодняшний день крайне важными и актуальными на предприятиях являются вопросы охраны труда и безопасности. Мировой и российский опыт показывает, что обучение специалистов этой дисциплине является эффективным инструментом снижения производственного травматизма и профзаболеваний.

По последним данным в Татарстане число молодых сотрудников в возрасте от 18 до 24 лет составляет пятую часть от общего числа трудящихся Республики. Молодые работники наиболее подвержены риску на работе. Травматизм среди молодых работников выше, причина тому – отсутствие опыта работы, недостаток знаний или отсутствие обучения безопасным методам работы, а также ограниченная осведомленность о связанных с работой опасностях. Это подразумевает особое внимание к молодым сотрудникам [1].

На многих предприятиях уже используются «умные технологии» обучения охраны труда, которые успели доказать свою эффективность. Благодаря этому уровень травматизма значительно снизился, а компетентность специалистов в их деятельности возросла.

Применение инновационных методов подразумевает внедрение национальных стандартов «Менеджер риска»; использование сервиса для взаимодействия сотрудников «MyObject»; работу с технологиями позиционирования GPS; обучение с помощью приложения «Я-инспектор»; применение «умной каски» с телеметрическим модулем; электронную систему медицинского осмотра; видеоинструктажи; визуальное управление с системами лазерного и электронного ограждения [3, 4].

Не все руководители понимают, что обучение в виде традиционной устной подачи установленных требований неэффективно. Доказано, что человек усваивает 10 % от услышанной информации, 50 % – от визуальной и 90 % – от интерактивной. Из этого следует, что необходимо применять инновационные методы обучения. Они предполагают соединение в учебном процессе групповых, консультационных, самостоятельных форм занятий, а также применение цифровых технологий в образовательном процессе [2]. Методика обучения с помощью кейс-технологий позволяет развивать творческие способности, формирует навыки выполнения сложных задач [5].

На практике мы опробовали интерактивную модель обучения в виде игры как альтернативы к традиционному подходу, которую мы разработали. Игра проводится в три этапа: 1-й – «Своя игра»; 2-й – «Где логика?»; 3-й – Кейс-чемпионат.

План тренинга:

- 1) продолжительность – 90 минут;
- 2) участники – студенты 1-го и 2-го курсов КГЭУ или молодые специалисты.



3) для всех туров участники делятся на команды по 5-6 человек. В каждой команде выбирается капитан и название.

**Первый тур.** В «Своей игре» всего 5 категорий вопросов (по 10, 20, 30, 40 и 50 баллов), связанных с охраной труда. Все они отображаются на слайдах в презентации. Чем выше категория, тем сложнее вопросы. Баллы равны выбранной категории, они подсчитываются ведущим.

**Второй тур.** «Где логика» – на проекторе отображаются картинки, в которых зашифрованы термины, связанные с охраной труда и безопасностью. За каждый правильный ответ дается по 10 баллов

**Третий тур.** Кейс-игра – по жеребьевке выбирается команда экспертов, которые непосредственно будут оценивать ответы команд. Всем остальным предлагается реальная производственная ситуация. На ознакомление дается 5–7 минут. Для решения проблемы и подготовки выступления дается около 20 минут. В ходе работы групп преподаватель может давать некоторые пояснения и необходимую консультацию, но при этом избегая решения данного вопроса. Для презентации решений предоставляется 5–7 минут. После следует этап общей дискуссии, в ходе которой студенты обсуждают интересующие их вопросы. Для подведения итогов, когда каждый лидер с командой уже презентовал свое решение, экспертная группа с помощью оценочного листа проставляют баллы.

Завершение: оценочный лист отдается ведущим, ведущие подсчитывают общее количество баллов, заработанных во время всех этапов. После подведения итогов, первым трем победителям, а также наиболее выдающимся спикерам вручаются подарки.

В работе проведены анализ и систематизация инновационных методов обучения. Также предложен и опробован интерактивный тренинг с уникальным сценарием для молодых сотрудников или студентов, где участники могут в наглядной, понятной и интересной форме усвоить основные требования по охране труда в разных сферах их деятельности. Разнообразие методов и приёмов обучения создает условия для повышения качества обучения, улучшение показателей для трудоустройства, уровня адаптивности обучающихся к условиям профессиональной деятельности. Для современного специалиста также очень важно уметь публично представить интеллектуальный продукт, показать его значимость и возможность практического применения, а так же выстоять перед лицом критики. Мы считаем, что важно поддерживать связь изучаемых дисциплин с практической направленностью. Данная деловая игра требует самоконтроля, самообразовательной деятельности, интеллектуальной, личностной и социальной активности, что и отражается в данной методике [5, 6].

## Литература

1. Секачева Л.М., Овчаров А.И., Касьянова Т.И. Инновации в обучении охране труда: Проблемы внедрения [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=5853> (дата обращения: 10.02.2020).
2. Ассоциация «Эталон» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://www.aetalon.ru/> (дата обращения: 23.02.20).
3. Магид К. «Умные технологии» в охране труда: новейшие тенденции [Электронный ресурс] // Протруд. 2018. URL: <http://protrud.info/articles/oborudovanie-i-tekhnologii/umnye-tekhnologii-v-okhrane-truda-noveyshie-tendentsii.php/> (дата обращения: 23.02.2020).
4. Тимофеева С.С. Инновации в охране труда // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. Т. 1, № 3. С. 10–21.
5. Кукин П.П. Безопасность технологических процессов и производств. М.: Москва, 2002. 319 с.
6. Review of workplace innovation and its relation with occupational safety and health / L. Eeckelaert [et al.]. Bilbao: European Agency for Safety and Health at Work, 2012. 77 p.

УДК 628.3

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ МОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Россамахина Н.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

[rossa18makhina@gmail.com](mailto:rossa18makhina@gmail.com)

Науч. рук. Серазеева Е.В.

Рассмотрено предложение по усовершенствованию технологии очистки сточных вод на молокозаводе с использованием физико-химического метода очистки.

**Ключевые слова:** сточные воды, молокозавод, ЛОС, БПК<sub>полн</sub>, ХПК.

Наиболее значительным источником оказывающим влияние на загрязнение гидросферы является пищевая промышленность, в том числе молочные предприятия, обладающие самым высоким уровнем водопотребления.

В процессе производства молочных продуктов на предприятиях образуются промышленные стоки основного производства, мойки тары и оборудования. На тонну готовой продукции приходится около 5 м<sup>2</sup> сточных вод. Их сброс неравномерен из-за периодического характера производства [1].

Так как молоко и молочные продукты представляют собой сложную коллоидно дисперсную систему, в состав которых входят полисахариды и высокомолекулярные белковые соединения, оксиды азота и фосфора, то полученные в процессе производства сточные воды молокозаводов сильно загрязнены жирами и взвешенными веществами. Для уменьшения концентраций загрязняющих веществ в промышленных стоках до норм, допускающих сброс сточных вод в канализацию, их необходимо подвергать локальной очистке [2].

Локальные очистные сооружения молокозаводов обычно содержат блок предварительной очистки (отстойники и жируловители), физико-химическую очистку (флотаторы, коагуляторы) отличительной особенностью которой является образование большого количества хлопьевидного осадка, объем которого может составлять до 10 % обрабатываемой сточной воды, и биологическую очистку, при которой под действием кислорода происходит интенсивное окисление органических веществ и нитрификация аммонийного азота. В анаэробной зоне происходит разложение оставшихся органических веществ и денитрификация.

В результате работы указанных ЛОС происходит очистка сточных вод, но из-за высокого содержания жиров в них эффективность биологической очистки снижается, концентрация вредных веществ не соответствует нормам сброса в канализационную систему, поэтому на предприятие налагается штраф [3].

Для решения задачи снижения предприятием концентраций взвешенных веществ и жиров в сточных водах выбран физико-химический метод. Предложено перед биологической очисткой поставить электрокоагулятор с последующим отстаиванием (см. рисунок).

В процессе электрокоагуляции идет очистка воды от загрязняющих субстанций путем ее электролиза с растворимыми электродами. В стоках, находящихся под влиянием постоянного электрического поля, происходит разрушение грубодисперсных загрязнений, агрегация коллоидных примесей, что побуждает процесс разделения фаз. Благодаря электрокоагуляционному методу достигается высокий процент удаления из воды примесей и загрязняющих соединений в виде взвешенных составляющих органической природы, коллоидных соединений и других

растворенных компонентов [4]. Полученный в процессе очистки шлам проходит стадию обезвоживания в гравитационном сепараторе, после чего может быть отправлен на дальнейшую переработку, так как в его составе содержится много ценных веществ, одним из которых является казеин, представляющий собой белок, образованный при свертывании молока [5].

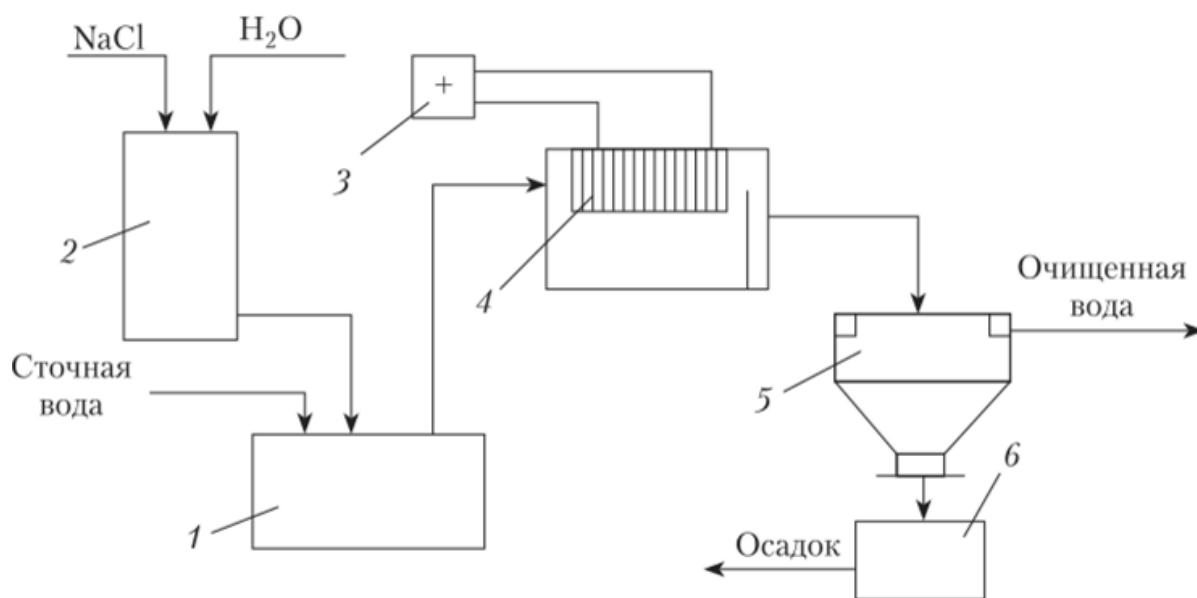


Схема электрокоагуляционной установки: 1 – усреднитель; 2 – бак для приготовления раствора; 3 – источник постоянного тока; 4 – электрокоагулятор; 5 – отстойник; 6 – аппарат для обезвоживания осадка

После усовершенствования технологии очистки сточных вод в них существенно уменьшилось количество вредных веществ. Используя метод электрокоагуляции, очистка промышленных стоков молокозаводов достигает уменьшения концентрации жиров до 96 %, взвешенных веществ – до 90 %, и снижает показатель БПК<sub>полн</sub> на 70–73 % [5].

## Литература

1. Совершенствование способа очистки сточных вод предприятий молочной промышленности [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-sposoba-ochistki-stochnyh-vod-predpriyatiy-molochnoy-promyshlennosti/viewer> (дата обращения: 23.02.2020).
2. Очистка сточных вод предприятий мясной и молочной промышленности / С.М. Шифрин [и др.]. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 272 с.

3. Очистка сточных вод молокозавода [Электронный ресурс]. URL: <https://acs-nnov.ru/stohniye-vodi-molokozavoda.html> (дата обращения: 23.02.2020).

4. Электрокоагуляция для очистки воды [Электронный ресурс]. URL: <https://diasel.ru/article/chto-takoe-elektrokoagulyaciya-vody/> (дата обращения: 23.02.2020).

5. Ливен И. Технология очистки сточных вод молокозавода [Электронный ресурс]. URL: [https://nomitech.ru/articles-and-blog/tekhnologiya\\_ochistki\\_stochnykh\\_vod\\_molokozavoda/](https://nomitech.ru/articles-and-blog/tekhnologiya_ochistki_stochnykh_vod_molokozavoda/) (дата обращения: 22.02.2020).

УДК 613.644

## **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Сизова В.В.<sup>1</sup>, Муллагалеева Э.Н.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>sizovanika13@yandex.ru, <sup>2</sup>elmira.mn@mail.ru

Науч. рук. Липантьев Р.Е.

Проанализирована и дана оценка негативных последствий влияния шума на окружающую среду, здоровье и работоспособность человека. Рассмотрены современные методы и средства защиты от производственного шума.

**Ключевые слова:** производственный шум, звуковые волны, окружающая среда.

Современные технологические процессы сопровождаются акустическими колебаниями различной интенсивности и частоты, которые в своей совокупности образуют производственный шум, негативно влияющий на окружающую среду и здоровье человека. Под шумовым воздействием объектов энергетики находятся не только их сотрудники, но и люди, жилые дома которых расположены вблизи санитарно-защитной зоны данных предприятий. Известно, что воздействие шума негативно отражается на сердечно-сосудистой и центрально-нервной системе человека, что приводит к переутомлению и истощению клеток головного мозга. По данным Всемирной организации здравоохранения (WHO) ежегодно регистрируется около 43 тыс. случаев госпитализации людей,

пострадавших от шумового воздействия, поэтому исследования в области снижения уровня шума продолжают оставаться востребованными и актуальными.

Промышленное предприятие является источником шума, создаваемого целой группой объектов, наиболее значимые по величине воздействия из которых представлены в таблице.

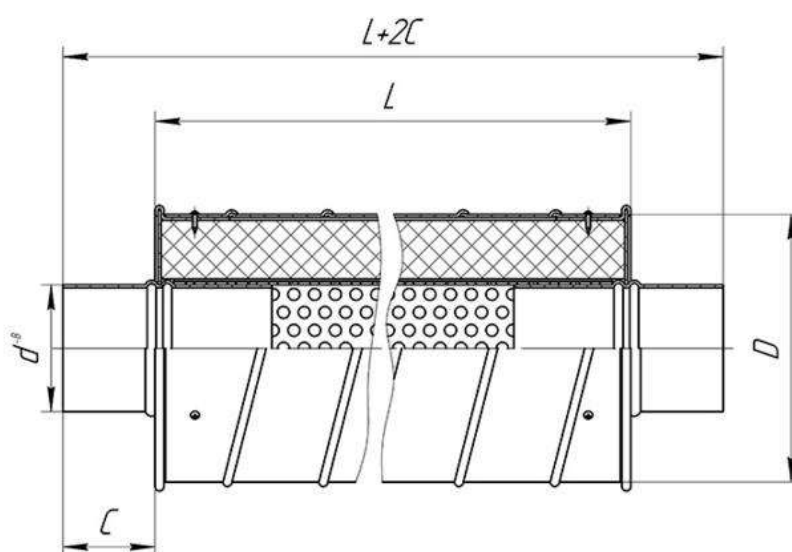
#### Источники шумового воздействия промышленного объекта

Вид источника	Потенциальная опасность	Уровень мощности звука, дБА	Методы защиты
Аварийные сбросы пара в атмосферу	Полная глухота, расстройство органов слуха	120	Глушители
Компрессорная станция	Профессиональное заболевание, несчастный случай	90	Наушники и беруши
Газотурбинные установки	Тугоухость, гипертоническая болезнь	84	Кожухи
Трансформаторы	Нарушение центральной нервной системы	78	Экраны

Как видно из таблицы методы борьбы с производственным шумом не отличаются высокой избирательностью и не всегда являются безопасными. Например, во время технологических операций, связанных со сбросом пара в атмосферу, сотрудники предприятия подвергаются мощному воздействию звуковых волн, распространяющихся на территории объекта и применение таких средств, как ушные вкладыши или наушники не всегда будет оправданно по причине нахождения людей в зоне действия транспортных средств и т. п. [1].

Размещение шумного оборудования за экранами позволяет только в некоторых случаях решить проблему снижения шума, при этом максимальная эффективность экранов достигает 25–30 дБА, что объясняется появлением отраженного от ограждающих поверхностей звука. Преимуществом размещения устройства в кожухе по сравнению с другими методами уменьшения звука является возможность осмотра оборудования, при котором эффективность кожуха по уровню звука составляет 30–45 дБА, недостатком – более высокая стоимость.

Наиболее популярным методом уменьшения производственного шума является установка глушителей комбинированного типа, в которых используются, как свойства звукопоглощения, так и свойства отражения звуковой энергии. Примером комбинированного глушителя может служить камерный глушитель (см. рисунок), внутренняя поверхность стенок которого облицована звукопоглощающим материалом. Достоинством таких конструкций является то, что их использование позволяет достигать снижение уровня шума до 68 дБА при сравнительно малых габаритах и низкой первоначальной стоимости [2].



Конструкция камерного шумоглушителя

На сегодняшний день использование шумоглушителей в сбросных, вентиляционных и других газоздушных системах является обязательным условием безопасной и комфортной эксплуатации оборудования. Таким образом, правильный выбор современной эффективной технологии позволит снизить уровень шумового воздействия, создаваемого крупными промышленными объектами.

## Литература

1. Тупов В.Б. Снижение шума от энергетического оборудования. М.: Издательство МЭИ, 2005. 232 с.
2. Липантьев Р.Е., Муллагалеева Э.Н. Снижение интенсивности шума при выбросах пара на энергетических предприятиях // Техносферная безопасность. 2019. № 3 (24). С. 104–112.

## МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ

Тогулева А.С.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

toguleva99@mail.ru

Науч. рук. Бариева Э.Р., Серазеева Е.В.

Рассмотрены методы переработки нефтешламовых отходов.

**Ключевые слова:** нефтешламы, переработка, отходы, отстойники.

В настоящее время проблемой нефтяной индустрии является накопление нефтешламовых отходов. Они представляют собой сложные физико-химические смеси, которые состоят из нефтепродуктов, механических примесей (глины, окислов металлов, песка и воды) [1].

В нефтеперерабатывающей отрасли для переработки нефтешламов чаще всего используют физические, термические, химические и биологические методы.

В физическом методе деление на фракции происходит следующими способами: отстаивание, центрифугирование, введение ПАВ, фильтрование (рис. 1). Преимуществом данного метода является полная автоматизация процесса. К недостаткам относится сложная утилизация конечных продуктов [2].

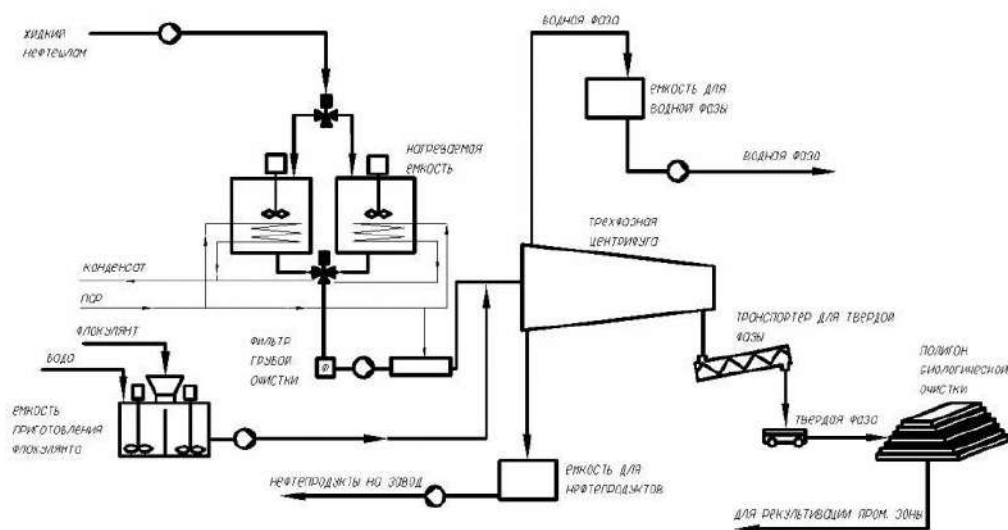


Рис. 1. Схема физического метода переработки нефтешламовых отходов



Термический метод используется только на объектах переработки в печах различных типов и конструкций. Разновидности метода: сжигание в печах различного типа и конструкций; сушка; пиролиз; термическая десорбция. Плюсы данного метода: понижение класса опасности, уменьшение объемов отходов, получение полезных продуктов. Но есть и минусы: затраты на системы очистки и транспортировку [2].

Химический метод утилизации нефтешлама основан на использовании растворителей. В качестве растворителей используют низкокипящие парафиновые углеводороды, например, *n*-гексан, широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ), газовый конденсат и др. Сначала отходы нефти растворяют в специальных веществах, после чего происходит их отделение от различных твердых и жидких примесей (рис. 2) [3].

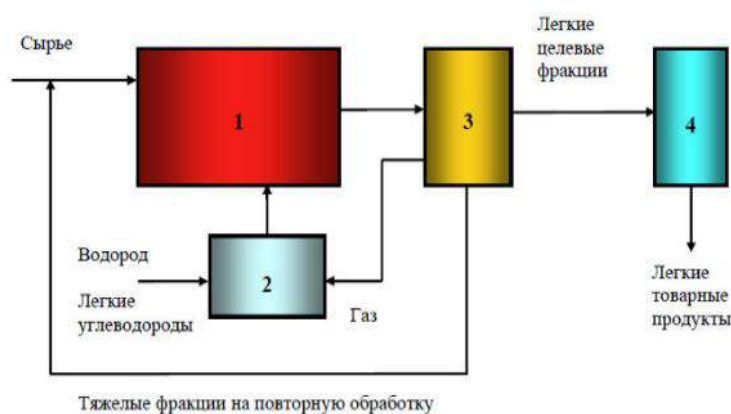


Рис. 2. Схема химического метода переработки нефтешламовых отходов: 1 – блок нагрева; 2 – блок получения атомарного водорода (реактор с катализатором); 3 – блок разделения обработанного сырья; 4 – блок получения товарных продуктов (бензин, продукты нефтехимии и т. д.)

Биологический метод является наиболее экологически чистым методом переработки нефтешламов. Данный метод представляет собой биологическое разрушение нефтяной фазы, с помощью добавления биопрепаратов к нефтяным шламам. Рекомендованные биопрепараты, созданные на базе селекционированных деструкторов: «Олеворин», «Unigem», «Валентис», «Bio-rem», «Нафтокс» и др. Область применения ограничивается диапазоном активности биопрепаратов, температурой, кислотностью, толщиной нефтезагрязнения, аэробными условиями [3].

Наиболее перспективным методом переработки нефтешламовых отходов является биологический метод. Переработка с применением микроорганизмов характеризуется низкими затратами и не наносит вред окружающей среде.

## Литература

1. Нефтешламы [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Нефтешламы> (дата обращения: 28.02.2020).
2. Способы утилизации и переработки нефтешламов [Электронный ресурс]. URL: <https://i-рес.ru/utilizaciya-nefteshlamov-texnologii-pererabotki-utd-2> (дата обращения: 02.03.2020).
3. Методы утилизации нефтешламов различного происхождения [Электронный ресурс]. URL: [http://ngdelo.ru/files/old\\_ngdelo/2011/3/ngdelo-3-2011-p98-101.pdf](http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2011/3/ngdelo-3-2011-p98-101.pdf) (дата обращения: 02.03.200).

УДК 64.066.46

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СЖИГАНИЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

Хафизов И.Ф.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[inxpnh@mail.ru](mailto:inxpnh@mail.ru)

Науч. рук. Апкин Р.Н.

В настоящее время одной из передовых технологий в отношении сжигания осадков считается FMI с псевдооживленным слоем, суть которой заключается в том, что используются печи из футерованных огнеупорных материалов, предлагающего быструю утилизацию бишлама, образующегося в городских сточных водах. Технология популярная потому, что по сравнению с другими методами сжигания осадков, она характеризуется более низкими эксплуатационными расходами, а контроль за её технологическими процессами может осуществляться дистанционно с помощью мехатронных систем – микроконтроллеров, которые посылают всю необходимую информацию о ходе сжигания на компьютер, например, о температуре, давлении воздуха и скорости потока.

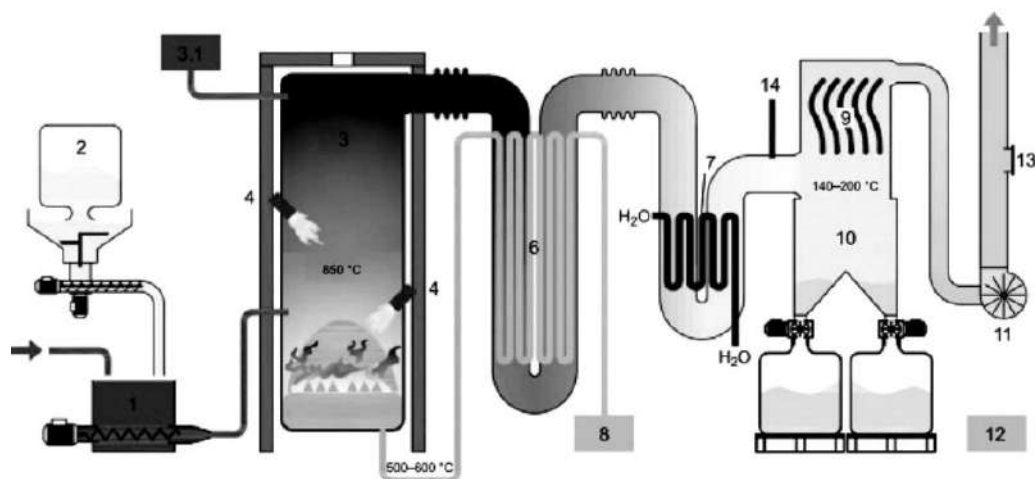
**Ключевые слова:** иловый осадок, сжигание ОСВ, печь с псевдооживленным слоем.

Актуальным вопросом в настоящее время является охрана окружающей среды от загрязнений, увеличение мощности систем оборотного и повторного использования вод, разработка ресурсосберегающих и безотходных технологий [1].

В современных городах очистные сооружения являются частью системы водоснабжения и канализации, гарантирующих экологическую безопасность населения. Однако деятельность этих систем связана с образованием многочисленных видов отходов, среди которых числятся осадки сточных вод (ОСВ) и их утилизация, которые остаются актуальной экологической проблемой.

С развитием промышленности всё большую популярность как способ утилизации ОСВ приобретает такой процесс, как сжигание. С технологической точки зрения, отметим, что сначала ОСВ должны быть очищены и доведены до кондиции – нужно удалить песок, сгустить и удалить воду. Эти процедуры нужны для того, чтобы улучшить физико-химические свойства осадков для повышения теплоты их сгорания. В целом, сжигание осадков производится в печах различных видов [2].

Весь процесс сжигания ОСВ с использованием технологии FMI (см. рисунок) происходит с добавлением кальциевого реагента, для того чтобы произошла обработка кислых газов непосредственно в печи. Это способствует, защите самой конструкции печи от коррозии, увеличивая эксплуатационный срок. Технология FMI имеет собственно и экологические преимущества – при нагреве воздуха от 30 до 550 °С уменьшается паровой шлейф, а оставшаяся энергия используется для вторичного отопления зданий.



Технологическая линия сжигания с использованием печей FMI: 1 – загрузка осадков; 2 – накопитель и дозированная подача реагентов; 3 – печь с псевдоожиженным слоем; 3.1 – регулирование температуры; 4 – горелки; 5 – дымовой канал; 6 – рекуперация энергии типа «воздух – воздух»; 7 – теплообменник типа «вода – воздух»; 8 – газодувка; 9 – сухой фильтр; 10 – накопительный силос золы; 11 – центробежный вентилятор; 12 – воздушный компрессор; 13 – анализ выбросов; 14 – реагенты (опционально)

Оборудование, необходимое для процесса сжигания ОСВ с помощью технологии FMI, является относительно дешевым, благодаря чему отсутствуют высокие инвестиционные и эксплуатационные затраты. Подчеркнем, что с точки зрения конструкций оно более выгодно по сравнению с другими типами печей, используемых для сжигания осадков. Более того, ремонт оборудования требуется раз в 6–8 лет, а его длительность не превышает 2,5 недель, что значительно уменьшает затраты из-за простоя оборудования.

Таким образом, очистка ОСВ очень актуальна в современных условиях, ведь растущие объемы вод необходимых для удовлетворения потребности нужд хозяйственно-бытовых и промышленных операций. Способов утилизации ОСВ имеется большое количество, однако одной из самых многообещающих и широко используемых сейчас является метод сжигания. Рассмотренный в работе метод сжигания с помощью технологии FMI с использованием печи с псевдоожиженным слоем является одним из наиболее выгодных с точки зрения инвестиций, эксплуатации и экологии.

### **Список литературы**

1. Седова Е.А. Научный поиск // Технические науки: сб. матер. 3-й науч. конф. аспирантов и докторантов. Челябинск, 2011. Т. 1. С. 74–77.
2. Янин Е.П. Сжигание осадков городских сточных вод: проблемы и способы // Ресурсосберегающие технологии. 2006. № 24. С. 3–29.

УДК 622.323

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НЕФТЕСЕРВИСНОЙ КОМПАНИИ**

Шаймиева А.Р.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
shaimieva-alvina@yandex.ru  
Науч. рук. Апкин Р.Н.

Предложен вариант усовершенствования технологии утилизации отходов бурения скважин нефтесервисной компании, представляющей собой комплексную очистку с помощью сепаратора, вибросита, пескоотделителя, илоотделителя, центрифуги, цистерны-отстойника и перемешивателя.

**Ключевые слова:** отходы, нефтепромышленность, загрязнения, буровые шламы.

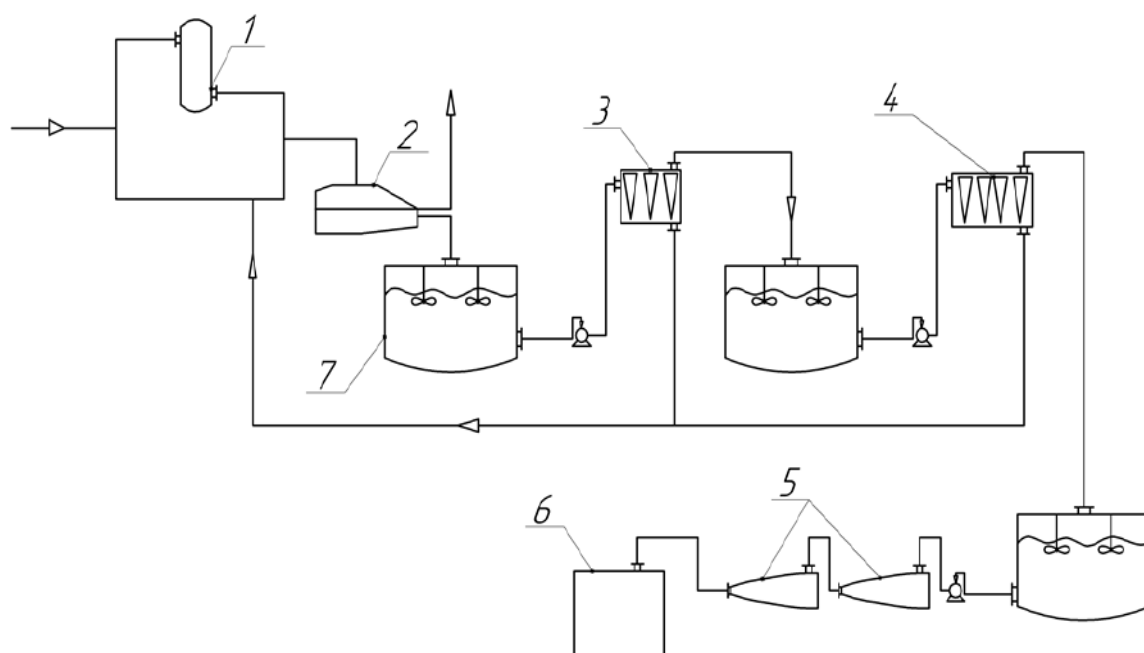
Нефтесодержащие отходы – это одни из неизбежных побочных продуктов нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности, с которым приходится сталкиваться на нефтеперерабатывающих заводах. Помимо нефти такие отходы могут содержать большое количество различных токсичных химических веществ, а также воду и твёрдые частицы. Во избежание загрязнения окружающей среды все производства обязаны перерабатывать или утилизировать опасные отходы своей деятельности. При этом основными объектами загрязнения при бурении скважин являются геологическая среда, гидро- и литосфера. Наибольшую опасность для объектов природной среды представляют производственные и технологические отходы бурения. В своем составе отходы содержат широкий спектр загрязнителей минеральной и органической природы, которые накапливаются и хранятся непосредственно на территории буровой [1]. Буровые шламы относят к IV классу опасности отходов (согласно ФККО)

Состав отходов бурения на скважинах по данным химического анализа амбарных шламов представлен в таблице.

Состав отходов бурения

Компоненты отходов	Состав при бурении первой скважины 2600 м, т	Состав при бурении последующих скважин, т
Вода	314,0	314,0
Шлам	150,0	150,0
Нефть	29,64	26,64
Бентонит	2,8	1,4
ПАВ-неонол	0,073	0,073
КМЦ	0,364	0,182
ТПФН	0,052	0,052
ГКЖ	0,080	0,080
Сода кальцинированная	0,042	0,042
Сода каустическая	0,150	0,150
КССБ	0,161	0,161
Графит	0,150	0,150
Барит	0,096	0,096
Цемент	0,722	0,722
Гипан	0,172	0,086
НТФ	0,045	0,045
«Нитрон» – отходы	0,170	0,170
Смазочная добавка ИКБ-4ТМ	0,520	0,520

Для решения проблемы загрязнения окружающей среды отходами бурения предлагается комплексная схема очистки, представленная на рисунке.



Принципиальная схема блока очистки бурового раствора от шлама: 1 – сепаратор; 2 – виброрито; 3 – пескоотделитель; 4 – илоотделитель; 5 – центрифуга; 6 – цистерна-отстойник; 7 – перемешиватель

Проведенный анализ метода утилизации показывает, что предотвращение загрязнения среды и сокращение использования природной воды на бурение скважин достигается многократным использованием технической воды в технологическом обороте (рециклинг) [2]. Для этого необходима комплексная очистка буровых сточных вод с применением физических методов. С помощью выбранной модернизации мы достигнем экологического эффекта, так как снизим негативное воздействие на окружающую среду благодаря снижению класса опасности вредных веществ, а также экономического эффекта за счет снижения платы за загрязнение.

## Литература

1. Агзамов Ф.А., Измухамбетов Б.С. Долговечность тампонажного камня в коррозионных средах. СПб.: Недра. 2015. 317 с.
2. Быков И.Ю. Техника экологической защиты Крайнего Севера при строительстве скважин. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. 236 с.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АВТОМОБИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Шигапова Г.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Guzel98\_10@mail.ru

Науч. рук. Апкин Р.Н.

Рассматривается система очистки сточных вод на предприятии автомобильной промышленности. Для усовершенствования существующей системы очистки сточных вод, предложено внедрение нового оборудования, который позволит эффективно задержать взвешенные вещества и очищать от БПК.

**Ключевые слова:** сточные воды, сброс сточных вод, расчет платы за сброс, система очистки, предельно-допустимая концентрация.

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в настоящее время одна из наиболее актуальных проблем современности. В связи с увеличением поступления на очистные сооружения стоков повысилось содержание загрязняющих веществ в сточной воде. Соответственно, это вызывает необходимость усовершенствования системы очистки сточных вод [1].

В автотранспортном предприятии хозяйственно-бытовые стоки по системе самотечных коллекторов поступают на канализационную насосную станцию и оттуда перекачиваются на районные очистные сооружения для очистки от загрязняющих веществ и сброса в реку.

Дождевые и талые воды сетью самотечных трубопроводов собираются в два пруда-накопителя с территории всех предприятий, входящих в состав промышленного узла и промышленной зоны, а также проездов и предзаводской зоны в пределах водосборных бассейнов [2].

В работе рассматривался выпуск № 1, так как по результатам химических анализов отобранных проб видно, что имеется превышение концентраций вредных веществ именно только по данному выпуску.

В первом выпуске всплывающие нефтепродукты собираются шарнирной трубой и отводятся в нефтесборный резервуар при помощи нефтесборного устройства в водонепроницаемый выгреб, откуда по мере наполнения забираются автоцистерной и увозятся на регенерацию.

Отстоянные стоки из отстойной части через водоприемный колодец перепусков № 1 и 2 поступают в аккумулирующую часть, где происходит дальнейшее осаждение более мелких частиц.

В двух «грязных» секциях происходит двухчасовое отстаивание сточных вод, где эффект осветления достигает до 40 %; в «чистой» секции эффект очистки достигает при 24 часовом отстаивании.

По данным представленным в таблице, можно сделать вывод, о том, что при действующей системе очистки, имеются превышения ПДК по взвешенным веществам и БПК. Существующая система очистки поверхностных сточных вод не соответствует требованиям, что в свою очередь приводит к увеличению платы за сброс загрязняющих веществ.

#### Показатели химического анализа отбора проб

Наименование веществ	Место отбора проб		Эффективность, %	Норматив НДС
	до очистных сооружений	после очистных сооружений		
1	2	3	4	5
Взвешенные вещества	72	9,5	87,0	8,65
БПК <sub>5</sub>	25	17,5	30,0	2

Расчет платы за сброс загрязняющих веществ со сточными водами до модернизации составит 803, 487 тыс. руб.

Для решения проблемы по удалению вредных веществ из воды требуется внедрить дополнительное очистное оборудование в существующую систему очистки. Расчет платы за сброс загрязняющих веществ со сточными водами до модернизации составит 803, 487 тыс. руб.

В качестве решения были рассмотрены три варианта фильтров. Это: сетчатый барабанный фильтр, фильтр с плавающей загрузкой и фильтр с зернистой загрузкой. Изучив характеристики данных фильтров, фильтр с зернистой загрузкой был выявлен, как самый эффективный [3].

Предлагаемое усовершенствование технологии очистки сточных вод на предприятии представляется рентабельным для внедрения в технологический цикл. Капитальные затраты на реализацию составляют 1242150 руб.

Срок окупаемости составит – 3 года.

Таким образом, предлагаемое усовершенствование технологии очистки сточных вод на предприятии является рентабельной для внедрения в технологический цикл.



## Литература

1. Мисюрина А.В. Модернизация существующей системы очистки сточных вод на предприятии ОАО «ТЯЖМАШ» [Электронный ресурс] // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: электр. сб. ст. по матер. XLI междунар. студ. науч.-практ. конф. Москва, 2017. № 1(41). URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/1\(41\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/1(41).pdf) (дата обращения: 27.02.2020).

2. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03 [Электронный ресурс]. URL: [https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/217588/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/217588/) (дата обращения: 27.02.2020).

3. Фильтры с зернистой загрузкой [Электронный ресурс]. URL: [http://cozyhomestead.ru/Voda\\_49373.html](http://cozyhomestead.ru/Voda_49373.html) (дата обращения: 28.02.2020).

УДК: 62-78

## ИСТОЧНИКИ ШУМА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ И МЕТОДЫ ЕГО СНИЖЕНИЯ

Яковлев Я.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
yaroslav.yakovlev.2000@mail.ru

Науч. рук. Аверьянова Ю.А.

Рассматриваются одни из самых мощных источников шума на энергетических предприятиях, перечислены их основные шумовые характеристики. На основе опыта внедрения технологий приведены методы снижения шума от данных источников.

**Ключевые слова:** шум, методы снижения шума, газотурбинные установки (ГТУ), тягодутьевые машины (ТМ), выброс пара в атмосферу, глушитель, средства индивидуальной защиты.

Шум – беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности, которое неблагоприятно воздействует на организм человека [1]. Шум имеет негативное воздействие: вызывает раздражение, влияет на нервную и сердечно-сосудистую систему, уменьшает производительность труда и т. д. Поэтому необходимо принимать меры по снижению шума во всех сферах жизнедеятельности человека.

Рассмотрим наиболее важные источники шума на энергетических предприятиях и некоторые методы его снижения.

Газотурбинные установки (ГТУ) являются одними из самых мощных источников постоянного шума для окружающей среды. Такие участки установки, как воздухозаборный и выхлопной тракты, излучают шумы, наиболее интенсивные по воздействию на окружающую среду. Превышается допустимая норма для рабочих зон по уровню звука на 18–32 дБ. Максимальные уровни шума наблюдаются при высоких (4000–8000 Гц) и низких (31–125 Гц) частотах. Наибольшее распространение среди мер по шумоглушению ГТУ получило применение глушителей для газовых трактов. Например, для ГТУ – ТЭЦ «Посёлок Северный» на расстоянии 300 м от среза устья дымовой трубы необходимо было снизить шум в пределах от 7,8 до 27,3 дБ на среднегеометрических частотах 63–8000 Гц [2]. Проблема была решена разработанным МЭИ пластинчатым диссипативным пластинчатым глушителем шума.

Тягодутьевые машины (ТМ) в энергетике, в связи со своим широким применением, являются источниками шума не только на территории промышленных предприятий, но и в окружающем районе. Уровни звуковой мощности для осевых ТМ составляют 140–150 дБ, а для центробежных машин – до 135 дБ. Даже при наличии звукоизоляции на корпусе уровень шума уменьшается лишь до 85–95 дБ, что является превышением нормы, установленной Санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96. К снижению шума ТМ может привести изменение также следующих факторов:

- числа лопаток ТМ (снижение до 20 дБ);
- расстояния между лопатками ТМ (его увеличение приводит к снижению уровня шума на 5–9 дБ);
- расположения лопаток ТМ (снижение на 7 дБ);
- расстояния между лопатками ТМ и корпусом: уменьшение для осевых и увеличение для центробежных (снижение до 20 дБ);
- применение стабилизирующих устройств для выравнивания потока среды перед ТМ (до 18 дБ).

Внутренняя облицовка звукопоглотителем спирального корпуса центробежного вентилятора может дать снижение на 4–6 дБ [3].

Самым мощным источником шумового воздействия на окружающую среду является выброс пара в атмосферу, при котором происходит временное превышение уровня звука на 30–40 дБ в радиусе нескольких километров. Причиной такого высокого уровня шума является сильная турбулизация струи парового потока. Для уменьшения шума от выбросов

пара применяются установки глушителей шума и отвод пара на другие нужды. Согласно акустическим измерениям, высокие уровни шума сохраняются на расстоянии 1–15 м от парового выброса котла, превышая не только допустимый, но и максимально допустимый уровень шума (110 дБ) на 6–28 дБ. Поэтому необходимо применять не только средства коллективной защиты, но и средства индивидуальной защиты:

- противошумные наушники;
- противошумные вкладыши (обеспечивают достаточную защиту до 120 дБ);
- при недостаточном снижении шума от противошумных наушников и вкладышей, можно применять наушники и вкладыши вместе;
- противошумные шлемы и каски, обувь;
- противошумные костюмы.

Средства индивидуальной защиты позволяют снизить уровень воспринимаемого шума на 7–38 дБ[1].

## Литература

1. Фролов А.В., Бакаева Т.Н. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: учеб. пособие. 2-е изд. доп., перераб. Ростов-н/Д: Феникс, 2008. 751 с.
2. Тупов В.Б. Эффективные решения по снижению шума от энергетического оборудования ТЭС и котельных [Электронный ресурс]. URL: <http://www.combienergy.ru/stat/1203-Effektivnye-resheniya-po-snijeniyu-shuma-ot-energeticheskogo> (дата обращения: 04.03.2020).
3. Тупов В.Б. Снижение шумового воздействия от оборудования в энергетике [Электронный ресурс]. URL: <http://tw.mpei.ac.ru/ТТНВ/4/Тупов/> (дата обращения: 05.03.2020).

## Секция 9. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК: 620.92

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Амиров Д.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

amirowdenis@yandex.ru

Науч. рук. Зацаринная Ю.Н.

Приводятся результаты решения актуальной проблемы, возникающей при эксплуатации солнечных панелей, такой как загрязнение их фронтальных поверхностей. Автором был разработан автономный и надежный метод очистки с низким энергопотреблением и отсутствием вероятности затенения панели. В связи с отмеченными критериями была создана автоматизированная система с небольшим сроком окупаемости.

**Ключевые слова:** загрязнение солнечных панелей, очистка солнечных панелей, фотоэлектрическая панель, система очистки, проблемы солнечной энергетики, эксплуатация ФЭП, Arduino.

Последние несколько лет многие страны начали менять свое отношение к энергетической отрасли и к используемым ресурсам. Одним из существенных предпосылок к этому стало подписание в 2015 г. Парижского соглашения по климату, которое объединило усилия мировых держав по сдерживанию изменения климата на планете. Многие страны приняли новые стратегии и разработали дорожные карты по привлечению просьюмеров к использованию возобновляемых источников энергии. По данным Международного энергетического агентства (МЭА) [1] в Европе прогнозируется ежегодное увеличение потребления электроэнергии на 1,4 % до 2030 г., разработанная ими дорожная карта 20501 направлена на сокращение выбросов парниковых газов, путем интеграции распределенных и возобновляемых источников энергии [2].

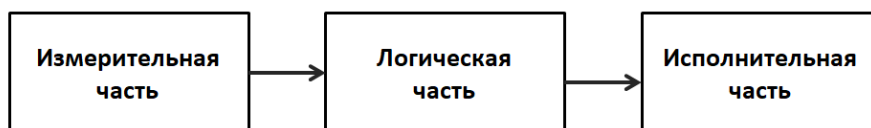
Россия движется по похожему пути, о чем свидетельствует принятие федерального закона № 471 от 27 декабря 2019 г. «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации», согласно которому просьюмеры, имеющие объект

микрогенерации, например солнечную панель, смогут продавать излишки выработанной электроэнергии. Энергия солнца является одним из самых перспективных направлений для домохозяйств. Однако актуальной задачей солнечной энергетики является вопрос, связанный с очисткой фронтальных поверхностей фотоэлектрических панелей (ФЭП). Проблема приводит к колоссальным экономическим потерям, по данным проведенных анализов для России цифра находится в районе 15 млн в год [3]. Это связано со снижением выходной мощности в случае нерегулярной очистки поверхностей фотоэлектрических панелей.

На сегодняшний день существует несколько методов очистки солнечных панелей, но ни один из них не получил широкого применения по разным причинам, к которым относятся техническое несовершенство предлагаемой модели, дороговизна устройства, невозможность использования в тех или иных климатических условиях высокое потребление электроэнергии, не оправдывающее капиталовложения.

Автором тезиса была поставлена цель - разработать автономный и надежный метод очистки фронтальных поверхностей панелей с низким энергопотреблением и отсутствием вероятности затенения панели. В связи с отмеченными критериями в качестве основы построения автоматизированной системы была взята платформа Arduino, отличающаяся высокой надежностью и низким энергопотреблением, что позволит сделать очистку автоматизированной и экономически эффективной.

Прибор для очистки солнечных панелей, выполняемый с помощью аппаратной платформы Arduino, должен состоять из трех обязательных частей (см. рисунок): измерительная, логическая и исполнительная части.



Структурная схема устройства по очистке солнечной панели

Измерительная часть представляет собой совокупность аналоговых датчиков, сенсоров, переменных резисторов и резистивного делителя напряжения. Каждый из них обладает как достоинствами, которые позволяют сделать систему гибкой, так и недостатками, ограничивающими возможность системы. По этим причинам, чтобы учесть большее количество факторов, оказывающих пагубное воздействие на выходную мощность панели, предполагается комбинировать измерительную часть

из нескольких датчиков, фиксирующих различные сигналы, поступающие из окружающей среды. Так, например, использование фоторезистора, меняющего свое сопротивление при изменении освещения, и инфракрасного барьера, который в системе очистки отслеживает наличие на поверхности модуля снега, листьев и других крупных предметов, позволит уменьшить число ложных срабатываний приводов исполнительной части и сэкономить электроэнергию, затрачиваемое на это включение.

К логической части относится программный комплекс, в котором записаны уставки срабатывания и отключения, циклы, отменяющие ложную работу исполнительной части ночью, при попадании тени на поверхность панели и в случае отсутствия загрязнений. Он необходим для анализа ситуации, формирования и отправки управляющих сигналов на привод. Программы аппаратной платформы Arduino пишутся для каждого отдельного датчика в среде разработки Arduino IDE на языке программирования C/C++ [4]. При положительном результате компиляции программы в среде разработки проверяется правильность ее работы уже с использованием микроконтроллера, датчиков и приводов исполнительной части.

В системе очистки фотоэлектрических модулей предполагается использование двух двигателей, перемещающихся по рельсам, расположенным в верхнем и нижнем краях солнечной панели. Популярными приводами, которые применяются в проектах автоматизированных систем на основе платформы Arduino, являются двигатели постоянного тока (коллекторные двигатели), шаговые двигатели и сервоприводы.

В результате расчетов были выбраны двигатели постоянного тока, которые являются простыми в эксплуатации, более дешевыми, чем сервоприводы и шаговые двигатели. Также одним из условий, которое повлияло на выбор, является отсутствие необходимости в точном задании положения вала двигателя.

По итогам анализа научно-технической литературы и практических опытов было выявлено, что загрязнение поверхности фотоэлектрических панелей, приносящее экономический ущерб солнечной энергетике, является решаемой проблемой. Возможна сборка и установка автоматизированной системы по очистке уже в настоящее время, для этого требуются небольшие инвестиционные вложения, которые позволят сберечь большое количество электроэнергии.

## Литература

1. Renewables / International energy agency Analysys and Forecasts to 2023. Paris, 2018. 210 p.
2. Micro and Local Power Markets / A. Sumper (ed.). Wiley, 2019. 288 p.
3. Исследование эффективности работы солнечной панели при воздействии на нее загрязнителей / Ю.Н. Зацаринная [и др.] // Труды Академэнерго. 2019. № 1. С. 81–92.
4. Блум Джереми. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства / пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2019. 336 с.

УДК 620.9

### ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ПИТАНИЯ АВТОНОМНЫХ ПУНКТОВ ТЕЛЕМЕХАНИКИ ЗА СЕВЕРНЫМ ПОЛЯРНЫМ КРУГОМ

Афанасьев Д. С.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
afanasevdserg@gmail.com  
Науч. рук. Наумов А.А.

Рассмотрена целесообразность применения различных возобновляемых источников энергии в качестве основных источников питания автономного пунктов телемеханики, находящегося за северным полярным кругом. Было произведено сравнение мощности солнечных панелей и ветрогенераторов, а также сделан вывод в пользу использования последних.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, ветроэнергетика, автономность, северный полярный круг, телемеханика.

При выборе возобновляемых источников энергии для питания любого оборудования, которое должно работать автономно, необходимо оценить, какие источники питания возможно и целесообразно использовать в зависимости от того, где оно расположено, и его суммарного энергопотребления в максимальном режиме. Так, например, для объектов небольшой мощности, расположенных за северным полярным кругом, таких как пункты телемеханики, размещенные для управления добычей сырья из скважин, возведение геотермальных

или гидроэлектростанций является абсолютным нерациональным ввиду большого срока окупаемости и времени на постройку. Поэтому наиболее часто для питания небольших объектов используются ветрогенераторы и солнечные панели.

Ввиду неравномерного распределения солнечной радиации и наличия ветра в зависимости от широты, стоит взглянуть на такие показатели региона, как количество солнечной инсоляции и среднегодовая скорость ветра.

Солнечная инсоляция – это количество электромагнитной энергии, падающей на поверхность Земли, измеряется в кВт·ч/м<sup>2</sup>. Для примера возьмем значения инсоляции для города Мурманск (68°58'45" с.ш.) (табл. 1) [1].

Таблица 1

Показатели солнечной инсоляции по месяцам для г. Мурманск

Месяц	Солнечная инсоляция, кВт·ч/м <sup>2</sup> /сут
Январь	1,18
Февраль	1,06
Март	2,63
Апрель	4,42
Май	5,13
Июнь	5,22
Июль	4,68
Август	3,8
Сентябрь	2,67
Октябрь	1,44
Ноябрь	1,35
Декабрь	1,24
<b>Среднее за год</b>	<b>2,9</b>

Как видно из таблицы, наибольшие значения солнечное излучение в зимние месяцы не превышает 1,24 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Среднегодовая скорость ветра на высоте 10 м, например, в поселке Тазовский (67°28.29' с.ш.), находящемся приблизительно на той же широте, что и Мурманск, составляет, согласно [2], 4,9 м/с, а максимальная – 29 м/с.

Произведем сравнение ветрогенераторов и солнечных панелей по их вырабатываемой мощности (табл. 2): из 2-х ветрогенераторов разных производителей с одинаковой номинальной мощностью выберем наименее производительный.



## Мощность ветрогенераторов фирм Energy Wind и Exmork

Параметр	Ветрогенератор 2 кВт Exmork [3]	Ветрогенератор Energy Wind 2 кВт [4]
Мощность	При 10 м/с – 2500 Вт, 9 м/с – 2100 Вт, 5 м/с – 400 Вт	При 12 м/с – 2000 Вт, 7 м/с – 400 Вт, 3 м/с – 30 Вт

Из таблицы видно, что ветрогенератор Energy Wind при скорости ветра 3 м/с вырабатывает 30 Вт энергии или 2592 кВт·ч/сут.

Посчитаем необходимую мощность солнечной панели для выработки того же количества энергии в феврале по следующей формуле:

$$P_{с.б} = P_{инс} \frac{E_{с.б}}{E_{инс}},$$

где  $P_{сб}$  – номинальная мощность солнечной батареи;  $P_{инс}$  – максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности (1000 Вт);  $E_{сб}$  – выработка энергии солнечной батареей;  $E_{инс}$  – месячная инсоляция квадратного метра (по данным табл. 1).

$$P_{с.б} = 1 \cdot \frac{2592}{1,06} = 2445,28 \text{ Вт.}$$

Так, при средней выработке солнечной панели в 150 Вт/м<sup>2</sup>, для размещения батарей нам потребуется площадь приблизительно в 16 м<sup>2</sup>, что не сопоставимо с пространством для установки одного ветрогенератора.

Очевидно, что наибольшие затраты энергии приходятся на зимние месяцы из-за необходимости применения отопительного оборудования, предназначенного для обогрева устройств, расположенных в шкафу телемеханики. Ввиду этого использование солнечных панелей в Заполярье нецелесообразно из-за их низкой эффективности зимой. Поэтому в качестве основного источника энергии для автономного пункта телемеханики наиболее уместным является использование ветрогенератора.

## Литература

1. Значение солнечной инсоляции в г. Мурманск (Мурманская область) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.betaenergy.ru/insolation/murmansk> (дата обращения: 25.02.2020).
2. Ветра в Ямало-Ненецком автономном округе [Электронный ресурс]. URL: <http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/ural/yamaloneneczkij-avtonomnyj-okrug> (дата обращения: 25.02.2020).
3. Exmork 2 кВт, 48 v [Электронный ресурс]. URL: <https://invertory.ru/product/vetrogenerator-exmork-2-kvt-48-volt/> (дата обращения: 25.02.200).
4. Ветрогенератор Energy Wind 2 кВт [Электронный ресурс]. URL: <http://energywind.ru/katalog/vetrogenerator/vetryak-energywind-2000w> (дата обращения: 25.02.2020).

УДК 621.397.13

### ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ГОРОДСКИХ РЕКРЕАЦИЙ И ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

Виноградов В.А.<sup>1</sup>, Галушак В.С.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»,  
г. Камышин

<sup>1</sup>valdemarkrus@gmail.com

Науч. рук. Галушак В.С.

Представлена разработанная авторами система видеонаблюдения с питанием от возобновляемых источников энергии. Особенностью такой схемы питания является её повышенная живучесть, так как устройство не имеет никаких инженерных коммуникаций и не связана с районом, где она расположена. Это даёт значительные преимущества перед применяемыми в настоящее время системами видеонаблюдения как с точки зрения монтажа, эксплуатации, так и точки зрения экономичности, поскольку система не требует покупной электроэнергии для своего функционирования. Представлено описание действующего головного образца такой системы.

**Ключевые слова:** видеокамеры, питание, солнечная батарея, ветроагрегат, аккумулятор, видеонаблюдение.

Актуальность данной работы вызвана тем, что террористические проявления вызывают тяжёлые последствия для общества и требуют принятия исчерпывающих мер по их предотвращению, в том числе и развитием технических средств. В Российской Федерации принят ряд законодательных актов, направленных на активизацию этой работы [1, 2].

Одной из самых эффективных мер по противодействию терроризму является установка систем видеонаблюдения в местах массового нахождения людей и других городских рекреаций, а также на транспортных узлах [3]. В то же время, надёжность работы системы видеонаблюдения во многом определяется надёжностью электропитания её элементов. Обычно принятые схемы питания от городских электрических сетей для питания видеокамер не могут быть признаны эффективными в антитеррористической деятельности, так как при взрыве питающих центров электроснабжения видеонаблюдение оказывается обесточенным и прекращает свою работу. Примером может стать случай ограбления музея в Дрездене, когда преступники подожгли трансформаторную подстанцию, обесточив район и выведя из строя всю систему сигнализации и видеонаблюдения [4]. В связи с этим актуальным является создание системы видеонаблюдения, имеющей электроснабжение, независимое от города или поселения. Авторами предложена энергонезависимая система видеонаблюдения с питанием видеокамер от возобновляемых источников энергии [5]. В технологической схеме установки используются солнечные батареи и ветроагрегат с управляемым воздушным потоком:



Электрическая схема системы содержит, кроме генерирующей части, систему накопления энергии в аккумуляторах и контроллер заряда аккумуляторов.

Новизна предложенной системы состоит в том, что применён солнечно-ветровой комплекс с общим временем генерации 5700 ч/год, что обеспечивает круглосуточное круглогодичное функционирование системы в дневное и ночное время. Новые технические решения по генератору с управляемым воздушным потоком защищены патентом РФ на полезную модель [6].

Система оборудована цифровыми камерами C-QH61SIP4E и для её работы необходимы: сигнал WI-FI, смартфон на операционной системе «Android» или «iOS» или ПК под управлением «Windows» с установленным приложением для работы и настройки камер.

Автором статьи произведён расчёт цепей питания видеокамер и выполнен их монтаж. Значительная часть работы заняла отладка программного обеспечения в сочетании с возможностью представления видеоизображения на удалённых мониторах в он-лайн режиме. Технические характеристики системы приведены в таблице.

Технические характеристики энергонезависимой системы видеонаблюдения

Характеристика	Значение
Мощность солнечных батарей, Вт	350
Мощность ветрогенератора, Вт	50
Ёмкость аккумулятора, А·час	55
Напряжение сети, В	12
Номинальная инсоляция, кВт/м <sup>2</sup>	0,8
Номинальная скорость ветра, м/сек	7
Дальность видеонаблюдения (днём), м	800
Дальность видеонаблюдения ночью, м	20
Режим работы	круглосуточно, круглогодично
Категория размещения	1
Габариты, мм	1510×550×1800
Масса, кг	78

Помимо высокой устойчивости энергоснабжения установка даёт значительный экономический эффект, так как для её функционирования не требуется покупная электроэнергия, что экономит финансовые средства пользователей.

### Литература

1. О противодействии терроризму [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 30.01.2020).
2. О транспортной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ. Доступ из справ.-прав. системы «Гарант» (дата обращения: 30.01.2020).
3. О требованиях по обеспечению транспортной безопасности [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 10 декабря 2008 г. № 678. Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 30.01.2020).

4. Ограбление музея в Дрездене [Электронный ресурс]. URL: pektr.press/ograblenie-na-milliard-v-muzee-drezdena-prestupniki-pohitili-cennye-yuvelirnye-ukrasheniya-18-veka-shokirovav-vsyo-ge (дата обращения: 30.01.2020).

5. Галушак В.С. Сошинов А.Г. Белик А.А. Энергонезависимая система видеонаблюдения и фиксации противоправных проявлений // Терроризм и экстремизм как угрозы национальной безопасности России: сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. Стерлитамак, 2018. С. 12–14.

6. Предохранительное устройство силового кабеля ветроагрегата: п. м. 18869 Рос. Федерация № 22018131336; заявл. 30.08.18; опубл. 10.01.19, Бюл. № 1.

УДК 620.92

## СИСТЕМА ВЕТРОМОНИТОРИНГА ДЛЯ СТОИТЕЛЬСТВА ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Гайнутдинов Р.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ГАУ «Центр энергосберегающих технологий РТ при Кабинете Министров РТ»,

г. Казань

xrustyk@yandex.ru

Науч. рук. Тимербаев Н.Ф.

Предложена разработка системы ветромониторинга для анализа и выбора наиболее рационального месторасположения ВЭУ. Энергия ветра в течение длительного времени рассматривается в качестве экологически чистого неисчерпаемого источника энергии. Прежде чем энергия ветра сможет принести значительную пользу, должны быть решены многие проблемы, главные из которых: высокая стоимость ветрогенерации. Снижение себестоимости генерации электроэнергии на ВЭУ происходит за счёт рационального расположения ветропарков с применением анализа данных систем ветромониторинга.

**Ключевые слова:** система ветромониторинга, ветропарк, анемометр, возобновляемые источники энергии.

В работе были рассмотрены возможные варианты структурной схемы проектируемой системы ветромониторинга. В разрабатываемой системе ветромониторинга выбраны следующие элементы и микросхемы:

1) источник питания – 4 никель-металлогидридных аккумулятора NH-D10000 фирмы Camelion емкостью 10000 мА·ч каждый и номинальным напряжением 1,2 В [1, с. 99];

2) аккумуляторным отсеком служит модель ВН-143 фирмы Comfortable Electronic [2, с. 78];

3) стабилизатор напряжения с двумя независимыми выходами – ADP223;

4) датчик температуры – ADT7420 (стоимость поверки которого составляет 42,5 долл.);

5) преобразователь интерфейсов UART-RS-485-ADM2481, микроконтроллер – PICAXE28X2 [3],

6) в качестве вторичного преобразователя скорости ветра в частоту импульсного сигнала выступает фотопрерыватель Toshiba TLP1254 [4],

7) DC-DC преобразователем для гальванического разделения питания преобразователя UART-RS-485 служит преобразователь TI Tida-00349.

Были рассмотрены трехчашечные и четырехчашечные конструкции вертушек анемометров. Произведен приблизительный расчет максимальных полных коэффициентов  $C_N$  для обоих типов вертушек при разных условиях обдува. Также были рассмотрены чаши разных форм. На основании расчетов и анализа литературы выявлено, что трехчашечная вертушка предпочтительнее к использованию [5, 6]. Были описаны конструкции следующих компонентов системы ветромониторинга: защитного корпуса в виде будки Селянинова [7, с. 69], анемометра с установочной трубкой и датчика скорости ветра.

Описаны следующие алгоритмы работы системы ветромониторинга: основной цикл работы, алгоритм процесса измерения средней скорости ветра за промежуток времени  $t$ . Данный промежуток выбирается пользователем и передается по UART в микроконтроллер. Также был рассмотрен алгоритм работы обработчика прерываний и обработка сообщений с разными идентификаторами операций.

## Литература

1. Camelion Ni-MH NH-D10000 1,2V Accumulator battery. Data sheet. [Электронный документ]. URL: <http://lib.chipdip.ru/073/DOC000073250.pdf> (дата обращения: 30.01.2020).

2. Comfortable Electronic battery type D DH-143. Users guide. [Электронный документ]. URL: <http://lib.chipdip.ru/054/DOC000054743.pdf> (дата обращения: 30.01.2020).

3. Half-Duplex, iCoupler Isolated RS-485 Transceiver ADM2481. Data sheet. [Электронный документ]. URL: <http://www.farnell.com/datasheets/1793950.pdf> (дата обращения: 16.12.2019).

4. TOSHIBA Photointerrupter Infrared LED + Photo IC TLP1254(C6). Data sheet. [Электронный ресурс]. URL: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/toshiba/2417.pdf> (дата обращения: 30.01.200).

5. Kristensen L. The Perennial Cup Anemometer // Wind Energy. 1999. Vol. 2. Pp. 59–75.

6. Santiago Pindado, Imanol Pérez, Maite Aguado. Fourier analysis of the aerodynamic behavior of the cup anemometers [Electronic resource] // Measurement Science Technology. 2013. Vol. 24. URL: <http://oa.upm.es/30659/1/2013MST.pdf> (date of the application: 30.01.2020).

7. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: учеб. пособие. М.: МГУ, 2012. 584 с.

УДК 621.311.243

## ПЕРСПЕКТИВА ПЕРЕХОДА С УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА АЛЬТЕРНАТИВНУЮ

Еманов С.И.<sup>1</sup>, Братков А.Б.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ИСТиД филиал СКФУ г. Пятигорск

Науч. рук. Колесников Г.Ю.

Ставится вопрос о снижении использования угольной энергетики и замена её альтернативными методами, работающими на возобновляемых источниках для улучшения экологического состояния в мире и Российской Федерации, в частности.

**Ключевые слова:** угольная энергетика, альтернативная энергетика, экология.

На данный момент в мире более 38 % энергии вырабатывается угольными электростанциями, это обусловлено дешевизной топлива, на этом их плюсы заканчиваются, они требуют расположения рядом с угольными карьерами, выбрасывают огромное количество вредных выбросов в атмосферу, имеют низкий КПД, высокие затраты на ремонт и обслуживание. Но этот метод генерации электроэнергии уже устарел.

В России уголь в качестве топлива используют более 140 ТЭС, а котельных – десятки тысяч, в результате их работы образуется более 22 млн т золо-шлаковых отходов (ЗШО) в год, с 1990 г. (рис. 1) в общем скопилось уже более 2 млрд т ЗШО, а объём утилизации не увеличивается более чем на 4–6 млн т/год (рис. 2). Санкционированные хранилища переполнены и это создаёт угрозу возникновения несанкционированных и стихийных, а это огромный вред экологии и экосистеме.



Рис. 1. График потребления энергоресурсов



Рис. 2. Отвал ЗШО

Угольные энергоблоки, используемые в РФ, имеют также и высокий показатель вредных выбросов в атмосферу, они составляют 70 % от общего объёма вредных выбросов отрасли (рис. 3), а доля вырабатываемой энергии всего 25 %.



Рис. 3. Выбросы УЭС

Также проблемой угольной энергетики является общее отставание в технологическом развитии. Большая часть оборудования, использующегося на подобных ТЭС, спроектировано ещё 40–50 лет назад и не укладывается в современные экологические нормы, не то что в перспективные.



В энергетически развитых странах, таких как США и Германия, выработка энергии с помощью угля составляет менее 20 % и постоянно сокращается. Во всём мире идёт широкое замещение подобного рода устаревших технологий более современными способами добычи энергии возобновляемыми источниками.

В последнее время мир все активнее применяет ресурсы «зеленой» энергетики. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) начинают использовать вместо традиционных углеводород. Солнце и ветер экологически безвредны, а запасы данных источников неисчерпаемы, поскольку не расходуется в процессе использования. Альтернативная энергетика уже стала бизнес-целью многих стран.



Рис. 4. Объём увеличения использования ВИЭ

Доля ВИЭ (учитывая гидроэлектростанции) по состоянию на 2017 г. составляет почти 25 % от общей выработки электроэнергии в мире (рис. 4). Ветряная и солнечная электроэнергетика набирает обороты за счёт климатической политики в развитых странах, а также за счёт удешевления строительства солнечных установок и ветряков. Это расширило возобновляемые мощности развивающихся стран (рис. 5). Солнечные станции отвечают за 20 % дополнительной выработки электроэнергии в 2017 г., а доля ветряков – 30 %. Возобновляемые источники энергии покрывают 1/3 энергетического микса в Европе, 1/4 в Китае и 1/6 в Соединенных Штатах, Индии и Японии.

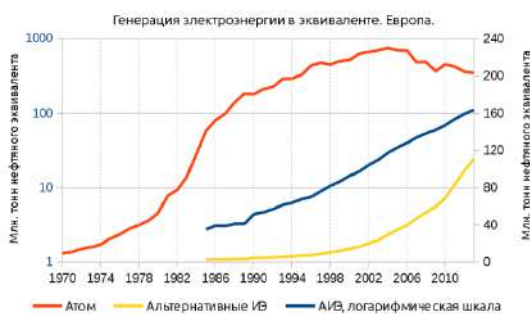


Рис. 5. График генерации атомной и альтернативной энергии в Европе

В РФ уже действует 35 солнечных электростанций, 15 ветряных и более 51 объекта строится. В связи с этим необходимо интенсифицировать процесс перехода на альтернативные источники энергии, повысить уровень контроля и учёта, перераспределения электроэнергии, повысить число энергоисточников частных производителей для снижения пикового из стандартных сетей электроснабжения.

## Литература

1. Климов С.Л. Угольная промышленность и энергетическая безопасность стран мира. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2002. 672 с.

2. Горный информационно-аналитический бюллетень [Электронный ресурс]: научно-технический журнал. URL: <https://giab-online.ru/> (дата обращения: 30.01.2020).

3. Энергетика: история, настоящее и будущее [Электронный ресурс]: в 5 кн. Кн. 1. От огня и воды к электричеству / С.Г. Плачкова [и др.]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-1/part-2/section-7> (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 629.92 (430)

## ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ГЕРМАНИИ

Зейнетдинова Р.Р.

ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань

Railua.bya@gmail.com

Науч. рук. Мамина Л.В.

Рассматривается вопрос о возобновляемых источниках электроэнергии в Германии, какова доля выработки электроэнергии в Германии с помощью ветрогенераторов на суше и на море и прогнозы на дальнейшую работу возобновляемых источников.

**Ключевые слова:** электроэнергия, ветрогенератор, безопасность, Германия, возобновляемая энергетика, ветер, ветровая станция, электрические станции.

Электроэнергия в Германии производится многочисленными источниками энергии, но лидерами до 2017 г. были угольные станции. В 2017 г. по производительности возобновляемые источники стали почти

наравне с углем. По прогнозам в 2020 г. энергия, вырабатываемая из энергий ветра, воды и солнца обойдет угольную и выйдет на первое место по производству электроэнергии в Германии.

В этом году Германия побила особенный рекорд: нескольких часов необходимость государства в электричестве в первый раз на 95 % пополнилась за счет возобновляемых источников. Виновниками этого стали сильный ветер, выглянувшее кое-где солнце и малый спрос на электроэнергию из-за праздничных дней. Фактически полностью переход страны, населением 83 млн человек, на «зеленое» электричество продолжался несколько часов. Потом немецкая электроэнергетика вернулась в исходное состояние.

В 2017 г. третья часть всей электроэнергии (33,1 %) в ФРГ производилась из ветра, биомассы, солнца и на гидроэлектростанциях. И это новый рекорд (в 2016 г. было 29 %).

За первую половину 2019 г. в ФРГ из энергии солнца, ветра, воды и из биомассы в первый раз произвели больше электроэнергии, чем на атомных и на угольных ЭС.

В саксонском городе Липпендорфе энергетический концерн EnBW на некоторый промежуток времени отключил блок угольной ЭС. Причина была неординарной: обеспечивать его дальнейшую работу стало невыгодно и убыточно.

Результат показал себя за короткий промежуток времени и поразил многих: за шесть месяцев в Германии возобновляемые источники (ВИЭ) впервые произвели больше энергии, чем угольные и атомные ЭС. Часть электроэнергии, выработанной из энергии возобновляемых источников, составила 47,3 %. На уголь и АЭС досталось 43,4 %, еще 9,3 % электроэнергии получили из газа, а оставшиеся 0,4 % – из иных источников, в том числе, нефти.

Из-за того, что увеличился объем произведенной электрической энергии из энергии солнца и ветра и из-за уменьшения работы угольных электростанций, уменьшились выбросы углекислого газа. В первой половине 2019 г. этот показатель был примерно на 15 % меньше, чем за тот же период 2018 г.

Но такая ситуация установилась только на данный момент времени и пока о «завтрашнем дне» говорить рано. Первая половина 2019 г. оказалась очень ветреной и из-за этого мощность электроэнергии, которая выработалась ветряными электростанциями, выросла примерно на 20 % сравнительно с тем же периодом 2018 г.

Энергия ветра очень дешевая, и в мире наблюдается ажиотаж в этой области. В Германии 16 % всей электроэнергии вырабатывается на ветряках, в Дании – почти 40 %. К 2020 г. Китай собирается увеличить в 2 раза выработку на ветряных электростанциях – сегодня производится 4 % всей электроэнергии страны. Обыкновенная ветряная турбина закрывает нужды 1900 немецких домашних хозяйств.

Если возобновляемая энергетика будет развиваться такими же глобальными шагами, то ВИЭ уже в 2020 г. обойдут уголь и станут главным источником электроэнергии в стране. Если смотреть отдельно выработку электричества из каменного и бурого угля, то ВИЭ уже вышли на первое место.

Возобновляемая энергетика уже перегнала атомную энергетику и Германия решила совсем отказаться от нее к 2022 г.: часть АЭС уменьшилась за год с 13 до 11,6 %. В декабре 2017 г. ветрогенераторы (на суше и в море) выработали в два раза больше электричества (14,6 млрд кВт/ч), чем все остальные немецкие АЭС (7,2 млрд кВт/ч). Такие хорошие результаты обеспечили сильные ветра, которые были теплой зимой. Особенно часто штормило и очень плодотворными со стороны ветроэнергетики были сентябрь и октябрь.

Большая часть альтернативной энергии в Германии производится на ветровых станциях. Эксперты определили, что работающие на Северном и Балтийском морях немецкие ветропарки постоянно вырабатывают электроэнергию в течение 363 дней в году, т. е. почти круглый год. Помимо энергии ветра, в Германии электроэнергию также генерируют с помощью солнца, воды и биомассы.

Если принять к сведению такие стремления и то, что к 2022 г. Германия собирается закрыть все АЭС, стоит предполагать прогрессивного увеличения процента альтернативных источников. Уже в 2020 г. возобновляемая энергетика может стать ведущей на рынке страны.

К 2030 г. в Германии собираются довести долю «зеленого электричества» в энергобалансе до 65 %. Этой цели можно будет достичь только при условии, что переход на возобновляемые источники энергии будет осуществляться ускоренными темпами.

Переключение на возобновляемые источники энергии – положительное направление, потому что за счет этого уменьшается загрязнение внешней среды, а люди смогут больше не зависеть от исчерпываемых ископаемых.

## Литература

1. Гурков А. Возобновляемые источники выйдут на 1-е место в энергетике ФРГ в 2020 году [Электронный ресурс]. URL: <https://p.dw.com/p/2qZOV> (дата обращения: 24.01.2020).
2. Мибах Э., Елкина А. Германия бьет рекорды в «зеленой энергетике»: что за этим стоит? [Электронный ресурс]. URL: <https://p.dw.com/p/3MBx9> (дата обращения: 24.01.2020).
3. Исследование воздействия работы ветрогенераторов. Воздействие на живую природу [Электронный ресурс]. URL: <https://vetrodvig.ru/issledovanie-vozdzejstvija-raboty-vetrogeneratorov-vozdzejstvie-na-zhivuuyu-prirodu/> (дата обращения: 24.01.2020).
4. Steve Hanley. Germany Breaks A Solar Record – Gets 85 % of Electricity From Renewables [Электронный ресурс]. URL: <https://cleantechnica.com/2017/05/08/germany-breaks-solar-record-gets-85-electricity-renewables/> (дата обращения: 24.01.2020).

УДК 621.316.1.05

## ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ МЕСТА УСТАНОВКИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Малькова Я.Ю.<sup>1</sup>, Рудник В.Е.<sup>2</sup>, Уфа Р.А.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск

yamalkova96@gmail.com, fordlp006@mail.ru, hecn@tpu.ru

Науч. рук. Уфа Р.А.

В последние годы наблюдается развитие возобновляемой электроэнергетики. Однако доля объектов возобновляемой генерации в суммарной установленной мощности имеет предел, обусловленный рядом сдерживающих факторов, в частности техническим. В статье приведена оценка оптимальности места установки и мощности объектов возобновляемой генерации на примере 15 узловой IEEE схемы в программном комплексе MATLAB/Simulink. Отражены существующие методы проведения данной оценки, а также переменные оценочной функции.

**Ключевые слова:** возобновляемая генерация, оптимизационные методы, оптимальное место и мощность, оценочная функция.

Для мировой электроэнергетики характерна тенденция планомерного увеличения потребления электроэнергии. Так, например, в России суммарное потребление электроэнергии в 2019 г. составило 1059 млрд кВт ч, что превышает суммарное потребление 2016 г. на 3 % [1]. Для покрытия

растущей нагрузки необходим ввод новых генерирующих мощностей, в частности объектов традиционной энергетики – тепловых электростанций, гидроэлектростанций и атомных электростанций. В то же время одним из направлений развития электроэнергетической отрасли России является возобновляемая энергетика.

Среди причин популяризации электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнце, ветер, биомасса и др., является ограниченность мировых запасов углеводородных ресурсов, усугубление мировой экологической обстановки, а также наличие значительных территорий, изолированных от централизованного энергоснабжения, в частности: Крайний Север, Дальний Восток [2] и др.

На 1 января 2020 г. установленная мощность ВИЭ в единой энергетической системе (ЕЭС) России составляет 0,63 % [1]: 1362,72 МВт – солнечные электростанции; 184,12 МВт – ветряные электростанции. Однако существует ряд факторов, препятствующих значительному увеличению доли ВИЭ в ЕЭС России: экономический, нормативно-правовой, технический, географический [3] и др.

Одной из задач технического фактора является исследование параллельной работы ВИЭ и электроэнергетической системы (ЭЭС). В частности, решается вопрос оптимизации режима работы объектов возобновляемой генерации – определение оптимального значения мощности и оптимального места размещения. Рассмотрим на примере модели 15 узловой IEEE схемы (рис. 1) [4] в программном комплексе MATLAB/Simulink. Нагрузка в узлах схемы следующая: 2, 5, 10 и 13 – 63 кВА; 3, 8, 9, 12 и 14 – 100 кВА; 4, 6, 7, 11 и 15 – 200 кВА.

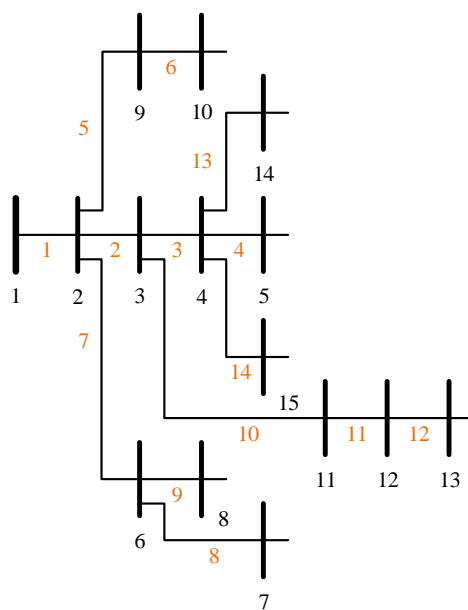


Рис. 1. Схема IEEE 15 узлов

Относительные уровни напряжения в узлах исходной схемы приведены на рис. 2, суммарные потери мощности составили 61,741 кВт, что соответствует значению, представленному в литературе [5].

Оптимальность схемы ЭЭС определяется значением оценочной функции (ОФ). Параметрами ОФ являются потери активной и реактивной мощности, значения относительных уровней напряжения в узлах схемы и др. Ручной перебор возможных мест размещения дополнительной генерации и ее размера – частный случай численных оптимизационных методов. Кроме того, существует ряд аналитических и эвристических методов. Данные методы реализуются программным путем и позволяют значительно сократить время решения задачи оптимизации режима работы объектов возобновляемой генерации.

Минимальное значение ОФ возможно получить сократив потери активной мощности и повысив уровни напряжения в узлах схемы. Поставим поочередно в узлы 13, 12 и 15 исследуемой схемы (рис. 2) с минимальным уровнем напряжения дополнительную генерацию мощностью 100 кВт. При этом суммарные потери мощности составляют 56,196 кВт, 56,172 кВт и 56,422 кВт соответственно. Результатом запуска программной реализации одного из эвристических алгоритмов – метода роя частиц (*particle swarm optimization (PSO)*) – стало решение об установке дополнительной генерации в узел с наименьшим относительным уровнем напряжения – узел 13.

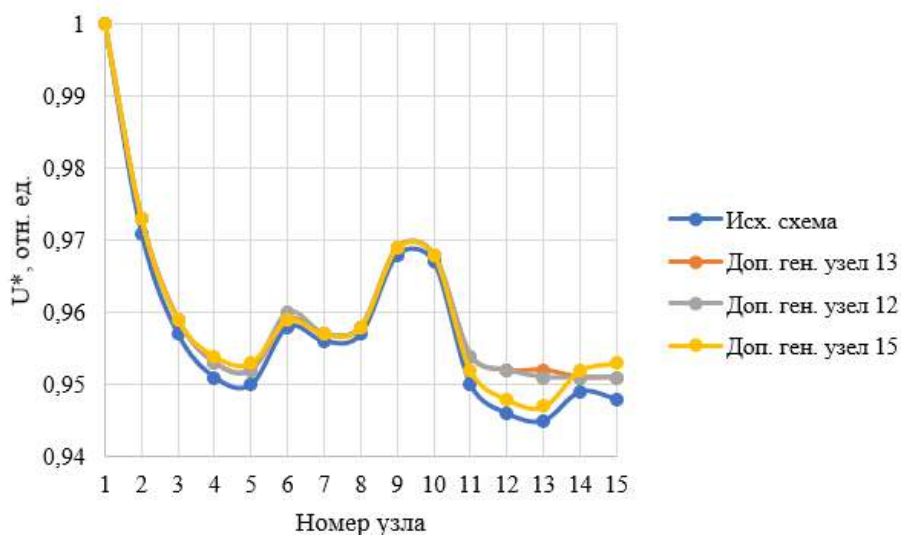


Рис. 2. Относительные уровни напряжения в узлах схемы

Таким образом, оптимальность места установки возобновляемой генерации определяется значением ОФ, параметрами которой являются потери активной и реактивной мощности, относительные уровни напряжения в узлах. Перебор вариантов места и мощности объектов ВИЭ осуществляется

одним из оптимизационных методов. В проведенном эксперименте потери активной мощности сократились на 10 %, относительные уровни напряжения повысились, в частности при установке генерации в узлы 13 и 12, не ниже 0,95.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Госзадание «Наука» № FSWW-2020-0017.

## Литература

1. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году [Электронный ресурс]. URL: [https://so-ups.ru/index.php?id=tech\\_disc2020ups](https://so-ups.ru/index.php?id=tech_disc2020ups) (дата обращения: 04.03.2020).
2. Лившиц С.А. Возобновляемые источники энергии: реальность и перспективы // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017. № 3-1. С. 102–104.
3. Ufa R.A., Vasilev A.S., Malkova Ya.Yu. Analysis of the factors constraining the development of renewable energy in Russia // AIP Conference Proceedings. 2019. Vol. 2135. 3 p.
4. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab / T.D. Sudhakar [et al.] // Indian Journal of Science and Technology. 2016. Vol. 9, Is. 12. Pp. 1–7.
5. Suresh M.C.V., Belwin E.J. Optimal DG placement for benefit maximization in distribution networks by using Dragonfly algorithm [Electronic resource] // Renewables: Wind, Water, and Solar. 2018. Vol. 4. URL: <https://jrenewables.springeropen.com/articles/10.1186/s40807-018-0050-7> (date of the application: 04.03.2020).

УДК 504

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЫБРОСОВ МУСОРΟΣЖИГАЮЩЕГО ЗАВОДА НА СРЕДУ ОБИТАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Мамедов Г.А.<sup>1</sup>, Каминский С.О.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>wolf19980202@gmail.com, <sup>2</sup>zmeya.zlo99@gmail.com

Науч. рук. Аверьянова Ю.А.

Основным преимуществом сжигания отходов считается то, что объем отходов, идущих на захоронение, уменьшается в десять раз. С другой стороны, МСЗ наносят существенный вред окружающей среде и здоровью человека. Они выбрасывают в атмосферу токсичные вещества, в процессе сгорания образуется высокотоксичная зола и пр. Эта проблема не оставила нас равнодушными, поэтому мы изучили способы её решения.

**Ключевые слова:** сжигание, загрязнение, токсины, человек, переработка, завод.



В России в ближайшее время собираются построить четыре мусоросжигательных завода (МСЗ), один из которых будет около Казани, в то время, когда в Европе, где количество отходов постоянно увеличивается, вводятся все новые, более жесткие ограничения на их сжигание. К сожалению, в России таких ограничений пока нет.

Широкий спектр заболеваний был обнаружен у людей как работающих на мусоросжигательном производстве, так и живущих неподалеку. Это рак (у взрослых и детей), заболевания дыхательной и сердечно-сосудистой систем, нарушения иммунитета, рост количества аллергических реакций и врожденных аномалий. Выводы многих исследований, и в первую очередь по онкологическим заболеваниям, касаются в основном старых технологий сжигания отходов. Однако даже и современные технологии, введенные в действие в последние несколько лет, продолжают ассоциироваться с вредом, наносимым здоровью человека.

Несмотря на сокращение количества некоторых химических веществ в выбросах современных МСЗ ряд токсикантов до сих пор выбрасывается в атмосферу. Более того, снижение количества, например, диоксинов в отходящих газах приводит к их увеличению в других отходах сжигания. В большинстве же случаев вред, наносимый здоровью человека, не может быть связан с каким-то одним конкретным веществом. Используя известные факты, можно предсказать негативное влияние на здоровье человека как современных, так и реконструированных старых МСЗ.

Повсеместно существует заблуждение, что сжигаемый мусор просто исчезает. На самом деле он всего лишь видоизменяется. По большому счету МСЗ представляют собой производства по «изготовлению» токсичных отходов из сравнительно безопасных материалов.

На МСЗ поступают ТБО, содержащие тяжелые металлы, хлорорганические соединения и другие вредные вещества. Те же тяжелые металлы присутствуют в отходящих газах, золе, шлаках и в других выбросах производства. Сжигание веществ, содержащих хлор, например, поливинилхлорид (ПВХ), приводит к образованию новых хлорсодержащих веществ, таких как высокотоксичные диоксины, которые также выбрасываются в атмосферу. Сжигание не решает проблему устранения токсичных веществ. Они трансформируются и часто становятся еще более токсичными, чем до сжигания.

К загрязняющим веществам в выбросах МСЗ относятся: диоксины, полихлорированные бифенилы (ПХБ), нафталины, хлорбензолы, ароматические углеводороды, летучие органические соединения, тяжелые металлы, в том числе ртуть, кадмий, свинец. Многие из этих веществ

токсичны, не разлагаются и способны к накоплению в живых организмах. Эти свойства делают их наиболее опасными для окружающей среды. Некоторые из них вызывают онкологические заболевания и разрушают гормональную систему человека. Другие вещества, такие как диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) и диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ), вместе с мелкими дисперсными частицами вызывают респираторные заболевания.

Исследования влияния МСЗ на окружающую среду и человека показали, что как старые, так и новые, более современные МСЗ вносят существенный вклад в загрязнение почв тяжелыми металлами и диоксидами с последующим их влиянием на вегетацию растений.

Население находится под воздействием вредного влияния МСЗ, вдыхая воздух, содержащий выбросы производства, и потребляя продукты питания (овощи, молоко, яйца), полученные с загрязненных территорий и имеющие повышенное содержание диоксинов, которое было обнаружено в тканях людей, проживающих в непосредственной близости от МСЗ, в Великобритании, Испании и Японии. У детей из районов современных МСЗ в Испании в моче обнаружены повышенные уровни тиоэфиров (сераорганических соединений) – биоиндикаторов отравления организма. Повышенные уровни некоторых ПХБ обнаружены в крови детей, проживающих вблизи МСЗ в Германии. Ряд исследований показали повышенные уровни содержания диоксинов и их производных, а также хлорфенолов, свинца, мышьяка и ртути в организме работников как старых, так и новых МСЗ. Другие исследования, проведенные с использованием ультрасовременных методов, выявили связь между работой самих МСЗ и многочисленными заболеваниями, возникающими у местных жителей и работников этих производств. Результаты исследований приводят к выводу об опасности функционирования МСЗ в связи с их вредным влиянием на здоровье человека.

Большая часть золы МСЗ подвергается захоронению. Это приводит к загрязнению почв и грунтовых вод. Цементирование золы перед ее захоронением сокращает немедленное поступление в почву тяжелых металлов и других токсических веществ, однако, не предотвращает полностью их проникновение в окружающую среду в результате постепенного вымывания.

Применительно к проблеме переработки мусора «принцип предосторожности» подразумевает полное прекращение сжигания бытовых и промышленных отходов и переход к новому виду управления отходами, основанному на парадигме «сокращение количества – переработка – повторное использование».

## Литература

1. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки: учеб. пособие / Г.К. Лобачева [и др.]. Волгоград: ВолгГУ. 2005. 176 с.
2. Кузнецов Л.Е. Прикладная экобиотехнология: учеб. пособие: в 2 т. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. Т. 1. 629 с.
3. Бродский А.К. Общая экология: учебник для студентов вузов. М.: Академия, 2006. 253 с.
4. Воронков Н.А. Экология: общая, социальная, прикладная. Учебник для студентов вузов. М.: Агар, 1999. 424 с.
5. Гринпис. Российское отделение [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <https://greenpeace.ru/> (дата обращения: 30.01.2020).
6. Природа России [Электронный ресурс]: нац. портал. URL: <http://www.priroda.ru/> (дата обращения 30.01.20).
7. Всероссийский экологический сервер [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ecology.ru/> (дата обращения 30.01.20).

UDC 620.92

## GEOTHERMAL ENERGY IN NEW ZEALAND

Mitrofanov S.E.

KSPEU, Kazan

[mitrofanoff.sewastyan@yandex.ru](mailto:mitrofanoff.sewastyan@yandex.ru)

Scientific adviser Galiakhmetova A.

The thesis considers the energy industry of New Zealand, methods of generating electricity, taking into account the geography and wealth of the earth's bowels of this country, identifies the main milestones in the formation of energy and its development vector in the future.

The goal was set: to study the technology of geothermal energy production and to compare with other methods of generating electricity, highlight the main advantages and disadvantages, as well as assess the contribution of the production of electric energy of geothermal sources to the general energy sector.

**Key words:** energy of New Zealand, natural resources, geothermal energy, electric energy, renewable resources.

New Zealand is a remote piece of land on the edge of the world. It is separated from other Islands and continents by long sea distances. The West coast of the Tasman sea separates the Country from Australia by 1700 km. the Pacific ocean washes the East coast of the country and separates the country from its closest neighbors-in the North, from New Caledonia, by 1000 km; in the East, from Chile, by 8700 km; and in the South from Antarctica by 2500 km.

This country has a developed economy and one of the highest living standards in the world.

New Zealand is located on the border of the Indo-Australian and Pacific seismic rings. Their interaction processes, including rapid uplift of mountain ranges and active volcanic activity, have contributed to a variety of natural resources, such as gas, oil, gold, silver, ferrous Sandstone and coal. In addition to the above, there are extensive reserves of limestone and clays (including bentonite clay), as well as aluminum, titanium ironstone, antimony, chromium, copper, zinc, manganese, mercury, tungsten, platinum, heavy spar and a number of other minerals are often found, but their proven industrial reserves are small [6].

The country is also rich in geysers: there are about 129 geothermal zones in the country, of which about 30 are of industrial importance, and the water temperature there is from 70 to 220°C. Hot water is used for heating homes, as well as for electricity production.

In General, electric energy in New Zealand is produced by burning oil and, mainly, gas, the use of which is explained by the richness of the subsoil and, as a result, the cheapness of energy carriers. But, despite this, a considerable part of the country is occupied by the production of electricity using renewable energy sources-geothermal sources.

The power plant operates by sending geothermal high-temperature liquid to the energy converters. Many installations use hydrothermal dry steam in their operation. Its movement is carried out directly inside the turbine connected to an electric generator. Hot steam is used instead of conventional solid and liquid fuels, so this technology is still used today, although it is somewhat outdated. A more progressive option is considered for steam hydrotherms with indirect action. The hydrothermal solution is heated to a temperature of 182°C or higher. It is pumped into a special evaporator and its rapid evaporation is performed under the resulting pressure. Under the influence of the resulting steam, the turbine shaft is driven. The liquid remaining in the tank can be evaporated in another evaporation device, which makes it possible to increase the power of the unit. In most areas with hot heat sources, the water temperature is quite moderate and does not exceed 200°C, and often it is much lower. This water is used in equipment with a binary cycle and is quite suitable for generating electricity. In this situation, the principle of operation of a geothermal power plant is as follows: in addition to water, a special liquid is used in the system, with a lower boiling point. They both pass inside the heat exchanger, where the heated underground water turns

another liquid into steam. The resulting steam enters the turbine and begins to rotate the blades. This system operates completely in a closed cycle, so there are almost no toxic emissions into the environment. Since water with a moderate temperature is usually found in hot springs, in the future most electrical installations will be switched to this operating mode [3].

The main advantages that speak in favor of geothermal energy are its independence from weather conditions, climate and time of day, as well as the practical inexhaustibility of the resource. Alternative heat energy from the earth's depths can be used in many ways. Water or a mixture of steam and water can be used for hot water or heating purposes, for generating electricity, or for all of these purposes at the same time, it all depends on the temperature.

However, there are also problems associated with the use of geothermal energy, namely, the reverse injection of used water into the underground aquifer system. This is due to the fact that thermal waters contain a lot of heavy metal salts and toxic chemical compounds, and the possibility of dumping processed water into terrestrial reservoirs is excluded.

New Zealand recently announced the completion of the world's largest geothermal power plant. The facility is located near Taupo on the North island of the state. The opening of this power plant is a strategic milestone for the company and a very important achievement in the field of geothermal energy. In this configuration, 100 percent of the liquid is pumped back without water loss and low emissions, minimizing the impact on the surrounding area as much as possible without depleting underground sources. Unlike other forms of sustainable energy, the geothermal option does not depend on weather conditions, in other words, the object can operate around the clock.

Why geothermal energy? Experts, assessing the climate and weather conditions, concluded that neither solar nor wind farms are suitable, since in winter the sky over New Zealand is mostly overcast, and the weather is mostly windless. The geothermal plant, in turn, can supply alternative energy without interruption seven days a week, regardless of weather conditions [2].

## References

1. Popov M.S. Geothermal energy in Russia. M.: Energoatomizdat, 1988. 294 p.
2. New Zealand is switching to alternative geothermal energy? Information portal "Znaete li vy, chto..." [Electronic resource]: URL: <http://faktzafaktom.ru/novaya-zelandiya-perexodit-na-alternativnuyu-geotermalnuyu-energiyu> (date of the application: 30.01.2020).
3. Feofanov J.A. Geothermal power plant. M.: Eco-Trend, 2005. 217 p.
4. Alkhasov A.B. Geothermal energy: problems, resources, technologies. M.: Fizmatlit, 2008. 375 p.

5. Great Russian encyclopedia [Electronic resource]. URL: <https://bigenc.ru/geography/text/2665780> (date of the application: 30.01.2020).

6. Minerals of New Zealand [Electronic resource]. URL: [www.gecont.ru/articles/geo/newzealand.html](http://www.gecont.ru/articles/geo/newzealand.html) (date of the application: 30.01.2020).

УДК 621.311.243+621.57

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Сеу Джару Г.Ж.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[seudjarou@outlook.com](mailto:seudjarou@outlook.com)

Науч. рук. Новиков В.Ф.

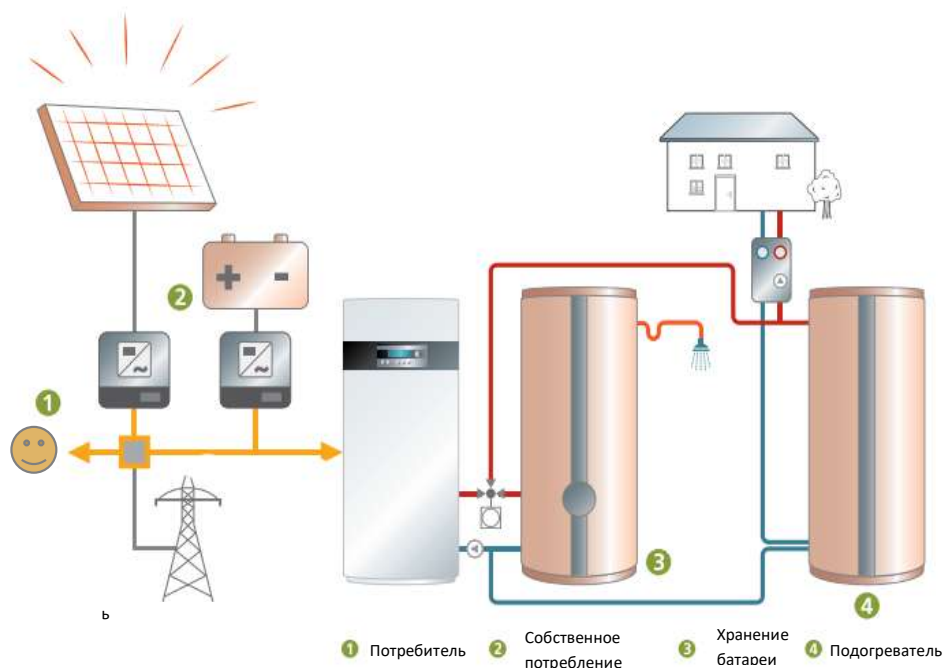
Рассмотрены технические решения, направленные на оптимизацию выработки электрической энергии с использованием солнечной установки и теплового насоса. Представлена система, в которой непосредственное собственное потребление электрической энергии осуществляется за счёт объединения аккумуляторной батареи и теплового насоса.

**Ключевые слова:** солнечная установка, оптимизация, собственное потребление, тепловой насос, электрический ток.

Собственное потребление электроэнергии может быть дополнительно увеличено путём ее выработки тепловым насосом и солнечной панелью. При этом повышение температуры теплового насоса приводит к снижению его эффективности [1, 2].

Имеются две основные возможности для обеспечения связи между тепловым насосом и инвертором. На рисунке приведена фотоэлектрическая система теплового насоса и солнечной панели в сочетании с аккумуляторной батареей и накопителем горячей воды.

Как видно из рисунка, беспотенциальный переключающий контакт инвертора посылает сигнал тепловому насосу при наличии солнечного излучения. Этот сигнал основан на фиксированной величине мощности фотоэлектрической системы солнечной панели, которая учитывает потребности бытовой техники и теплового насоса.



Фотоэлектрическая система в сочетании с аккумулятором, накопителем горячей воды и тепловым насосом с интерфейсом «SG Ready» (нумерация указывает порядок, в котором различные компоненты могут использоваться в качестве накопителя электрического тока)

Вторая возможность заключается в том, что интерфейс SG Ready (SG = Smart Grid) теплового насоса оптимизирует собственное потребление электроэнергии. Это интерфейс, через который можно варьировать несколько рабочих состояний: выключение (максимум 2 ч), рекомендация для нормальной работы, рекомендация по более устойчивой работе (например, повышение температуры, регулятор теплового насоса решает активировать этот режим), пуск, если это возможно [3, 4].

Интерфейс управляется либо инвертором, либо одним из следующих компонентов:

- Smart Meter – электрический КПД теплового насоса, регулируется и используется в качестве критерия переключения. Smart Meter измеряет оставшийся ток после подачи питания на всех остальных потребителей;

- система энергоменеджмента. Такая система еще больше увеличивает потребление электроэнергии. Различные потребители, такие как стиральная машина, сушилка или тепловой насос, могут быть зарегистрированы по их рабочему профилю и, например, включаться через розетки с дистанционным управлением или через интерфейс SG Ready. На основе метеорологических данных система устанавливает прогнозы производства и решает, когда и какого потребителя можно включить.

Smart Relay Box идеально подходит в качестве переключателя для управления тепловым насосом через инвертор. На рисунке показан пример системы, в которой электрическая энергия потребления объединена с аккумуляторной батареей и тепловым насосом. Такие системы позволяют достичь очень высокой доли собственного потребления электрической энергии и её оптимизации. На рисунке нумерация указывает порядок, в котором собственная система управления выработкой и потреблением электрической энергии может управлять различными устройствами. В этом примере ток, вырабатываемый солнечной панелью, используется в основном для прямого потребления. Ток, генерируемый на втором этапе, концентрируется в аккумуляторной батарее, а возможный баланс тока сохраняется в виде горячей воды благодаря тепловому насосу. Затем эту горячую воду можно использовать вечером для отопления помещений и для подачи горячей воды для бытового потребления.

Тепловые насосы могут не только нагревать воду, но и охлаждать её. Это имеет смысл, в частности, если в систему интегрирована фотоэлектрическая установка. При достаточном производстве фотоэлектрических систем здание может быть кондиционировано без электрического тока из сети. Есть две возможности: Первая – активное охлаждение: с воздушными или водяными тепловыми насосами, при этом компрессор работает от солнечной панели. Вторая – пассивное охлаждение – при использовании геотермальных тепловых насосов. В этом случае компрессор не работает, охлаждение обеспечивается только с помощью циркуляционного насоса. Так называемые «модулирующие» или «изобретаемые» тепловые насосы оснащены электронным управлением скоростью компрессора. Мощность нагрева адаптирована к фактическим потребностям, соответственно, к подаче электрической энергии с помощью солнечной панели. Это приводит к уменьшению количества циклов ВКЛ-ВЫКЛ, увеличению продолжительности работы и увеличению доли собственного потребления электрической энергии. Модулирующие тепловые насосы немного дороже, но дополнительные инвестиции обычно окупаются быстро.

## Литература

1. Ayoub Teffal. Тип широтно-импульсной модуляции (синус-треугольник, предварительно рассчитанный). Academia, 2018. С. 2–5.
2. Mazille D., Boitier V. Документация по использованию программного обеспечения PVSyst V.5.



3. Comment optimiser votre taux d'autoconsommation solaire ? [Electronic resource]. URL: <https://terresolaire.com/Blog/rentabilite-photovoltaique/optimiser-taux-autoconsommation-solaire/> (date of the application: 30.01.2020).

4. Consommation propre [Electronic resource]. URL: <https://www.swissolar.ch/fr/themes-principaux/consommation-propre/> (date of the application: 30.01.2020).

5. Monitoring à distance d'installations PV [Electronic resource]. URL: <https://www.vese.ch/fr/fmonitoring-a-distance-dinstallations-pv-pv/> (date of the application: 30.01.2020).

УДК 621.577

## ВЫБОР ТЕПЛОВОГО НАСОСА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Шаймуратов Р.А.<sup>1</sup>, Насырова Е.В.<sup>2</sup>, Леухина О.В.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

<sup>1</sup>[bgdkgeu@yandex.ru](mailto:bgdkgeu@yandex.ru)

Науч. рук. Аверьянова Ю.А.

Определен класс энергосбережения здания жилого дома и подобрана теплонасосная установка в соответствии с тепловой нагрузкой здания. Также приведены требования к персоналу при эксплуатации тепловых энергоустановок.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, система отопления, тепловой насос, теплоснабжение зданий и сооружений, система теплоснабжения.

Теплоснабжение жилых зданий и сооружений путем применения современных тепловых насосов, по мнению ведущих международных строительных организаций, причисляется к одному из числа наиболее приоритетных направлений в развитии энергосберегающих технологий [1].

Системы теплоснабжения с использованием тепловых насосов – теплонасосные системы теплоснабжения – могут применяться для отопления, вентиляции, обеспечения теплотой на нужды горячего водоснабжения и технологических процессов.

В качестве низкопотенциальных (низкотемпературных) источников теплоты могут использоваться:

– вторичные энергетические ресурсы: теплота вентиляционных выбросов, серых канализационных стоков, сбросная теплота технологических процессов и т. п.;

– нетрадиционные возобновляемые источники энергии: теплота окружающего воздуха, грунтовых и геотермальных вод, водоемов и природных водных потоков, солнечной энергии и поверхностных и более глубоких слоев грунта.

В зависимости от сочетания вида источника низкопотенциальной теплоты и нагреваемой среды тепловые насосы (ТН) делятся на следующие типы [2]:

- 1) воздух – воздух (теплота забирается из окружающего воздуха, а в качестве теплоносителя в системе теплоснабжения выступает воздух);
- 2) воздух – вода;
- 3) грунт – воздух;
- 4) грунт – вода;
- 5) вода – воздух;
- 6) вода – вода.

Если взять в расчет особенности климата в нашем районе, воздушные тепловые насосы не способны обеспечить строительные здания необходимой тепловой энергией и недоступность грунтовых вод, так как водоносные пласты находятся на глубине от 200 м, то выбор делаем в пользу теплового насоса с грунтовым коллектором или зондом.

Выбирая между грунтовым коллектором и зондом, при наличии достаточной свободной площади земельного участка и не очень большой глубиной промерзания грунтов, предпочтение отдают коллектору, так как более низкая стоимость земляных работ по сравнению с бурением скважин для вертикальных зондов.

Все тепловые насосы, используемые на мировом рынке, делятся на три класса: «economy», «medium» и «premium». Основными отличиями являются: средний COP тепловых насосов; срок службы; сервис, в том числе гарантийный. Соответственно все это сказывается на стоимости оборудования.

Обогрев помещений в здании планируется осуществлять металлическими низкотемпературными радиаторами Therm X2 Profil-V фирмы Kermi, которые подключаются к системе отопления по двухтрубной схеме. Радиаторы данного типа разработаны специально для систем отопления в режиме низких температур (от 40 °С). К преимуществам этой схемы подключения можно отнести равномерное распределение температур на всем участке отопления, так как в однотрубной схеме радиаторы, расположенные ближе к ТН, по ходу теплоносителя имеют более высокую температуру, чем расположенные в конце участка, а также возможность регулирования температуры каждого помещения отдельно, независимо от других.

Чем меньше температура теплоносителя в системе отопления на выходе из ТН, тем эффективнее тепловой насос. Поэтому в системах отопления температура теплоносителя редко превышает 60 °С. Для поддержания требуемого теплового режима в помещениях, учитывая этот параметр, применяют радиаторы с максимальной теплоотдачей при меньших размерах. Такими свойствами обладают металлические радиаторы. Размер металлических радиаторов подбирается в зависимости от температуры теплоносителя в системе отопления, а также тепловой нагрузки помещения. В данной работе радиаторы принимаются по [3] при условиях:

- температура подачи теплоносителя в систему отопления – 65 °С;
- температура на выходе – 40 °С;
- температура в помещении – 22 °С.

В связи с этим был приведен анализ существующих систем теплоснабжения с точки зрения надежности, а также экономичности:

1. Для обеспечения жилого дома тепловой энергией выбираем тепловой насос фирмы Viessmann Vitocal 300-G, номинальной мощностью 10,4 кВт, коэффициентом преобразования COP=5,0 и возможностью регулирования отопительной мощности в зависимости от температуры наружного воздуха.

2. Выбранная система радиаторного отопления с параллельным подключением радиаторов, нагрев воды для нужд ГВС которой производится за счет бойлера косвенного нагрева объемом 400 л, подключенного параллельно к системе отопления.

## Литература

1. Берзан В.П., Робу С.Г., Шит М.Л. Аспекты проблемы стимулирования внедрения тепловых насосов // Проблемы региональной энергетики. 2011. № 1. С. 91–94.

2. Vikertherm [Электронный ресурс]. URL: <http://vikertherm.ru/> (дата обращения: 30.01.20).

3. Представительство производителя отопительного оборудования Kermi в России [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://www.kermi.ru> (дата обращения: 30.01.2020).

4. Тепловые насосы с электроприводом для отопления и приготовления горячей воды в моновалентных или бивалентных отопительных установках [Электронный ресурс]: инструкция по проектированию. URL: <https://www.c-o-k.ru/library/instructions/viessmann/teplovye-nasosy> (дата обращения: 30.01.2020).

## Секция 10. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

УДК: 620.92

### ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

Амиров Д.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань

amirowdenis@yandex.ru

Науч. рук. Балобанов Р.Н.

Приводятся результаты опытов по построению электрических цепей на базе микроконтроллера Arduino Uno для диагностики работы фотоэлектрического модуля и анализа наличия загрязнения на фронтальной поверхности солнечной панели.

**Ключевые слова:** фотоэлектрическая панель, эксплуатация ФЭП, Arduino Uno, резистивный делитель напряжения

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г. вовлечение объектов ВИЭ в топливно-энергетический комплекс страны является важной задачей. В настоящее время возобновляемая энергетика стала мировым трендом. Обоснованность использования возобновляемых источников энергии определяется экономической эффективностью и конкурентоспособностью в сравнении с традиционными энергетическими ресурсами.

Это объясняется следующими факторами:

- 1) неисчерпаемость ВИЭ;
- 2) отсутствие необходимости в транспортировке;
- 3) экологическая безопасность;
- 4) отсутствие топливных затрат [1].

Неисчерпаемость использования солнечной энергетики обусловлена тем, что солнечное излучение – неиссякаемый источник возобновляемой энергии на Земле, во много раз превосходящий ресурсы всех других источников энергии. По оценкам Минэнерго России, сделанным в 1994 г., валовые ресурсы солнечного излучения в России равны

7,07×10<sup>6</sup> ТВт·ч/год [2]. Однако рассматриваемое направление энергетики все еще является слабым соперником для объектов традиционной генерации, и это в первую очередь связано с рядом проблем, которые еще не решены. К ним относятся:

1. Необходимость дальнейшего повышения КПД для сокращения площади полей фотоэлектрических панелей (ФЭП) в связи с ростом стоимости земельных участков, которые требуется отчуждать под солнечные электрические станции (СЭС). Чтобы получить более существенные преимущества для СЭС в сравнении с ТЭС, АЭС и ГЭС, необходимо стремиться к повышению КПД до 30–40 % без удорожания ФЭП, для этого есть определенные предпосылки [3].

2. Повышение долговечности ФЭП со снижением деградации их характеристик не более чем до 3–5 % за 30–50 лет работы (сегодня – 15–20 %). Такая возможность существует, если исключить применение, например, тефларовых пленок для упаковки и герметизации ФЭП, заменив их стеклом.

3. Решение вопросов очистки фронтальной поверхности ФЭП от загрязнений: мойка больших поверхностей полей ФЭП на крупных СЭС – трудоемкий и дорогостоящий процесс.

4. Повышение эффективности работы ФЭП при низкой интенсивности светового потока (в пасмурные дни, в утренние и вечерние часы и т. п.).

5. Снижение зависимости параметров ФЭП от изменений температуры окружающего воздуха (снижение потерь мощности при повышенных температурах) [3].

Актуальной задачей солнечной энергетики является вопрос, связанный с очисткой фронтальных поверхностей фотоэлектрических панелей. Проблема приводит к колоссальным экономическим потерям, по данным проведенных анализов для России цифра находится в районе 15 млн в год [4]. Это связано со снижением выходной мощности в случае нерегулярной очистки поверхностей фотоэлектрических панелей.

Диагностику ФЭП можно осуществлять с помощью микроконтроллера Arduino Uno и резистивного делителя напряжения (рис. 1).

Напряжение солнечной панели  $U_{вх}$  снижается, когда она затемнена пылью, снегом или грязью. Если подключить к солнечной панели параллельно сопротивления большего номинала  $R_{рез1}$  и маленького номинала  $R_{рез2}$ , то можно добиться безопасного включения микроконтроллера в эту цепь, так как на большем сопротивлении будет большее падение напряжения.

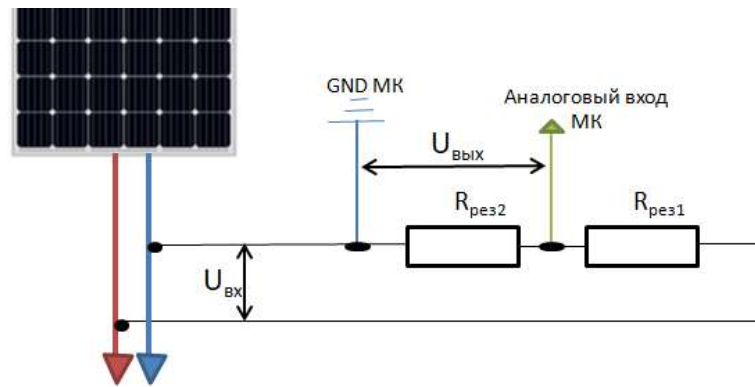


Рис. 1. Резистивный делитель для солнечной панели

При последовательном соединении резисторов ток, который протекает по ветви, будет одинаковым. Следовательно, можно составить соотношение между напряжением, которое выходит с солнечной панели, и напряжением, которое не выведет микроконтроллер из строя. Из этого соотношения можно выразить напряжение на микроконтроллере (рис. 2):

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} \left( \frac{R_{\text{рез2}}}{R_{\text{рез1}} + R_{\text{рез2}}} \right).$$

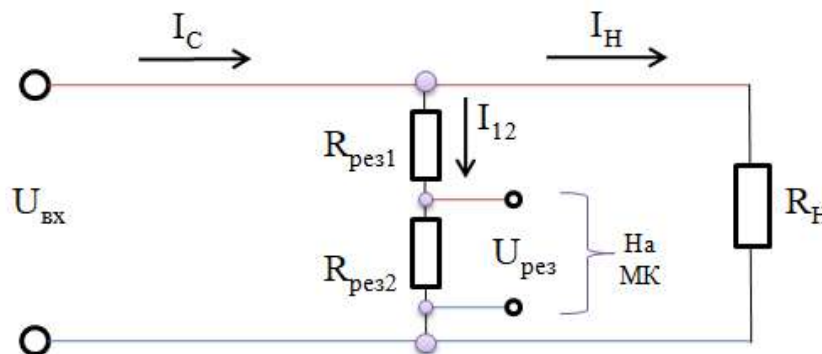


Рис. 2. Схема замещения резистивного делителя напряжения

Основной недостаток метода заключается в том, что в ночное время  $U_{\text{ВХ}}$  будет снижаться, микроконтроллер это воспринимает как наличие загрязнения. Для устранения подобных ошибок следует при программировании микроконтроллера задать зависимость значения срабатывания устройства от времени суток.

Основными плюсами метода резистивного делителя является его простота и надежность, что позволяет использовать его при проектировании автоматизированных систем по очистке солнечных панелей.

## Литература

1. Шешунова Е.В., Борисова М.Л. Эффективность и экология возобновляемых источников энергии // Вестник АПК Верхневолжья. 2016. № 3 (35). С. 87–90.
2. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В.И. Виссарионов [и др.]; под ред. В.И. Виссарионова. М.: ИД МЭИ, 2008. 276 с.
3. Концепция развития распределенной энергетики в России / В.М. Батенин [и др.] // Энергетика. 2017. № 1. С. 1–18.
4. Исследование эффективности работы солнечной панели при воздействии на нее загрязнителей / Ю.Н. Зацаринная [и др.] // Труды Академэнерго. 2019. № 1. С. 81–92.

УДК 621.316.37

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕГАЗОВЫХ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ТРАДИЦИОННЫМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Ахмадеев А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

aazat.97@mail.ru

Науч. рук. Балобанов Р.Н.

Проведен сравнительный анализ элегазовых комплектных распределительных устройств с традиционными распределительными устройствами.

**Ключевые слова:** элегаз, распределительное устройство, отказ, выключатель, надежность, КРУЭ.

В последнее время в отечественной и мировой практике конкретизировались области применения КРУЭ: крупные города с большой плотностью застройки, труднодоступные районы, районы с сильно загрязненной атмосферой, районы с повышенной сейсмичностью и с суровыми климатическими условиями.

В настоящее время КРУЭ от АВВ можно разделить на две категории: напряжением до 170 кВ – почти всегда трехполюсные; на напряжение более 170 кВ – по большей части однополюсны

Элегазовое комплектное распределительное устройство (КРУЭ) при своей высокой стоимости имеет ряд преимуществ над традиционными распределительными устройствами (РУ), поскольку является более надежной электроустановкой, которая занимает меньшую территориальную площадь.

Один из важнейших показателей надежности – параметр потока отказов  $\omega$ , характеризующий частоту их возникновения, 1/год. Как известно, у восстанавливаемых элементов параметр определяется как плотность вероятности возникновения отказов за рассматриваемый период.

Если принять во внимание все ячейки без учета года их выпуска, оказывается, что результирующий параметр потока отказов ячеек снизился за 5 лет с 0,0097 до 0,0075 1/год, т. е. на 30 %. Вероятно, последнее связано с проводимыми работами по совершенствованию конструкций и условий технического обслуживания КРУЭ.

Другой важнейший параметр надежности – время восстановления табл. 1 [2]

Таблица 1

Характеристики времени восстановления КРУЭ

Номинальное напряжение, кВ	Общее время восстановления, ч	Трудозатраты, чел./ч	Доставка запасных частей, ч
От 60 до 100	216	63	30
От 100 до 200	384	58	48
От 200 до 300	192	138	91
От 300 до 500	192	127	74
От 500 до 700	216	160	40
Среднее значение по всем классам напряжения	312	88	57

Приведенные сравнительные характеристики закономерны. Во-первых, аварийно-восстановительные ремонты КРУЭ сложны, так как в ряде случаев связаны со вскрытием газоплотных защитных кожухов. Во-вторых, время восстановления КРУЭ включает отказы всех элементов электроустановки (выключателей, сборных шин, измерительных трансформаторов и др.) [1].

Для сравнительного анализа надежности КРУЭ и традиционных РУ основной интерес представляет параметр потока отказов (табл. 2). Как уже отмечалось, наиболее критичный с позиций надежности элемент КРУЭ – выключатель и его привод.



Таблица 2

## Значения параметра потока отказов выключателей

Номинальное напряжение, кВ	Параметр потока отказов выключателей, 1/год (отн. ед.)		
	КРУЭ	воздушных	масляных
110	0,0073 (1,0)	0,05...0,1 (6,85...13,7)	0,01...0,03 (1,4...4,1)
220	0,0043 (1,0)	0,06...0,15 (14,0...34,9)	0,01...0,07 (2,3...16,3)
330	0,014 (1,0)	0,07...0,2 (5,0...14,3)	–
500	0,0054 (1,0)	0,08...0,2 (14,8...37,0)	–
Итого	0,0038	–	–

Как видно из данных табл. 2 [3], выключатели КРУЭ имеют более благоприятные характеристики надежности: значения параметра потока отказов более низкие – в 1,4...37,0 раз.

Наконец, в заключение представляется полезным кратко затронуть технико-экономические аспекты оценки эффективности использования КРУЭ, поскольку до сих пор бытует мнение о чрезмерно высокой стоимости данного оборудования (табл. 3).

Таблица 3

## Структура затрат на РУ

Составляющие затрат	Затраты, %			
	110 кВ		220 кВ	
	Традиционное РУ	КРУЭ	Традиционное РУ	КРУЭ
Электрооборудование	37,9	67,9	32,3	42,8
Устройства защиты, контроля и управления	12,5	9,0	12,4	8,9
Транспорт, монтаж, пусконаладочные работы, испытания	15,7	11,4	27,7	15,5
Грузоподъемные и земляные работы, фундаменты	25,8	3,9	22,0	6,0
Здания и сооружения	3,2	18,9	2,8	11,9
Прочие	4,9	2,6	2,8	1,6
Приведенные за 30 лет производственные издержки	29,6	4,0	26,5	5,2
Итого	129,6	117,7	126,5	91,9

Сравнительный анализ КРУЭ и РУ с традиционной изоляцией свидетельствует о заметном превосходстве с позиций надежности первых из них. По ряду показателей, таких как параметр потока отказов, периодичность капитальных ремонтов, среднегодовая продолжительность нахождения оборудования в аварийно-восстановительных и плановых ремонтах, КРУЭ обеспечивают более благоприятные (различающиеся до 10 раз и даже более) характеристики. Более того, если учесть приведенные производственные издержки за 30 лет, можно сказать что и в экономическом аспекте КРУЭ является предпочтительным вариантом.

### Литература

1. Аронов М.А., Лопухова Т.В. Элегазовое оборудование высокого напряжения: учеб. пособие. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2010. 112 с.
2. Кузин П.В., Якобсон И.А. Накладка элегазового оборудования. М.: Энергоатомиздат, 1990. 112 с.
3. КРУЭ [Электронный ресурс]. URL: <https://new.abb.com/high-voltage/ru/krue> (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 621-315.1

## РАСЧЁТ БЕЗОПАСНОГО ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ахметьянов Р.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ahmetyaov@mail.ru

Науч. рук. Гайфутдинова Э.Р.

Сообщается о созданной программе расчёта параметров электромагнитного поля вблизи воздушной линии электропередачи (ВЛЭП) и времени безопасного нахождения в ней обслуживающего персонала без экранирующих защитных костюмов. Расчёты в программе, написанной на языке высокого уровня, проводятся по аналитическим формулам методами зеркального отображения и суперпозиции для ВЛЭП разного класса напряжения, анкерных и промежуточных опор с учётом стрел провиса фазных проводов, количества цепей и расстояния между опорами.

**Ключевые слова:** напряжённость электрического поля, воздушная линия электропередачи, безопасность работ в электроустановках.

Вопросы безопасного производства работ в электроустановках играют важнейшую роль при планировании и организации обслуживания ВЛЭП. Разработаны и утверждены нормы времени безопасного нахождения работников в зоне действия электромагнитных полей (ЭМП) [1; 2, с. 303–314; 3, с. 69–70]. Существует ряд измерителей напряжённости ЭМП, например ПЗ-50, позволяющих определить напряженность ЭМП в месте производства работ и легко рассчитать допустимое время пребывания в таком поле. Вместе с тем, такие приборы часто отсутствуют в комплекте оборудования бригад, производящих работы в зоне действующих ВЛЭП. Для вычисления необходимого времени безопасного производства работ в зоне действия ВЛЭП необходимо иметь карту распределения напряжённости ЭМП в различных точках, в которых работы планируется выполнять. В докладе сообщается о созданной программе расчёта параметров электромагнитного поля вблизи воздушной линии электропередачи и времени безопасного нахождения в ней обслуживающего персонала без экранирующих защитных костюмов.

В программе расчёт напряжённости производится по аналитическим формулам. В расчёте напряжённости ЭМП ВЛЭП в различных точках зоны работ использовались метод зеркальных отображений и метод суперпозиции. Расчёт производится в декартовых координатах, а компоненты напряжённости по различным осям в каждой точке поля находятся отдельно и затем находится общая напряжённость ЭМП в этой точке. При расчёте задаётся геометрия расположения фазных проводов на ВЛЭП, которая зависит от класса напряжения, типа опоры, числа цепей, стрел провиса проводов и тросов, наличия или отсутствия грозозащитного троса и т. п. Вывод информации о результатах работ производится двумя способами:

1. В виде графика зависимости напряжённости ЭМП на высоте человека от удалённости от оси ВЛЭП в заданной точке пролёта. На вертикальной оси кроме напряжённости также откладывается максимальное время безопасного пребывания без защитного костюма в этом месте.

2. В виде максимально допустимого времени пребывания человека определённого роста без защитного костюма.

Программа может быть полезна при определении комплектности бригады, производящей работы на ВЛЭП под напряжением, и определения безопасного времени пребывания персонала на рабочем месте.

## Литература

1. СанПиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты: утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 23 февраля 1984 г. № 2971-84 [Электронный ресурс] // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты РФ. URL: <https://legalacts.ru/doc/sanitarnye-normy-i-pravila-zashchity-naselenija-ot/> (дата обращения: 23.01.2020).
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. М.: Энергия, 1979. 407 с.
3. Охрана труда в электроустановках: учебник для вузов / Б.А. Князевский [и др.]; под ред. Б.А. Князевского. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.

УДК 621.315.2.016.2:537.529:519.63

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЯХ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА В СРЕДЕ COMSOL

Бохолдин А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

boholdins@mail.ru

Науч. рук. Усачев А.Е.

Представлены результаты расчётов электрического поля в высоковольтном кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) при наличии различного типа, размера и местоположения дефектов методом конечных элементов в среде COMSOL Multiphysics. Установлена связь между напряжением на центральной жиле кабеля, при котором возникает ЧР в дефекте, и размером и местоположением дефекта типа газового включения.

**Ключевые слова:** модель, высоковольтный кабель, изоляция, сшитый полиэтилен, дефект, частичный разряд.

Среди неразрушающих изоляцию методов диагностики изоляции высоковольтных конструкций наиболее выгодно выделяется метод ЧР [1–3]. Метод ЧР широко используется при непрерывной диагностике под рабочим напряжением изоляции генераторов, силовых трансформаторов,

высоковольтных кабелей и других видов аппаратов высокого напряжения (АВН). Вместе с тем, при интерпретации результатов измерений характеристик ЧР в настоящее время нет установившегося подхода к учёту их особенностей в различных АВН. В докладе сообщается об установленной связи между напряжением на центральной жиле кабеля, при котором возникает ЧР в дефекте, размером и местоположением дефекта типа газового включения.

Расчеты электрических полей производились в интерактивной среде для моделирования *Comsol Multiphysics*. В качестве объекта моделирования была выбрана изоляция высоковольтного одножильного кабеля марки ПвПг-1×240(95)-64/110 с центральной медной жилой сечением 240 мм<sup>2</sup> и медным экраном 95 мм<sup>2</sup> с изоляцией из сшитого полиэтилена на класс напряжения 110 кВ. Моделировались сферические дефекты, расположенные в изоляции вблизи поверхности жилы, между жилой и экраном и вблизи экрана, различными радиусами от 0,05 до 1 мм. Типичный результат расчёта представлен на рисунке.

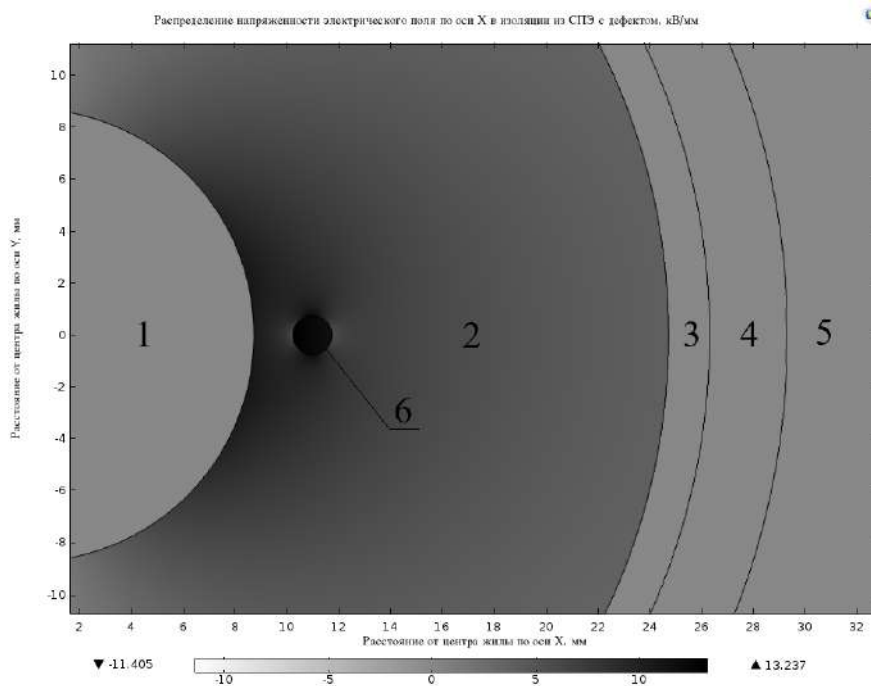


Рис. 1. Распределение напряжённости электрического поля в кабеле: 1 – жила; 2 – изоляция; 3 – экран; 4 – оболочка кабеля; 5 – внешняя среда, грунт; 6 – дефект типа газовое включение радиусом 0,75 мм

Для такого размера дефекта при температуре 90 °С и давлении 1 атм напряжённость электрического поля, при которой возникает ЧР, равна 4 кВ/мм [3].

Такая напряжённость в этой точке изоляции возникает при напряжении на жиле 31,2 кВ. Для каждого размера сферического дефекта установлено напряжение возникновения ЧР. Оказалось, что напряжение возникновения ЧР зависит не только от размера дефекта, но и от его места в изоляции (от расстояния от центральной жилы). Поскольку величина ЧР также связана с размером дефекта, то, зная одновременно с величиной ЧР и фазовый угол его возникновения, можно определить не только размер дефекта, но и его место в изоляции. Построены номограммы, по которым можно, зная характеристики ЧР, определить его размер и положение в изоляции. Предложен алгоритм визуализации результатов измерений ЧР в кабелях по типу, разработанному для турбогенераторов [1], который может быть использован в практике эксплуатации кабельных линий.

### Литература

1. Ба Бораик А.М. Контроль состояния изоляции статоров турбогенераторов методом частичных разрядов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2018. 20 с.
2. Ковригин Л.А. Основы кабельной техники: учеб. пособие. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. 94 с.
3. Ионизация воздуха в околокритическом электрическом поле / А.Ф. Александров [и др.] // Журнал технической физики. 2006. Т. 76, № 3. С. 38–43.

УДК 621.313.3

## ВЛИЯНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ ВИЭ НА СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН НА ГОРИЗОНТЕ 2035–2060 гг.

Валеева Г.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Guzel-valeeva-99@mail.ru

Науч. рук. Зацаринная Ю.Н.

Представлены способы стимулирования развития технологий, связанных с возобновляемыми источниками энергии. Приведена нормативно-правовая база, с опорой на которую происходит развитие в сфере ВИЭ. Также изложена перспектива и спрогнозированы этапы развития в данном направлении.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, глобальный вызов, энергетическая политика, налоги и льготы, энергосистема, Республика Татарстан.

Выбор курса на устойчивое развитие и увеличение доли возобновляемых источников энергии в генерации ставит перед республикой Татарстан задачу поиска ответов на приведенные глобальные вызовы. Нам необходимы стимулы для технологических улучшений и снижения цены экологичных технологий, а также создание эффективного и рационального контроля этих процессов. Поддержка ВИЭ должна заключаться не в привлечении бесконечных денежных масс из государственного бюджета, а путем создания платформы как для производителей, так и потребителей нового типа – просьюмеров, которые используют источники возобновляемой энергии. Государство должно предоставить свободный доступ к рынку, и не только обеспечить необходимое льготное присоединение к единой сети, но и проконтролировать тарификацию на энергию, налогообложение на выбросы и загрязнение природы. На сегодняшний день устранения требуют такие факторы, тормозящие развитие ВИЭ в Татарстане, как почти полное отсутствие рыночной конкуренции, сложности выхода на рынок из-за правовых и технических ограничений, высокие сетевые тарифы и перекрестное субсидирование. Все вышеобозначенные проблемы существуют несмотря на принятие ФЗ № 471 от 27 декабря 2019 г. «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации».

Как «Энергетическая стратегия до 2030 года», так «Стратегия экологической безопасности Российской Федерации до 2025 года», безусловно, являются важными документами энергетической политики, формируют системы регламентов, других норм, определяют цели энергетической политики государства, но носят, по большей части, фискальный характер. Государством, помимо указанных выше (фискальных), были приняты ранее меры, которые никак нельзя назвать бесполезными: и введение платы за негативное воздействие на окружающую среду, и административные штрафы за нарушение законодательства и др.

В Федеральном законе рассмотрены различные механизмы стимулирования развития альтернативных источников энергии. Так, например, установлена норма покупки электроэнергии, выработанной с помощью ВИЭ, для компенсации потерь электросетях. Для того чтобы компенсировать

потери, сетевые компании будут обязаны выкупить энергию, сгенерированную ВИЭ, по установленным Правительством РФ или уполномоченным органом власти тарифам. Еще один стимулирующий фактор развития ВИЭ – получение организациями инвестиционного налогового кредита, если эта организация инвестирует в создание объектов, относящихся к ВИЭ в соответствии с перечнем, утвержденным Правительством Российской Федерации. Согласно Постановлению Правительства РФ № 449 мощность на генерирующие объекты ВИЭ будет поставлена по регулируемым ценам в течение 15 лет, в то время как на традиционные электростанции в течение 10 лет. Этот 15-летний срок устанавливается договорами предоставления мощности (ДПМ) ВИЭ.

Несмотря на такие шаги государства, как регулирование поведения поставщиков и потребителей на рынке (цены, периоды поставки, надбавки, утверждение порядка выдачи и погашения сертификатов и др.), можно сказать, что все сделанное мало стимулирует владельцев производств электроэнергии к модернизации оборудования, им, как и в Европе, необходимы стимулы, а не просто закладывание в себестоимость электроэнергии определенной (да, пусть и небольшой) платы за загрязнение путем сжигания традиционных источников. Нельзя не сказать о том, что тепловые станции (а в ряде случаев источники генерации на ВИЭ) относят к опасным производственным объектам или же особо опасным, технически сложным и уникальным.

Поэтому неизбежно решение вопроса о том, как вводить новое оборудование и эксплуатировать его, как интегрироваться в единую систему. В общем случае этот процесс с правовой точки зрения реализуется следующим образом:

1. Формирование рыночной модели предложения (создание инвестиционного замысла, проведение НИР и ОКР, маркетинговые исследования), а также разработка концепции, принятие решения о возможности реализации проекта, сюда входит и поиск инвесторов.

2. Получение исходной документации, получение лицензии, лицензирование осуществляется в соответствии со ст. 29.3 ФЗ № 35-ФЗ «Об электроэнергетике». При продаже электрической энергии, производимой на генерирующих объектах на праве собственности, функционирующими на основе использования ВИЭ и торфа, только сетевым организациям в целях компенсации потерь энергии в сетях.



3. Получение разрешения на допуск в эксплуатацию отдельных энергоустановок для проведения пробных пусков и отладок осуществляется Ростехнадзором, регламентируется различными документами (например, «Технологическое присоединение к электрическим сетям...», разработанное ФАС РФ и др.).

4. Получение разрешения на допуск в эксплуатацию объекта в целом – начало процедуры присоединения к электрической сети. Проведение комплексного опробования согласно действующим ПТЭ (Приказ Минэнерго РФ № 229 «Об утверждении ПТЭ электрических станций и сетей РФ»), а также заключение договора с сетевой компанией.

Перспективнее всего развивать ВИЭ в удаленных от центральной части страны регионах, таких как Чукотка, Западная и Восточная Сибирь и Дальний Восток, где размещение новых ЛЭП нерационально в связи с большим расстоянием между населенными пунктами. Льготные ставки на 10 лет по налогу на имущество и налогу на прибыль для генерирующих объектов возобновляемой энергии могут стать хорошим стимулом для ветрогенерации солнечной энергетики, так как в них используются капиталоемкие технологии, и благодаря этим льготным ставкам срок окупаемости проектов альтернативных источников энергии уменьшится. Прямая поддержка ВИЭ напрямую благодаря доплатам за выработку электроэнергии от возобновляемых источников из специального нового фонда содействия возобновляемой энергетике тоже будет способствовать развитию ВИЭ в Республике Татарстан.

В итоге можно прогнозировать следующие этапы развития данного направления:

1-й этап (2020–2040 гг.). Модернизация нормативной базы, трансформация единой энергетической системы, в связи с переходом на новые правила рынка, и использование повсеместно цифровых технологий и создание эффективных образовательных платформ в виде корпоративных университетов и бизнес-акселераторов до 2035 года.

2-й этап (2030–2050 гг.). Совершенствование или разработка принципиально новых сервисов по работе с рынком (цифровизация процессов, развитие интернет-сегмента) и создание крупных промышленных ассоциаций со структурой наука–производство–бизнес в области энергетики с высокой долей возобновляемых источников энергии.

3-й этап (2040–2060 гг.). Способствовать созданию благоприятной среды для формирования и развития пользователей «активных энерго-комплексов».

## Литература

1. Ратнер С.В. Финансирование проектов в области альтернативной энергетики и энергоэффективности // Финансовая система. 2013. № 24 (552). С. 12–18.
2. Состояние возобновляемой энергетики 2016: глобальный отчёт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sib-science.info/news/files/tekhnologii-v-fevrale-28022017/ren21gsr2016keyfindingsrussian.pdf> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Шклярук М.С. Возобновляемая энергетика: экономические инструменты поддержки и оценка их нормативно-правового закрепления [Электронный ресурс]. URL: [https://eusp.org/sites/default/files/archive/centres/ENERPO\\_RC/Reports/2015\\_Shklayruk.pdf](https://eusp.org/sites/default/files/archive/centres/ENERPO_RC/Reports/2015_Shklayruk.pdf) (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 537.212

## РАЗРАБОТКА ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТИ ОПОРНОГО ИЗОЛЯТОРА

Гайнутдинов Р.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
rgajnutdinov97@gmail.com  
Науч. рук. Зарипов Д.К.

Предложена модель распределения электрического поля в области расположения опорного изолятора для применения её при разработке датчиков для системы беспроводного контроля изоляции ВЛ и ПС. Был выбран метод проектирования данной модели изолятора с помощью программы Comsol. Получено трехмерное распределение электрического поля и потенциала вокруг расположения опорного изолятора.

**Ключевые слова:** изолятор, электрическое поле, модель, программа Comsol.

При проектировании системы беспроводного контроля высоковольтной изоляции необходимо проанализировать работу датчиков, расположенных вблизи нее. Для этого была создана трехмерная модель распределения электрического поля у опорного изолятора на 110 кВ (рис. 1). Сначала был создан 3D-вид реального изолятора, задан для него электрический потенциал 90 кВ. К этой модели были выбраны все необходимые параметры (рис. 2). Также была создана модель распределения электрического потенциала (рис. 3) [1].

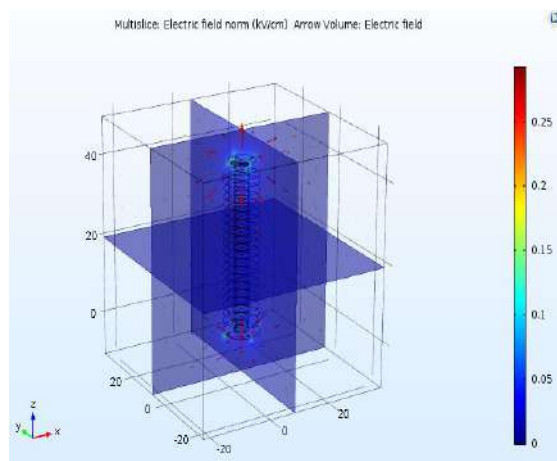


Рис. 1. Распределение электрического потенциала

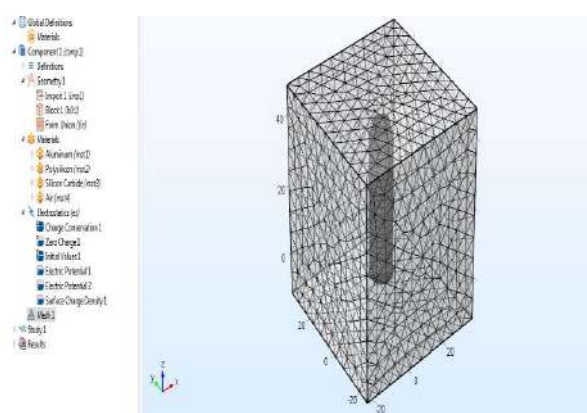


Рис. 2. Дерево и сетка модели

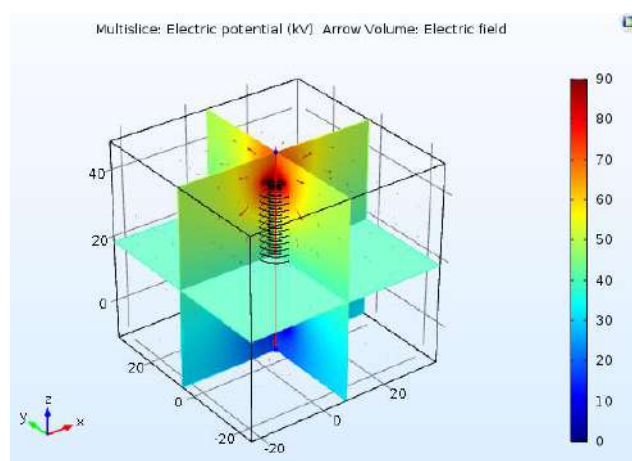


Рис. 3. Распределение электрического потенциала

В дальнейшем модель будет совершенствоваться с учетом наличия шины, положения в пространстве относительно земли и места крепления датчиков беспроводного контроля.

## Литература

1. Электроэнергетика. Моделирование параметров и процессов высоковольтного электрооборудования: практикум / Ю.Н. Бочаров [и др.]. СПб, 2012. 111 с.

УДК 621-314.21

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В СЕТИ С РАЗЛИЧНОЙ НАГРУЗКОЙ, ПРИ УЧЁТЕ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДА В ТРАНСФОРМАТОРАХ

Гайфутдинова Э. Р.<sup>1</sup>, Закиров Д.Ф.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>miraglif07@rambler.ru, <sup>2</sup>qwerty2014dinar@gmail.com

Науч. рук. Усачев А. Е.

Сообщается о моделировании процессов, происходящих в сети высокого напряжения, с различной по величине активной, ёмкостной и индуктивной нагрузками при насыщении магнитопровода трансформаторов. При моделировании использовалась *T*-образная схема замещения трансформатора и линия электропередачи с различными нагрузками. Установлены диапазоны нагрузок различного типа, при которых влияние намагничивания магнитопровода трансформатора на качество электроэнергии в нагрузке следует учитывать.

**Ключевые слова:** насыщение магнитопровода трансформатора, осциллограммы токов и напряжений в нагрузке, обмотка трансформатора, качество электроэнергии.

Насыщение обмотки трансформатора может приводить к резкому изменению его индуктивности и возможности появления феррорезонансных процессов (ФРП). Эта проблема традиционна в электроэнергетике и ей занимаются многие исследователи в мире уже на протяжении более ста лет [1–7]. Вместе с тем, представление трансформатора в виде катушки с переменной индуктивностью в простейших схемах анализа ФРП, присутствующее во многих работах, требует более тщательного обоснования. В работе сообщается о влиянии процессов насыщения магнитопровода трансформатора на осциллограммы токов и напряжений при различной мощности и типе нагрузки. Схема, в которой проводилось моделирование, представлена на рисунке.

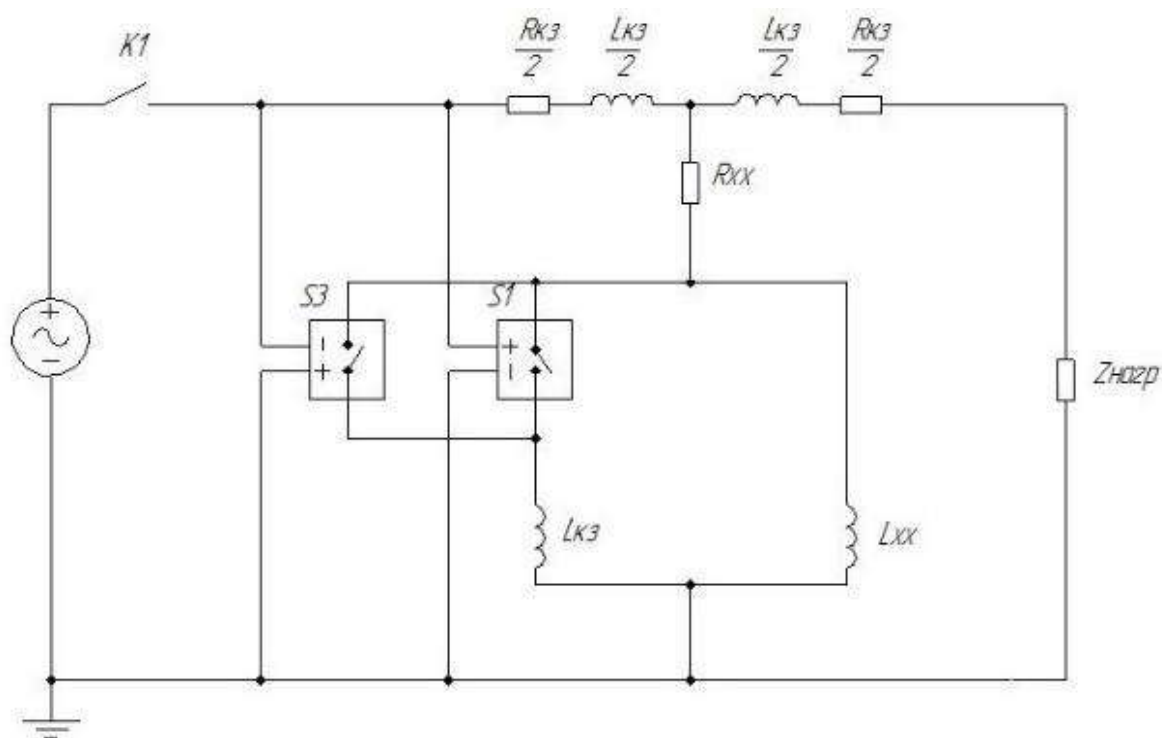


Схема моделирования феррорезонансных процессов

На схеме представлены следующие элементы: источник переменного тока частотой 50 Гц, индуктивности и резисторы катушки трансформатора, индуктивности и резисторы линии электропередачи, нагрузка в виде ёмкости, индуктивности и резистора. Моделирование проводилось при величинах нагрузки от 1 до 100 % от номинальной нагрузки трансформатора.

Процесс намагничивания сердечника трансформатора имитировался включением ключей  $S1$  и  $S3$ . Ключ  $S1$  подключал индуктивность, равную индуктивности насыщения  $L_{K3}$ , к индуктивности холостого хода  $L_{XX}$  в положительный полупериод при напряжениях больше напряжения насыщения. Ключ  $S3$  работает аналогично ключу  $S1$ , но в отрицательный полупериод синусоиды. Время перехода ключей из непроводящего состояния в проводящее выбиралось близкое к времени перехода от индуктивности  $L_{XX}$  трансформатора к индуктивности  $L_{K3}$ .

Символами  $R_{XX}$  и  $L_{XX}$  обозначены сопротивление и индуктивность трансформатора, определяемые в опыте холостого хода, а  $R_{K3}$  и  $L_{K3}$  – сопротивление и индуктивность трансформатора, вычисленные из опыта короткого замыкания. В качестве нагрузки  $Z$  в моделировании использовались активная, ёмкостная, индуктивная нагрузки, а также последовательно соединённые ёмкость и трансформатор. Замыкание ключа  $K1$  имитировало подачу напряжения на трансформатор и нагрузку.

Установлено, что насыщение магнитопровода практически не сказывается при нагрузках более 1 % от номинальной. При подключении ненагруженных линий, которые при моделировании имитировались ёмкостной нагрузкой, после подачи напряжения наблюдались классические затухающие переходные процессы с амплитудой, зависящей от момента включения, частотой, определяемой индуктивностью короткого замыкания трансформатора и ёмкостью нагрузки, и затуханием, зависящем в основном от активного сопротивления КЗ трансформатора. Наиболее сильное влияние насыщения сердечников трансформатора наблюдалось в схеме с комбинированной нагрузкой, состоящей из последовательно соединённых ёмкостной и индуктивной (трансформаторной) нагрузкой.

### Литература

1. Голдобин Д.А., Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Волновые процессы и перенапряжения в кабельных линиях высокого напряжения: учеб. пособие. Новосибирск: НЭИС, 1987. 76 с.
2. Дружинин В.В. Магнитные свойства электротехнической стали. 2-е изд., перераб. М: Энергия, 1974. 238 с.
3. Сиротинский Л.И. Техника высоких напряжений. В 3 ч. Ч. 3, вып. 1: Волновые процессы и внутренние перенапряжения в электрических системах. М: Госэнергоиздат, 1959. 368 с.
4. Ларионов В.П., Базуткин В.В., Сергеев Ю.Г. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: учебник для вузов / под общ. ред. В.П. Ларионова. М.: Энергоатомиздат. 1982. 296 с.
5. Электротехнический справочник. В 4 т. Т. 3. Производство и распределение электрической энергии / под ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова [и др.]. 10-е изд., стереот. М.: ИД МЭИ, 2009. 440 с.
6. Зилес Л.Д. О природе феррорезонанса в электрических цепях // Электричество. 2012. № 1. С. 59–62.
7. Зилес Л.Д. Параметры и области существования феррорезонанса 50 Гц трансформаторов напряжения 110–500 кВ // Электричество. 2014. № 6. С. 25–33.

## **ДУГОГАСЯЩИЕ РЕАКТОРЫ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ. КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–10 кВ**

Галимуллина С.И.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ms.galimullina1997@mail.ru

Науч. рук. Миронова Е.А.

Одним из важнейших достоинств сетей с изолированной нейтралью является возможность сохранения их в работе при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ). Главным критерием отключения потребителей от сети является величина тока в месте замыкания, обусловленная емкостью фаз сети относительно земли, приводящая к возникновению устойчивой дуги и, как следствие, тяжелым авариям. При постоянном развитии сетей происходит увеличение емкостного тока. Одним из способов решения данной проблемы является установка специальных индуктивных аппаратов, например, дугогасящих реакторов (ДГР).

**Ключевые слова:** дугогасящий реактор, однофазные замыкания на землю, емкость, индуктивность, компенсация.

Кабельные линии в городских сетях имеют достаточно большую протяженность и обладают большой емкостью. Это объясняется тем, что кабель представляет собой своего рода конденсатор. Поэтому при появлении в такой сети однофазного замыкания ток замыкания на землю в месте повреждения может достигнуть десятков и даже сотен ампер. При таких токах изоляция кабеля в месте повреждения быстро разрушается и однофазное замыкание на землю переходит в двух- и трехфазное короткое замыкание, что вызывает отключение участка сети выключателем, т. е. перерыв в электроснабжении потребителей. Чтобы возникающая в месте повреждения дуга погасла, необходимо компенсировать емкостный ток замыкания на землю, для чего в нулевую точку сети включают индуктивный заземляющий дугогасящий реактор.

Дугогасящий реактор – электрический аппарат, предназначенный для компенсации емкостных токов в электрических сетях с изолированной нейтралью, возникающих при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) [1].

Между нейтралью трансформатора и землей подключается обмотка катушки  $L$ , обладающая индуктивным сопротивлением (см. рисунок). Данное сопротивление регулируется переключением числа витков. Для принятия необходимых мер по снижению емкостного тока, к катушке подключается трансформатор тока ТА, контролирующий проходящий ток. При таком подключении создается последовательная цепочка из емкости и индуктивности, к которой приложено напряжение источника фазы с поврежденной изоляцией. Емкостной и индуктивный токи находятся в противофазе, сдвинуты на общий угол  $180^\circ$ . Действие емкостного тока ограничивается индуктивным, направленным встречно. В итоге суммарная величина, проходящая через поврежденную изоляцию, значительно уменьшается.

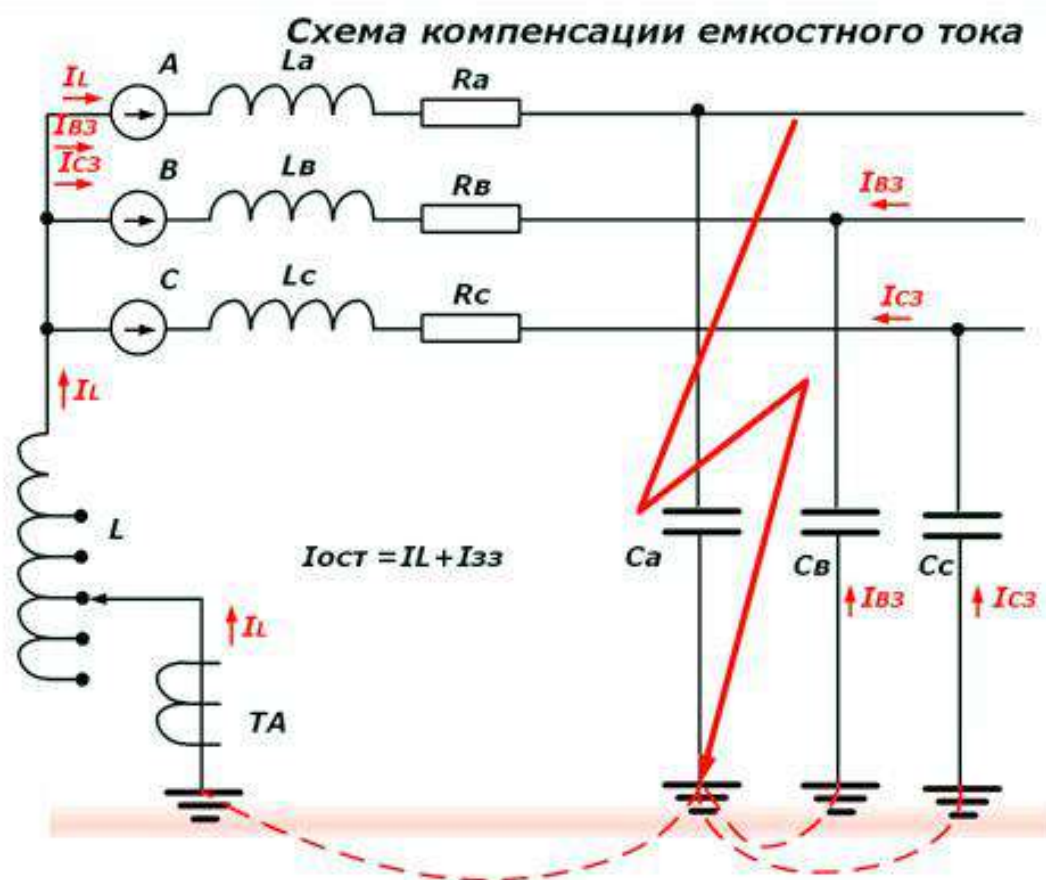


Рис. 1. Схема компенсации емкостного тока



В настоящее время эксплуатируются различные виды ДГР, которые могут создаваться под индивидуальные условия эксплуатации, не требующие специальных настроек или изготавливаться с возможностью регулировки. В связи с этим различаются следующие конструкции магнитопровода: с распределенным воздушным зазором и подмагничиванием, плунжерного типа.

Выбор реактора должен производиться по полному емкостному току сети. Это логично, так как задачей ДГР является компенсация емкостных токов. Расчетная мощность ДГР выбирается по формуле:

$$Q_k = I_c \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}},$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети, кВ;  $I_c$  – емкостной ток замыкания на землю, А.

Емкостной ток рассчитывается по простой формуле:

$$I_c = \frac{\sum l \cdot U_{\text{ном}}}{10},$$

где  $\sum l$  – сумма длин кабельных линий [2].

Полный емкостной ток рассчитывается с учетом дальнейшего развития сети, примерно на 8–10 лет. Если данные о развитии отсутствуют, рекомендуется увеличить расчетную мощность на 20–25 %. Это так же позволяет оставить некоторый запас, при не точном расчете полного емкостного тока на землю.

В заключении хотелось бы сказать, что применение заземления через дугогасящий реактор позволяет увеличить эффективность режима заземления нейтрали до значений 0,8...0,9 и более [3].

## Литература

1. ПУЭ 7. Правило устройства электроустановок [Электронный ресурс]. 7-е изд. URL: <https://tech-expo.ru/pue/> (дата обращения: 14.03.2020).
2. Черников А.А. Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью. М.: Энергия, 1974. 96 с.
3. Базылев Б.И. Дугогасящие реакторы с автоматической компенсацией емкостного тока замыкания на землю. СПб.: Изд-во ПЭИПК, 1999. 184 с.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПОДСТАНЦИИ ЛАЗАРЕВО-1 110/10 кВ**

Гиниятуллин Р.Ф.<sup>1</sup>, Миронова Е.А.<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

radikgin270296@mail.ru, mironova.energo@yandex.ru

Науч. рук. Миронова Е.А.

Рассмотрены применение инновационных решений передвижных подстанции.

**Ключевые слова:** мобильная модульная подстанция, реконструкция, модернизация подстанции, комплектное распределительное устройство.

ПС Лазарево-1 110/10 кВ находится в Уржумском районе Кировской области и обеспечивает электроснабжение потребителей на территории одноименного поселка, включая жилые дома, объекты инфраструктуры и социального назначения. Но основным потребителем является линейная производственно – диспетчерская станция (ЛПДС) Лазарево по перекачке нефти Казанского районного нефтепроводного управления.

Действующее оборудование на подстанции введено в эксплуатацию в период с 1977–1986 гг. В связи с длительным сроком эксплуатации оборудования, подстанция не может обеспечить в необходимом объеме электроэнергией потребителей, к тому же оно технически не в состоянии принимать на себя дополнительную нагрузку, потребность в которой возникает ежедневно. В таких случаях возникает необходимость в реконструкции, модернизации подстанции с применением нового современного оборудования, рассчитанного на удовлетворение существующих потребителей и перспективу подключения новых.

Провести реконструкцию ПС Лазарево-1 110/10 кВ без перерыва в электроснабжении позволит применение мобильных модульных подстанций (ММПС), разработкой которых занимаются такие компании, как: ООО «АВВ», ООО «СПЕЦЭНЕРГО», «ПИТЕРЭНЕРГОМАШ» и Siemens.

Мобильные модульные подстанции предназначены для работы в одиночном режиме, режиме комплекса двух и более трансформаторных подстанций, параллельной работы со стационарной подстанцией. Они могут быть объединены в каскады до 12 ед. для обеспечения потребителей аварийным в случае аварии на ПС, временным в случае реконструкции или модернизации ПС или основным электропитанием различной категории суммарной мощностью до 160 МВА.

Сегодня на территории Российской Федерации приняты в работу и эксплуатируются около 50 мобильных модульных подстанций напряжением 110 кВ. Порядка 80 % из них выпущены на производстве «ПитерЭнергоМаш».

Мобильная модульная подстанция состоит из четырех модулей различного функционального назначения:

1) модуль распределительного устройства высокого напряжения (КРЭУ), предназначенный для защиты оборудования, коммутации электрической цепи, распределения и контроля электроэнергии с заданными параметрами;

2) модуль силовых трансформаторов с уникальным вакуумным регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) – для работы в трансформаторах повышенной частотой нагрузки;

3) модуль распределительного устройства среднего и низшего напряжения, в котором размещено оборудование для отходящих линий 20 и 10 кВ и все необходимые системы управления и защиты;

4) модуля общеподстанционного пункта управления (ОПУ), в котором все контрольные и измерительные кабели сводятся к единому кабельному шкафу, укомплектованному специальными штекерными многополюсными блок-контактами.

Также необходимо отметить, что конструктивными особенностями мобильных подстанций является полное отсутствие открытых токоведущих частей и транспортные габариты, не требующие специального сопровождения при транспортировке. Широкое использование в конструкции мобильной модульной подстанции быстроразъемных межмодульных связей, сведенных к одному месту подключения, существенно упрощает и ускоряет процессы развертывания и наладки ММПС на объекте.

Мобильные подстанции незаменимы в областях, где необходима быстрая установка, перемещение и демонтаж высоковольтных источников электроснабжения. Характерным примером является ситуация, когда существующая ПС требует полной реконструкции. В этом случае мобильная подстанция используется как временное сооружение, предназначенное для разгрузки реконструируемого объекта. Также возможен подхват новой нагрузки в случае нестыковки сроков реконструкции со сроками необходимой подачи мощности для электроснабжения новых объектов.

Таким образом, применение мобильной модульной подстанции при реконструкции подстанции Лазарево-1 110/10 кВ имеет первостепенное значение, так как проводить реконструкцию ПС можно без перерыва

электроснабжения потребителей. Немаловажен и тот факт, что любая мобильная модульная ПС в случае необходимости может быть использована как стационарная блочная подстанция. Например, отработав необходимое время в модульном варианте, модули могут быть сняты с шасси, установлены на фундамент или свайное поле, и ПС может быть включена в постоянную схему электроснабжения.

## Литература

1. Мобильные модульные подстанции [Электронный ресурс]. URL: <http://piterenergomash.ru/index.php/energeticheskie-resheniya/mobilnye-modulnye-podstantsii> (дата обращения: 30.01.2020).

2. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования. М.: Академия, 2004. 448 с.

УДК 621.396.677.32

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНОСТИ РАБОТЫ БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Дорофеев Д.П.<sup>1</sup>, Зарипов Д.К.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>Hacker555@inbox.ru

Описана перспективная разработка вспомогательного оборудования для датчика контроля изоляции ВЛ и последующего тестирования на дальность работы и эффективность, а именно антенны вида Uda-Yagi волновой канал 868 МГц на 10 элементов с разрезным диполем. После проектирования оборудования в лаборатории университета, проводились исследования на эффективность работы данного оборудования.

**Ключевые слова:** антенна, волновой канал, коаксиальный кабель, дальность работы, Uda-Yagi, диполь, элемент, сопротивление.

Система беспроводного контроля изоляции требует для своей работы передачу данных на частоте 868 МГц. Для расчета реальной модели были выбраны параметры схожих антенн в диапазоне 800–900 МГц с последующей корректировкой параметров для получения необходимой частоты.

Все действия проводились в расчетной программе «MMANA-GAL». Параметры антенны: количество элементов – 10 штук; диаметр элемента – 4,5 м; материал – алюминий; высота подвеса – 10 м. Таким образом, получили следующие параметры рассчитанной модели с диаграммой направленности поля (рис. 1):

- КСВ = 1,0;
- коэффициенты усиления и шумоподавления 11,5 и 18,79 дБ, соответственно;
- сопротивление элемента вибратора 50 Ом.

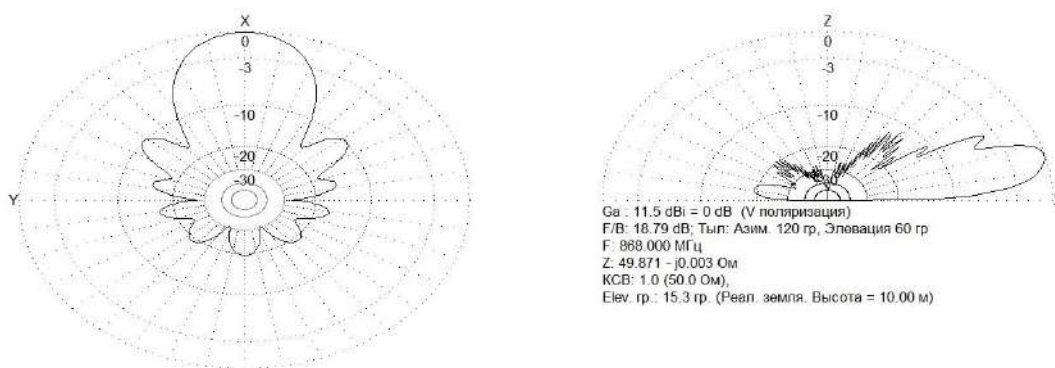


Рис. 1. Диаграмма направленности

Далее был произведен расчет длины волны, так для частоты 868 МГц получена длина, равная 0,345 м. Получив значение длины волны, определяем расстояния коаксиального кабеля. Производим расчет значений  $U1$  и  $U2$  для построения конструкции (рис. 2).

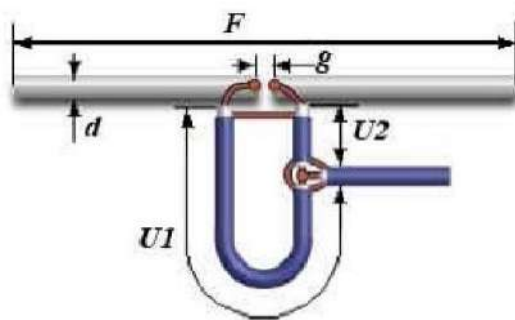


Рис. 2. U-колени вибратора антенны

Получаем:  $U1 = 170$  мм –  $3/4$  от длины волны;  $U2 \approx 86$  мм –  $1/4$  длины волны.

Данный тип антенны (рис. 3) был выбран, исходя из ее свойств: высокое усиление и хорошая направленность, небольшая масса и компактность.

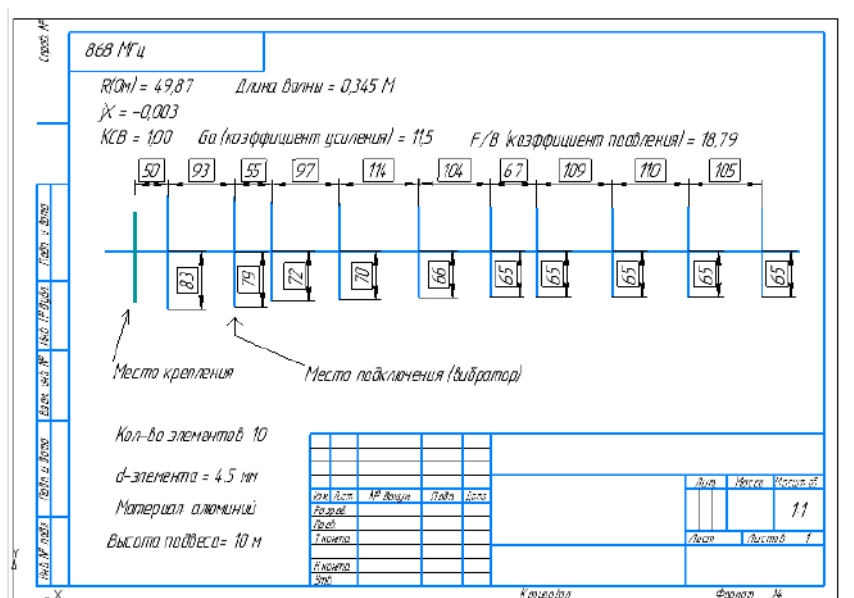


Рис. 3. Чертеж антенны

По расчетам максимальная дальность приема сигнала составляет 35 км без значительной потери данных.

### Литература

1. Харченко К.П. УКВ антенны. М.: Изд-во ДОСААФ, 1969. 111 с.
2. Лавров А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства. М.: Советское радио, 1974. 368 с.

УДК 621.315.2.016.2.:537.529.

## ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ, В ОДИНАКОВЫХ ПО РАЗМЕРУ ДЕФЕКТАХ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, ОТ РАССТОЯНИЯ ДО ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

Илькевич А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Науч. рук. Усачев А.Е.

Сообщается о моделировании частичных разрядов (ЧР), в одинаковых по размеру дефектах изоляции кабеля из СПЭ, в зависимости от удаленности дефекта от источника питания. Показывается влияние индуктивности кабеля на измеряемую величину кажущегося заряда при ЧР и предложена методика, нивелирующая это влияние.

**Ключевые слова:** ЧР, кабельные линии, дефект, величина ЧР.

Метод ЧР общепризнанно является наиболее перспективным методом ранней диагностики состояния изоляции электротехнического оборудования. Снижением аварийности в питающих линиях электропередач и выявлением дефектов изоляции различными методами занимаются десятки тысяч инженеров в мире [1–4]. Несмотря на успехи при использовании метода ЧР для раннего обнаружения дефектов в изоляции, для повышения наглядности и однозначности интерпретации результатов требуется дальнейшее развитие методик обработки результатов измерений ЧР. Это связано с тем, что в подавляющем большинстве методик обработки результатов измерений ЧР не учитываются особенности конструкции изоляции различных высоковольтных аппаратов, а используется одна и та же модель многослойной изоляции, область применимости которой требует уточнения.

В данной работе сообщается о моделировании ЧР, в одинаковых по размеру дефектах в кабеле из СПЭ, в зависимости от удаленности дефекта от источника питания. Схема моделирования ЧР в кабельной линии представлена на рисунке.

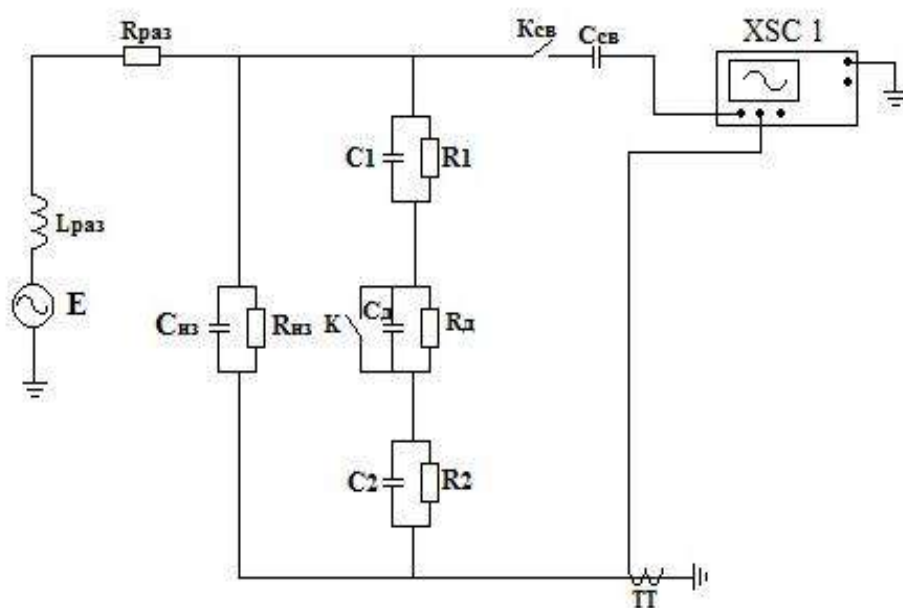


Схема моделирования ЧР в кабельной линии

При моделировании ЧР в схеме (см. рисунок) в качестве источника питания ( $E$ ) применялось три типа источников: источник переменного напряжения 50 Гц; источник импульсов типа меандр; источник постоянного напряжения. В качестве объекта исследования был выбран кабель марки ПвПг длиной 2 км. Емкость кабеля без дефектного участка

изображена на схеме символами  $C_{из}$  и  $R_{из}$ . Ёмкость столбика с дефектом изоляции представлена следующими элементами: емкость и активное сопротивление участка столбика над ( $C_1R_1$ ) и под ( $C_2R_2$ ) дефектом,  $C_{деф}$  и  $R_{деф}$  – емкость и активное сопротивление дефекта. Место расположения дефекта моделировалось индуктивностью кабеля  $L_{раз}$  и его активным сопротивлением  $R_{раз}$  между источником питания и местом расположения дефекта.

Возникновение ЧР моделировалось замыканием ключа К. Время восстановления изоляционных характеристик имитировалось размыканием ключа. Возникающие переходные процессы при ЧР регистрировались на двухлучевом осциллографе по двум схемам:

1) через конденсатор связи  $C_{св}$ , емкостью 80 пФ, подключенный к токопроводящей жиле, находящейся под напряжением;

2) через высокочастотный трансформатор тока ТТ (RFCT-4), включенный в цепь заземления экрана кабеля.

В соответствии с моделью многослойной изоляции, на основе которого происходит интерпретация результатов, в кабельных линиях величина регистрируемого ЧР должна зависеть от величины дефекта и не должна зависеть от места расположения дефекта.

Было обнаружено следующее: по мере удаления дефекта от источника в схеме регистрации 1 величина ЧР возрастала при неизменной величине дефекта, а в схеме 2 – убывала. По результатам измерений броска напряжения построена зависимость величины ЧР от места удаления дефекта от источника и определены поправочные коэффициенты для каждого из методов измерения. Результаты исследования являются важными для правильной интерпретации экспериментальных данных по ЧР.

В настоящее время в ОАО СК проводятся работы по созданию системы непрерывной диагностики методом ЧР кабельной линии центрально-советской 110 кВ. Результаты работы могут быть использованы в этой системе.

## Литература

1. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.

2. Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного электрооборудования. Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. 367 с.



3. Ба Бораик А. М., Усачев А.Е., Кубарев А. Ю. Влияние параметров схемы регистрации на форму и амплитуду частичных разрядов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. № 1-2. С. 127–136.

4. Ба Бораик А. М., Усачев А.Е., Кубарев А. Ю. Моделирование процесса возникновения частичного разряда в компьютерной среде // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2016. № 9-10. С. 25–30.

УДК 621.311.243

## **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ МОЩНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Мансор М.Ф.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mohammedf.alwaili@uokufa.edu.iq

Науч. рук. Кубарев А.Ю.

Одно из решений в области возобновляемой энергии в больших масштабах – это солнечные фотоэлектрические системы, подключенные к электрической сети. Оценка производительности этих солнечных фотоэлектрических станций, является одним из наиболее важных аспектов оценки реального поведения таких энергоустановок. При использовании программного комплекса MATLAB / SIMULINK можно проанализировать производительность солнечных фотоэлементов, что, в свою очередь, может помочь в проектировании и эксплуатации солнечных фотоэлектрических систем, подключенных к сети. Это исследование было направлено на проектирование, моделирование и анализ фотоэлектрической системы мощностью 100 кВт. Система, подключенная к электрической сети, изучается в условиях переменного солнечного излучения, изменения погодных условий и различного уровня нагрузки. Здесь мы использовали метод МРРТ, который реализован в повышающем преобразователе постоянного тока, чтобы позволить фотоэлектрическому модулю выдавать энергию в точке максимальной мощности.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, МРРТ техника, преобразователь источника напряжения, солнечное излучение.

Солнечная фотоэлектрическая система является одной из самых быстрорастущих систем производства возобновляемой энергии. Фотоэлектрическая система имеет такие преимущества, как отсутствие

загрязнений, доступность, меньший объем технического обслуживания. Энергия, генерируемая фотоэлектрической системой, зависит от внешних факторов, таких как интенсивность солнечного излучения, облачность, температура окружающей среды и т. д. [1]. В солнечной фотоэлектрической системе средний КПД фотоэлементов составляет 7–18 %, КПД инвертора 90–97 %, эффективность алгоритма MPPT более 98 % [2].

В этом докладе фотоэлектрическая система интегрирована в электрическую сеть. Основным компонентом является фотоэлектрическая установка (состоит из 330 рv солнечных модулей), блок MPPT [3], постоянный ток в постоянный, трехфазный преобразователь (VSC) и электрическая сеть [4].

Система PV, подключенная к сети (рис. 1), моделируется с помощью программной окружающей среды MATLAB/SIMULINK, чтобы анализировать значения мощности с изменением уровней излучение PV и нагрузки.

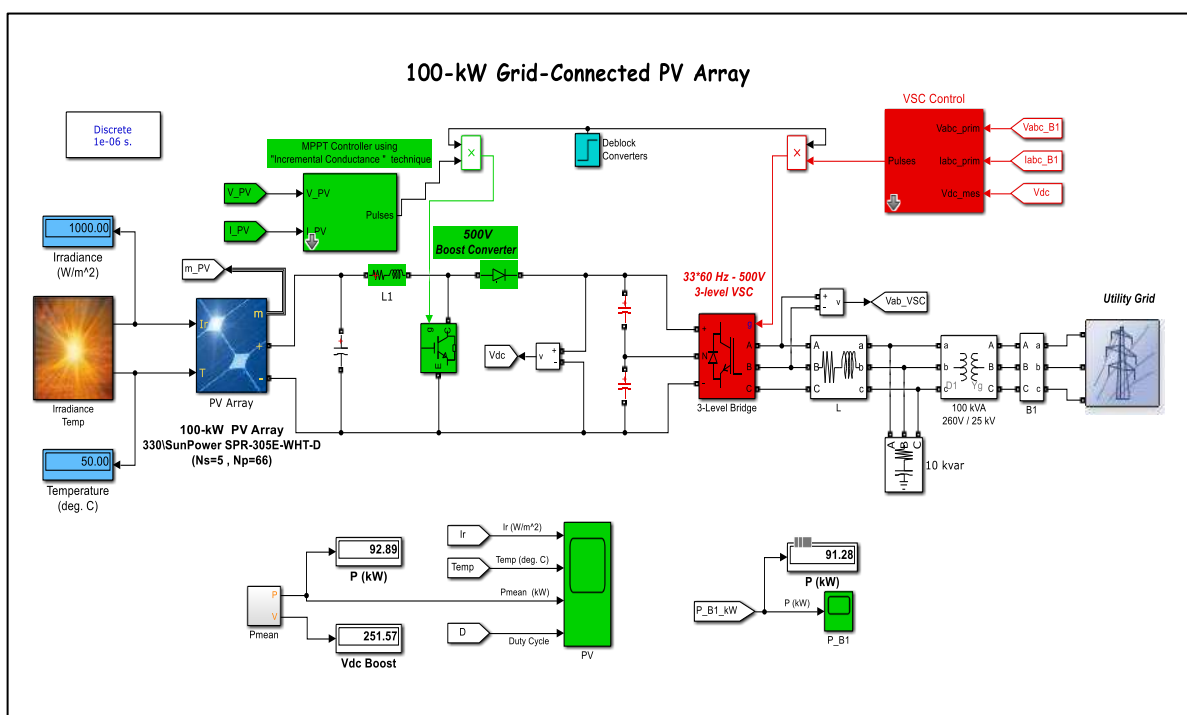


Рис. 1. Модель энергосистемы PV-100 кВт в MATLAB/SIMULINK

В данной работе фотоэлектрическая система изучается под воздействием двух возмущений: изменения солнечного излучения и температуры.

На рис. 2. электрическая мощность, произведенная в течение 2,5 с (период моделирования), составляет: в первую секунду 200 Вт/м<sup>2</sup> при температуре 25 °С и 1000 Вт/м<sup>2</sup> при 50 °С в последнюю минуту.

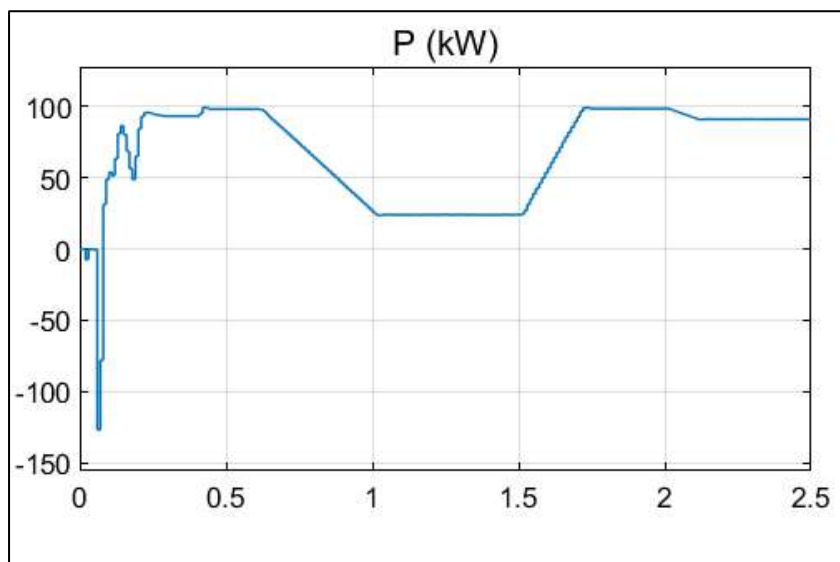


Рис. 2. Изменение мощности солнечной фотоэлектрической электростанции в зависимости от уровня солнечного излучения

### Заключение

MatLAB/Simulink был использован для разработки динамической модели PV-систем, связанных с сетью, при разном излучении и различными нагрузками. Модель использовалась для исследования влияния нагрузок и уровней излучения фотоэлектрических систем, подключенных к сети, на качество электроэнергии распределительной сети.

Работа комбинированного повышающего преобразователя с MPPT-контроллером при различных условиях работы, как минимальных, так и максимальных (уровень излучения), позволила преобразователю получить максимальную мощность от солнечного элемента. А при разных режимах работы трехфазной нагрузки с использованием инвертора с VSC наблюдается стабильность выходной мощности. Анализ и исследование системы показывает способность сети улучшать мощность фотоэлектрических систем и поддерживать электрическую сеть.

### Литература

1. Solar PV-based Scalable DC Microgrid for Rural Electrification in Developing Regions / Nasir Mashood [et al.] // IEEE Transactions on Sustainable Energy. 2018. Vol. 9, Is. 1. Pp. 390–399.
2. Renewable Energy Policy Framework: Technical report // Global status report. Paris, 2017.

3. Srushti R. Chafle<sup>1</sup>, Uttar B. Vaidya. Incremental Conductance MPPT Technique FOR PV System // International Journal of Advanced Research in Electrical. 2016. Vol. 6. Pp. 2278–8875.

4. Sumathi S., L. Ashok Kumar P. Surekha. Solar PV and Wind Energy Conversion Systems modeling with MatLAB/Simulink and the Role of Soft Computing Techniques. Springer, 2015. 790 p.

УДК 621-313.3

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МЕТОДИКА ВЫБОРА СРЕДСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ (САПР)**

Мурзин К.Д.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

murzkirill@rambler.ru

Науч. рук. Лопухова Т.В.

Актуальность молниезащиты на подстанциях неоспорима, поскольку она является одним из основных компонентов долговременной надежности и бесперебойной работы подстанций.

**Ключевые слова:** модель, программа, молниезащита, заземляющее устройство, программное обеспечение.

Точный расчет защиты от ПУМ и заземляющего оборудования ОРУ требует большого количества исходных данных с учетом различных параметров, влияющих на факторы надежности молниезащиты, а также с учетом требований ПУЭ. Выполнение таких вычислений без использования соответствующего программного обеспечения требует много времени и приводит к ошибкам в расчетах, требующих перепроверок и уточнения, что также увеличивает затраченные временные и человеческие ресурсы. Элементы САПР заметно ускоряют и упрощают проектирование. При этом минимизируются различные факторы, влияющие на результат работы специалистов.

В работе проводилось сравнение таких программных продуктов, как ElectriCSSstorm и ModelStudio CS. Наиболее эффективной нам представляется система ElectriCSSstorm версии 5.0, состоящая из четырех подсистем: расчет молниезащиты (РМЗ), классический расчет заземляющих устройств (РЗУ), специализированный расчет заземления подстанций (РЗП)

и расчет электромагнитной обстановки (ЭМО). Применение ElectriCSStorm позволяет значительно повысить производительность труда проектировщиков в части расчета молниезащиты, заземления и электромагнитной обстановки; уменьшить вероятность расчетных ошибок; повысить качество проекта за счет возможности многовариантного проектирования.

На мой взгляд, обе программы достойны внимания. В первой преимуществом являются дополнительные разделы, такие как классический расчет заземляющего устройства (РЗУ), специализированный расчет заземленной подстанции (РЗП) и расчет электромагнитной среды (ЭМО).

Плюсом второй можно назвать базу данных средств молниезащиты, в которой можно увидеть внешний вид объекта и получить всю информацию.

Каждый инженер должен выбирать САПР, исходя из своих профессиональных задач и особенностей объекта расчета.

Можно сделать вывод о том, что молниезащита и заземление являются важными составляющими для долговечной, надежной и бесперебойной работы электрической системы и снабжения потребителя электроэнергией, соответствующей всем нормам и требованиям. Так как процесс расчета молниезащиты и заземления очень сложный и трудоемкий, в целях ускорения этого процесса и исключения ошибок из-за человеческого фактора необходимо применять программы, специально предназначенные для этого.

## Литература

1. Чернов К.П. Молниезащита: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и испр. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2009. 160 с.
2. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2019. 462 с.
3. Техника высоких напряжений / под общ. ред. Д.В. Разевига. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. 488 с.
4. Лопухова Т.В., Усачев А.Е., Чернов К.П. Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения: учеб. пособие. Казан. гос. энерг. ун-т, 2014. 211 с.
5. Ларионов В.П. Основы молниезащиты / под ред. И.М. Бортника. М.: Знак, 1999. 104 с.
6. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М.: ЗАО «НТЦ ПБ», 2017. 69 с.
7. Карякин Р.Н. Электробезопасность заземляющего устройства // Электричество. 2000. № 12 . С. 25–32.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ИХ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ И КОРРЕКЦИИ УСТАВОК ЗАЩИТ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Назаров А.В.<sup>1</sup>, Рыцова А.В.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>grinsva@mail.ru, <sup>2</sup>ridel-47130@yandex.ru.

Науч. рук. Писковацкий Ю.В.

Представлен алгоритм работы различных защит от перегрузки (ЗП) силовых маслонаполненных трансформаторов (СТ), основанный на косвенном контроле изоляции обмоток для целей автоматической коррекции уставок в реальном времени в зависимости от заданного собственником срока эксплуатации СТ и с целью задания их оптимальной загрузки.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, защита от перегрузки трансформатора, износ изоляции обмоток трансформатора.

Наиболее эффективная загрузка СТ при увеличении его пропускной способности с одновременным сохранением заданного заводом-изготовителем срока службы является непростой, но в то же время актуальной задачей. ЗП призваны в некоторой степени решать данную проблему. Одним из видов ЗП является автоматика ограничения перегрузки оборудования (АОПО). На сегодняшний день существующие комплекты АОПО контролируют непосредственно токовую загрузку и температуру окружающего воздуха, заданную либо косвенно путем задания сезонных уставок по температуре, либо напрямую с использованием метеодатчиков.

Данные подходы не могут учитывать загрузку и фактический перегруз СТ в предыдущих режимах и обеспечивать поддержание нормативного эксплуатационного срока без значительной погрешности.

В соответствии с существующими устройствами АОПО расчет износа можно производить несколькими способами:

1) используя значения токовой нагрузки. Этот метод является наиболее грубым. Температура окружающей среды ( $\theta_{OC}$ ) принимается прогнозной и вводится вручную. Расчет температуры наиболее нагретых верхних слоев масла ( $\theta_{ННМ}$ ) и наиболее нагретой точки обмотки трансформатора ( $\theta_{ННО}$ ) производится косвенным путем по методике, изложенной в [1, 2 и 5];

2) используя значения токовой нагрузки и  $\theta_{OC}$ . Расчет  $\theta_{ННМ}$  и  $\theta_{ННО}$  производится по тем же формулам, что и в первом способе;

3) используя значения токовой нагрузки и  $\theta_{OC}$ , измеряемой с помощью непосредственно установленных в баке трансформатора датчиков  $\theta_{ННМ}$ . Расчет  $\theta_{ННО}$  производится так же, как в первом способе;

4) используя значения токовой нагрузки и  $\theta_{OC}$ , измеряемой с помощью непосредственно установленных на обмотке СТ датчиков  $\theta_{ННО}$ .

Расчет совокупного времени износа изоляции обмоток СТ ( $T_{ир}$ ) проводится по формуле:

$$T_{ир} = \int_0^T V dt,$$

в соответствии с рекомендациями [2] и с использованием формулы Монтсингера:

$$V = e^{\mu[\theta_{ННО}(t) - 98^\circ]},$$

где  $V$  – относительная скорость износа изоляции;  $\mu = 0,116$  – коэффициент, характеризующий интенсивность старения изоляции.

Температура наиболее нагретой точки обмотки в каждый момент времени определяется в соответствии с [1, 2], наиболее развернутая формула представлена в работе [5].  $\theta_{ННО}(t)$  в общем виде можно представить как зависимость от величины протекающего по обмоткам тока  $I(t)$ , величины охлаждающей среды  $\theta_{OC}(t)$  и постоянной времени охлаждения изоляции обмоток  $\tau_0$ , постоянной времени охлаждения масла  $\tau_M$ :

$$\theta_{ННО}(t) = \theta_{ННО}(I(t), \theta_{OC}(t), \tau_0, \tau_M). \quad (3)$$

Допустимость систематических и аварийных перегрузок определяется на основе расчета остаточного срока эксплуатации по формуле:

$$T_{срок.исп} = T_{срок.ном} - T_{изн.факт},$$

где  $T_{срок.исп}$  – время остаточного ресурса;  $T_{срок.ном}$  – нормативный срок эксплуатации, указанный заводом изготовителем;  $T_{изн.факт}$  – фактический износ ресурса изоляции;  $T_{изн.ном}$  – износ, рассчитанный из условия работы оборудования с номинальной нагрузкой.

Для определения запаса ресурса времени эксплуатации ( $T_{\text{зап.исп}}$ ), полученного за счет недозагрузки СТ,  $T_{\text{срок.исп}}$  сравнивается с остаточным нормативным временем ( $T_{\text{срок.исп. ном}}$ ):

$$T_{\text{срок.исп. ном}} = T_{\text{срок.ном}} - T_{\text{изн.ном}},$$

рассчитанным при условии работы СТ в течение всего срока с номинальной загрузкой:

$$T_{\text{зап.исп}} = \begin{cases} T_{\text{срок.исп}} - T_{\text{срок.исп.ном}}, & \text{если } T_{\text{срок.исп}} - T_{\text{срок.исп.ном}} > 0; \\ 0, & \text{если } T_{\text{срок.исп}} - T_{\text{срок.исп.ном}} \leq 0. \end{cases}$$

Дальнейшая загрузка СТ задается на основе полученного  $T_{\text{зап.исп}}$  путем формирования уставок по допустимой  $\theta_{\text{ННО доп}}$ , которые, в свою очередь, задают уставки по току ( $I_{\text{доп}}$ ) (коэффициенту перегруза) и времени перегруза ( $T_{\text{доп}}$ ).

Нахождение  $I_{\text{доп}}$  и  $T_{\text{доп}}$  на основе ранее найденных  $T_{\text{зап.исп}}$  и принятых в соответствии с заданными на начальном этапе ограничениями  $\theta_{\text{ННО доп}}$  является решением обратной задачи (1):

$$\begin{cases} I_{\text{доп}} = I(T_{\text{зап.исп}}; \theta_{\text{ННО доп}}), \\ T_{\text{доп}} = T(T_{\text{зап.исп}}; \theta_{\text{ННО доп}}). \end{cases}$$

Для сохранения срока эксплуатации СТ, близкого к установленному заводом, предлагается введение в устройства АОПО и другие виды ЗП алгоритмов контроля состояния изоляции обмоток СТ на основе косвенного учета их износа на основе предложенной математической модели.

## Литература

1. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М.: Стандартинформ, 2009. 30 с.
2. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов [Электронный ресурс]. URL: [http://www.infosait.ru/norma\\_doc/9/9244/index.htm](http://www.infosait.ru/norma_doc/9/9244/index.htm) (дата обращения: 15.03.2020).
3. СТО ФСК ЕЭС 56947007-29.180.01.116-2012. Инструкция по эксплуатации трансформаторов. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012. 52 с.



4. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1985. 39 с.

5. Ермаков В.Ф., Горобец А.В., Павлов А.В. Микропроцессорный счетчик ресурса трансформаторов СРТ // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2016. № 2. С. 42–48 (Сер. «Технические науки»).

6. Способ контроля ресурса изоляции силового трансформатора: пат. 2559785 Рос. Федерация № 2014121132/07; заявл. 23.05.14; опубл. 10.08.15, Бюл. № 22.

УДК 621.316

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Прытков А.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

chameleon4000@gmail.com

Науч. рук. Миронова Е.А.

Рассмотрено обеспечение качества электроэнергии, основные методы регулирования напряжения и частоты.

**Ключевые слова:** качество электроэнергии, регулирование частоты, регулирование напряжения.

Обеспечение качества электрической энергии (КЭ) в электроэнергетических системах и сетях была всегда актуальна. Ее правовой и нормативно-технический статус в данное время определяется рядом отраслевых и федеральных документов. Потребители, подключенные к электрическим сетям, работают при определенных параметрах: номинальном токе, напряжении и частоте. Главными режимными параметрами являются значение частоты и уровня напряжения.

В Российской Федерации нормы качества электроэнергии в системе электроснабжения общего назначения частотой 50 Гц устанавливаются Межгосударственным стандартом ГОСТ 32144-2013.

Частота электрического тока представляется собой один из важнейших показателей качества электроэнергии и является одним из важнейших параметров режима энергосистемы. Ее значение указывает на текущее состояние баланса между потребляемой и генерируемой активной мощности в энергосистеме. При ведении режима Единой Энергетической

Системы, часто возникают колебания баланса мощности. В основном это случается из-за нестабильности потребления, а также при отключениях генерирующего оборудования, линий электропередачи и других элементов энергетической системы. Указанные отклонения баланса мощности приводят к отклонениям частоты от номинального значения. Регулирование режима энергосистемы по частоте заключается в том, что постоянно поддерживается плановый баланс мощности путем ручного или автоматического изменения нагрузки генераторов электростанций таким образом, чтобы частота постоянно оставалась близкой к номинальной. При аварийных ситуациях, когда резервов генерирующего оборудования электрической станции недостаточно, для восстановления допустимого уровня частоты применяется ограничение нагрузки потребителей.

Регулирование напряжения – это намеренное изменение напряжения в целях технически допустимых условий работы системы электроснабжения или увеличения ее экономичности. Задача регулирования напряжения заключается в том, чтобы обеспечить нормальные технические условия и экономичности совместной работы электрических сетей и производственных механизмов. На каждой ступени трансформации напряжения в сети, оно должно быть в определенных пределах. Для отклонения напряжения определяются следующие нормы:

1. Положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10 % номинального значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

2. Допустимые значения отклонений напряжения в точках общего присоединения должны быть установлены сетевой организацией. Они определяются с учетом необходимости выполнения норм настоящего стандарта в точках передачи электрической энергии. В электросети потребителя должны быть соответствующие условия, при которых отклонения напряжения питания на зажимах электроприемников не превышают установленных для них допустимых значений при выполнении требований настоящего стандарта к качеству электрической энергии в точке передачи.

Средства регулирования напряжения:

1. Регулирование напряжения генераторами станций.

Все генераторы электростанций оборудованы устройствами автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Генератор должен вырабатывать номинальную активную мощность при возможных отклонениях

напряжения от номинального не более  $\pm 5\%$ . При больших отклонениях мощность генератора снижают. По этой причине генераторное регулирование напряжения ограничено.

2. Регулирование напряжения посредством изменения коэффициента трансформации.

Для регулирования напряжения с помощью трансформаторов изменяют соотношение витков обмоток данного трансформатора. Это достигается благодаря тому, что, используются не только основные ответвлений обмоток, но и также регулировочные ответвления.

Основным критерием электроэнергетики для потребителя является соответствие параметров качества её параметрам качества электроэнергии в точке общего присоединения [1]. При этом электроэнергия, в соответствии с российским законодательством, является товаром. Этот товар должен быть сертифицирован по определенным параметрам и в соответствии с ним поставлен потребителю.

Электрическая энергия, как сертифицируемый товар, имеет целый ряд специфических свойств, в числе которых неразрывность и одновременность процессов генерации и потребления. Искажающее влияние на показатель качества электроэнергии оказывается как электроприемниками потребителя, так и привнесено извне в виде кондуктивной электромагнитной помехи, распространяемой по общей электрической сети [2]. При этом источниками искажений качества электроэнергии могут являться как «приемники» потребителей, так и электрооборудование электростанций и подстанций.

Главным условием обеспечения требуемого качества электроэнергии в электрических сетях общего назначения является отказ от применения любых электроприемников и электрооборудования, которые могут быть источниками искажающих электромагнитных помех [3]. Практически это означает обязательность сертификации всего электротехнического оборудования и электроприемников на электромагнитную совместимость, которая должна проводиться предприятиями-изготовителями.

## Литература

1. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. М: Энергия, 1979. 368 с.

2. Иванов В.С, Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.

3. Ананичева С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учеб. пособие. 3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 93 с.

УДК 621.314

## **ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ АККУМУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И РИСКИ**

Романцов М.М., Григорьева М.О.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

grigoreva.m.o.703@gmail.com

Науч. рук. Зацаринная Ю.Н.

Рассматривается твердотельная аккумулирующая электростанция в качестве способа накопления электрической энергии. Приводится анализ перспектив использования данной технологии, а так же рисков, ограничивающих её развитие.

**Ключевые слова:** системы накопления электроэнергии, станция, мощность, ТАЭС, накопитель.

Системы накопления электроэнергии (СНЭ) – причина глобальной трансформации электроэнергетики, которая запускается во всем мире и в России уже сейчас. Причин, послуживших началу энергетического перехода и стремительному развитию систем накопления несколько. Одной, самой существенной из них, стало изменение отношения многих стран к используемым энергетическим ресурсам в последние несколько лет.

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) являются электро-механическими системами накопления электроэнергии (ЭМСНЭ). В нашей стране данный вид ЭМСНЭ используется наиболее часто. ГАЭС решают такую важную задачу как выравнивание суточного графика нагрузки.

Самая большая в России Загорская гидроаккумулирующая электростанция обладает мощностью 1,2 ГВт, а самая мощная в мире, работающая в Вирджинии, электростанция Bath County – 3 ГВт. ГАЭС по парковому ресурсу, диапазону регулирования и маневренности

значительно превосходят все иные типы генерации электроэнергии. Такие накопители преобразуют электричество в потенциальную энергию воды и вырабатывают его обратно с потерями лишь 30 %. Однако недостатки ГАЭС очевидны: резервуары требуют определенного рельефа, обширной площади и связаны с неизбежными потерями на испарение.

Перспективными технологиями в области электромеханических СНЭ в мире стали гравитационные накопители электроэнергии.

Их принцип действия основан на накоплении потенциальной энергии. В период, когда стоимость электроэнергии низкая, двигатель поднимает груз, а затем, когда стоимость энергии возрастает, он опускается. При этом происходит выработка энергии.

Одним из видов гравитационных накопителей является твердотельная аккумулирующая электростанция (ТАЭС). Роль груза в них играют наполненные грунтом мешки. Единственной в России компанией, разрабатывающей ТАЭС для накопления энергии, является ООО «Энергозапас» [1].

На сегодняшний день рабочий прототип функционирует в Академгородке г. Новосибирск, а компания проектирует опытно-промышленную ТАЭС мощностью 2 МВт, которую планирует запустить в 2021 гу.

Согласно экспертно-аналитического доклада ООО «УК «РОСНАНО», гравитационные накопители относятся к группе приоритетных технологий СНЭ следующего поколения. Это означает, что в период с 2022 по 2025 гг. они будут определять изменения на рынке [2]. Присвоение статуса приоритетных направлений развития предполагает, что ТАЭС может обеспечить ощутимое снижение удельной стоимости энергоемкости.

Преимуществами использования твердотельных аккумулирующих электростанций являются:

- 1) экологически безопасное использование;
- 2) возможность строительства на равнине;
- 3) отсутствие риска возникновения техногенной катастрофы за пределами ТАЭС;
- 4) КПД цикла близок к 80 % (по данным сайта производителя).

Риски ТАЭС связаны с недостаточным уровнем готовности данной технологии для ввода в эксплуатацию [3]. Сегодня системы с гравитационными накопителями существуют только как пилотные проекты. Однако в России планируется запуск в эксплуатацию первой Опытно-промышленной ТАЭС уже в 2021 г. На основе полученных результатов к 2023 г. будет построена первая Промышленная ТАЭС.

## Литература

1. ООО «Энергозапас» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: <http://energozapas.ru/> (дата обращения: 12.02.2020).
2. Рынок систем накопления электроэнергии: потенциал развития. Экспертно-аналитический доклад [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/Condenses\\_System\\_Markets\\_in-Russia.pdf](https://www.rusnano.com/upload/images/sitefiles/files/Condenses_System_Markets_in-Russia.pdf) (дата обращения: 12.02.2020).
3. Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии [Электронный ресурс] / Л.В. Калимуллин [и др.] // Вестник ИГЭУ. 2019. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prioritetnye-napravleniya-klyuchevye-tehnologii-i-stsenarii-razvitiya-sistem-nakopleniya-energii> (дата обращения: 12.02.2020).

УДК 621.311.4-742

### РЕТРОФИТ ЯЧЕЕК КРУ 6 КВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПС «ЧИСТОПОЛЬСКАЯ 110 КВ» ЧИСТОПОЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Сибгатуллин Р.А.<sup>1</sup>, Миронова Е.А.<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup>SibgatullinRuslan8@yandex.ru, <sup>2</sup>mironova.energo@yandex.ru

Рассмотрены мероприятия, позволяющие в короткие сроки, при минимальном капитальном вложении провести реконструкцию или модернизацию энергетических объектов.

**Ключевые слова:** подстанция, реконструкция, комплектное распределительное устройство (КРУ), модернизация.

В настоящее время в распределении электроэнергии, как на территории нашей страны, так и во всем мире, применяются коммутационные и распределительные устройства и установки, изготовленные в разное время разными производителями. Износ оборудования распределительных сетей низкого напряжения составляет более 70 %, и у некоторых эксплуатирующих организаций отсутствует возможность выделения средств для их полной реконструкции. В связи с этим, электроэнергетические компании рассматривают и разрабатывают способы проведения реконструкции с привлечением минимального количества материальных и трудовых затрат [1].

На подстанциях различных предприятий имеется определенный парк ячеек КСО и шкафов КРУ 6–10 кВ, выпущенных еще 30–40 лет назад. Одной из таких подстанций является ПС «Чистопольская 110 кВ» Чистопольских электрических сетей, сооруженная в черте города Чистополь и эксплуатируемая на переменном токе уже около 60 лет. Несущая конструкция и элементы фасада шкафов, ячеек в большинстве случаев, несмотря на годы, сохранились в хорошем состоянии. Большую угрозу составляют изношенные коммутационные аппараты данных устройств, ресурс которых находится на пределе выработки, и нередко превышает в два и в три раза допустимый, а возможность провести плановый ремонт по причине отсутствия запасных частей есть не всегда, например, из-за того, что производитель данного оборудования уже давно снял его с производства. На бесконечное обслуживание, поиск запасных частей и ремонт таких выключателей тратят много ресурсов, но не могут решить ситуацию, и их надежность переходит в критический уровень. Кроме того, масляные выключатели уже не отвечают современным представлениям о безопасности, работе и обслуживании, и являются устаревшими. Последствия того, что при аварийной ситуации выключатель не сможет отключить питание, могут быть значительными и грозить предприятию непредвиденной остановкой технологического процесса [2]. Поэтому вопросы необходимости поддержания подстанции в рабочем и эффективном состоянии и замены устаревшего оборудования на современное крайне актуальны.

Решением данной проблемы должны стать мероприятия, позволяющие удешевить реконструкцию парка КРУ и КСО. Простым и недорогим решением данной проблемы является такое мероприятие как «ретрофит».

Ретрофит (модернизация, реконструкция) комплектных распределительных устройств внутренней установки типа КСО, КРУ. Ретрофит шкафов КРУ и камер КСО подразумевает замену определенных элементов или модулей (коммутационные аппараты, вторичная коммутация, трансформаторы тока и напряжения, ошиновка, изоляция, фасадные элементы и др.) в целях повышения надежности и увеличения срока службы распределительных устройств.

На сегодняшний день, разработками программы «ретрофит» занимаются множество российских и зарубежных компаний: ЗАО «Шнейдер Электрик», ЗАО «Высоковольтный союз», ООО «Таврида Электрик», ООО «ABB» и др. Компании занимаются адаптацией современных вакуумных и элегазовых выключателей собственного производства

к различным типам распределительных устройств (РУ) путем замены отработавших свой ресурс масляных и маломасляных коммутационных аппаратов. Данные компании предлагают 3 варианта (реконструкции, модернизации) ячеек КРУ и КСО.

1. Замена старого отработавшего свой ресурс выключателя на выкатном элементе КРУ или в КСО на новый посредством комплекта адаптации обновлением или заменой блокировок, а также адаптацией разъема вторичных цепей выключателя. Данный вариант наиболее экономичный, но длительный по времени и емкий по трудозатратам.

2. Замена всего выкатного элемента с выключателем на новый. В этом случае новый выкатной элемент полностью по габаритным и присоединительным размерам соответствует заменяемому. Весь набор блокировок также соответствует существующему. Данный вариант является существенно более быстрым по времени и практически не требует трудозатрат.

3. И, наконец, третий вариант – заводская разработка, так называемый модуль заводской готовности с выключателем с уже реализованными механическими и электрическими блокировками, защитными шторками, системой адаптации стандартных втычных силовых контактов к существующим ответным частям [2].

В нашем случае на ПС «Чистопольская 110 кВ» это замена старых маломасляных выключателей типа ВМГ-10 и ВМП-10, введенных в эксплуатацию в 70 - х годах, на современные вакуумные ВВ/TEL либо ВВ/AST. При этом весь старый конструктив самой ячейки сохраняется. Такая реконструкция занимает минимум времени, по сравнению с заменой ячейки целиком, и стоит значительно дешевле. Однако встраивание аппарата среднего или высокого напряжения в исходную металлоконструкцию представляет собой достаточно сложную инженерную задачу. Необходимо учесть все требования ГОСТ и ПУЭ в части безопасности электроизоляционных расстояний, необходимых блокировок и т. д.

Важнейшие преимущества ретрофита ячеек КРУ и КСО – это многократное повышение надёжности работы распределительных устройств, продление их ресурса до 30 лет, резкое снижение эксплуатационных затрат и значительное повышение уровня безопасности эксплуатационного персонала.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод о том, что проблема изношенности коммутационной техники на подстанциях является одной из основных проблем энергетической отрасли. Простым и недорогим решением данной проблемы является проведение такого



технического мероприятия, как ретрофит, в результате чего снизятся затраты на эксплуатацию электрооборудования, уменьшатся потери электроэнергии, повысится экологичность подстанций и их безопасность для обслуживающего персонала.

### Литература

1. Криксин П.В., Белясов Н.В. Ретрофит распределительных устройств 6(10) кВ. О чём забывают при модернизации // Энергия и менеджмент. 2014. № 4-5 (79-80). С. 58–62.

2. «Модернизация КРУ 6(10) кВ. Программа «Ретрофит» // Новости электротехники. 2005. № 6 (36). С. 37–40.

УДК 620.92

## АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ИЗОЛИРОВАННЫХ СЕВЕРНЫХ ЭНЕРГОРАЙОНАХ

Соловьёва А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

solovyov.alyna@mail.ru

Науч. рук. Миронова Е.А.

Представлен анализ возможности использования возобновляемых источников энергии в изолированных энергоузла Севера.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, изолированные энергорайоны, традиционные источники энергии.

Одним из приоритетных направлений формирования энергетики в 21 веке является широкое использование возобновляемых источников энергии, которые имеют большие ресурсы [1]. Это дает возможность снизить негативное влияние энергетики на окружающую среду, повысить энергетическую и экологическую безопасность.

К традиционным источникам энергии относятся невозобновляемые источники энергии – уголь, природный газ, нефть, уран, и возобновляемые источники энергии – гидроэнергетика, древесина в виде дров.

Современная энергетика в основном основывается на невозобновляемых источниках энергии. Они, имея ограниченные запасы, являются исчерпаемыми и не могут гарантировать устойчивое развитие энергетики на долговременную перспективу. Использование возобновляемых источников энергии – это один из главных факторов, приводящий к ухудшению состояния окружающей среды [2].

К нетрадиционным (альтернативным) относятся возобновляемые источники энергии (ВИЭ), которые используют энергию ветра, Солнца, теплоты Земли, биомассы, энергию морей и океанов, рек. Они существуют постоянно или периодически в окружающей среде. В обозримой перспективе практически неисчерпаемые.

Возобновляемые источники энергии разделяются на две группы, которые используют прямую энергию солнечного излучения и ее вторичные проявления (косвенная солнечная энергия), и используют энергию взаимодействия Солнца, Луны и Земли.

Результатом косвенной деятельности Солнца являются соответствующие эффекты в атмосфере, гидросфере и геосфере в виде энергии ветра, гидроэнергии, энергии течений, волн, приливной энергии, тепловой энергии окружающей среды и др.

Развитие ВИЭ – глобальный тренд, который обусловлен экономическими и экологическими причинами. В мире в целом рассматривается перспектива будущего полного перехода на ВИЭ. Не исключение и изолированные северные энергоузлы России [3].

Стоимость производства энергии в изолированных населенных пунктах очень высока. Доставка топлива тоже проблематична. Одним из способов снижения затрат на доставку топлива в удаленные районы и повышения надежности их энергоснабжения является использование местных энергоресурсов – ветра, солнца, малых рек. Поэтому использование ВИЭ в изолированных населенных пунктах Севера России является перспективным направлением исследования.

В развитии ВИЭ на Севере есть свои сложности: суровые климатические условия с резкими штормовыми ветрами и низкими температурами (до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). В целом, в России развитие ВИЭ – не входит в число главных приоритетов, хотя и уделяется достаточно внимание.

Северные регионы Российской Федерации имеют значительный потенциал для развития ВИЭ. Если ветры дуют со средними скоростями порядка 6–7 м/с, может развиваться ветроэнергетика. Есть благоприятные

условия для солнечной энергетики. Среднегодовое поступление энергии непосредственного солнечного излучения на Севере варьируется от 2 до 5 кВт·ч/(м<sup>2</sup>·день) [4]. В южной части западных регионов – для развития биоэнергетики на основе использования древесных отходов и низкосортной древесины. В дальнейшей перспективе может представлять интерес развитие приливной энергетики.

В России имеется большое количество технических разработок, в том числе портативные и модульные установки, в которых используются ветровые или фотоэлектрические элементы, работающие в сочетании с дизельным генератором. Они особенно перспективны для небольших населенных пунктов, для оленеводов, охотников и др. Также они удобны для питания осветительных устройств и средств связи. Проблемой являются и накопители энергии. Сейчас используются свинцово-кислотные аккумуляторы, популярность которых вызвана хорошо освоенной конструкцией и технологией производства, а также относительной дешевизной. Литиево-ионные аккумуляторы – новое поколение, которое находит все большее применение и на Севере.

Также актуальна проблема создания установок, которые способны не ломаться в крайне суровых условиях – при очень сильных и порывистых ветрах, очень низких температурах и минимуме обслуживания.

Можно заключить, что Север обладает как существенным потенциалом, так и значительной потребностью в применении ВИЭ.

## Литература

1. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. Долгопрудный. Изд-во: Интеллект, 2011. 168 с.
2. Фортов В.Е., Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в мире и в России // Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности: сб. матер. Первого Междунар. форума. Москва, 2013. С. 12–22.
3. Лукутин Б.В. Суржикова О.А. Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.
4. Возобновляемые источники энергии в изолированных населенных пунктах Российской Арктики / В.Х. Бердин [и др.] М.: Всемирный фонд дикой природы, 2017. 80 с.

## АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ МАНЕВРЕННОСТИ ТЭЦ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ СУТОЧНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Соловьёва А.А.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

solovyova.alyona@mail.ru

Науч. рук. Миронова Е.А.

Представлен анализ суточного потребления электрической и тепловой энергии, влияние новых генераций на графики нагрузок, а также рассмотрена распределенная генерация энергии и возможности повышения маневренности ТЭЦ малой мощности.

**Ключевые слова:** повышение маневренности, ТЭЦ, суточное потребление электроэнергии, графики нагрузки, распределенная генерация.

Потребление электроэнергии и тепла неравномерно как в течение суток, так и в течение года. Потребление электрической энергии различается в рабочие, выходные и праздничные дни. Потребление тепла осуществляется на отопление, горячее водоснабжения и промышленное теплоснабжение. График потребления тепла на отопление напрямую зависит от температуры наружного воздуха, а потребление тепла на горячее водоснабжение неравномерно в течение суток с ночным минимумом.

Сейчас активно ведутся строительства новых электрических станций: станций с использованием возобновляемых источников энергии, мусоросжигательные электростанций, планируется строительство атомных станций. Это отрицательно влияет на режимы работы уже существующих станций. От новых и существующих станций требуется повышение маневренности, либо использование накопителей для выравнивания графика.

Существующие методы учитывают только оптимизацию электро-снабжения, но они не учитывают вопросы оптимизации электроснабжения и теплоснабжения одновременно, стоимости электроэнергии и тепла, экологического эффекта и влияние строительства новых станций на режимы работы существующих ТЭЦ. Идет снижение теплофикационной выработки ТЭЦ в балансе электроэнергии и мощности.

В России стоимость вырабатываемой электроэнергии и тепла является одним из основополагающих фактором конкурентоспособности. Понижение стоимости энергоресурсов осуществимо для эффективной и сбалансированной энергосистемы. Структура генерирующих мощностей должна соответствовать структуре потребления тепловой и электрической энергии, а их размещение на территории России должно приводить к снижению потребности в строительстве специального оборудования и специального программного обеспечения. Снижение затрат достигается за счет размещения генерации в центрах тепловых и электрических нагрузок.

Сейчас идет рост стоимости электрической энергии и мощности на оптовом рынке. В связи с этим появляется необходимость обеспечения оптимальной структуры генерирующих мощностей, которая будет обладать технологической и экономической эффективностью.

Наблюдается тенденция развития распределенной генерации. Термин «распределенная генерация» используется как синоним понятия генерации для покрытия потребления электроэнергии изолированными потребителями (использование энергоисточников малой мощности).

Под распределенной генерацией энергии понимается производство энергии на уровне распределительной сети или на стороне потребителя, включенного в сеть. Также распределенная генерация энергии распространяется как на электроэнергетические системы, так и на системы теплоснабжения.

С ростом неравномерности графиков потребления электроэнергии в настоящее время повышают требования к маневренным характеристикам. Их улучшение важно не только с точки зрения обеспечения высокой надежности энергоснабжения, но и с точки зрения повышения экономичности станции, так как повышается оптимизация работы.

Маневренность станций определяется совокупностью технико-экономических характеристик, обеспечивающих отработку заданного графика нагрузок при соблюдении надежности.

В понятие маневренности включаются следующие характеристики:

1. Регулируемый диапазон блоков – диапазон нагрузок, в пределах которого блоки работают вполне надежно.

2. Приемистость блоков – способность их к быстрому изменению нагрузки и участию в первичном и вторичном регулировании частоты в системе.

3. Экономичность блоков при частичных нагрузках – в периоды ночных и недельных провалов электрической нагрузки.

4. Пусковые характеристики блоков – допустимость пуска котлоагрегатов и турбин из любого температурного состояния при соблюдении всех критериев надежности и водного режима блока в соответствии с установленными нормами.

Разработка высокоманевренных тепловых электрических станций малой мощности, способных обеспечить ведение электрических и тепловых режимов в широком диапазоне, является актуальной задачей.

### Литература

1. Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. М.: Новости теплоснабжения, 2007. 164 с.

2. Андрющенко А.И., Аминов Р.З. Оптимизация режимов работы и параметров тепловых электростанций: учеб. пособие. М: Высшая школа, 1983. 255 с.

3. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров [и др.]; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева М.: Изд-во МЭИ, 2009. 466 с.

4. Новоселова О.А. Инновационный аспект распределенной генерации // Региональная энергетика и энергосбережение. 2016. № 3. С. 52–53.

УДК 621-313.3

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Сопина Ю.В.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

julia.sjv97@yandex.ru

Науч. рук. Миронова Е.А.

Рассмотрен принцип работы парогазовых установок, выявлены преимущества и недостатки, рассмотрена схема модернизации ТЭЦ с ПГУ.

**Ключевые слова:** парогазовая установка, ПГУ, котел, цикл, энергоэффективность, энергоблок, газовая турбина.

Основной задачей модернизации тепло и электро-генерации России является сохранение настоящего оборудования с внедрением новых мощностей на основе парогазовых и газотурбинных установок. Данная

задача осложняется необходимостью бесперебойного теплоснабжения на период замены оборудования. Предыдущий опыт проектирования показал сложность для использования чисто бинарных энергоблоков для использования на ТЭЦ. Объясняется это сложностью размещения такого энергоблока в главном корпусе, что точно приведет к перебою теплоснабжения минимум на 36 месяцев. Поэтому в данном случае актуальна установка газотурбинных надстроек, что позволит сохранить главный корпус, тепловую схему и ряд оборудования.

ПГУ представляет собой два блока, отдельных друг от друга: газотурбинный и паросиловой. В газотурбинной установке турбину во вращение приводит газ, образующийся при сжигании топлива, затем он совершает механическую работу. На валу с турбиной располагается генератор, который благодаря вращательному движению ротора генерирует электрическую энергию. После прохождения турбины газ имеет давление, значение которого близко к наружному, что не даёт ему совершить работу. Но его температура еще довольно высока и составляет порядка 500-600 С. Затем продукты сгорания отправляются в паросиловую установку, котел-утилизатор, где нагревают воду и образующийся пар, еще довольно высокая температура газа даёт возможность получить пар, давление которого достигает 100 атмосфер, что позволяет успешно применять полученный пар в паровой турбине. А паровая турбина в свою очередь приводит во вращение второй генератор (рис. 1).

Повышение эффективности ТЭЦ будет осуществляться путем использования ПГУ со сбросом уходящих газов ГТУ в паровой котел. Принципиальная схема представлена на рис. 2.

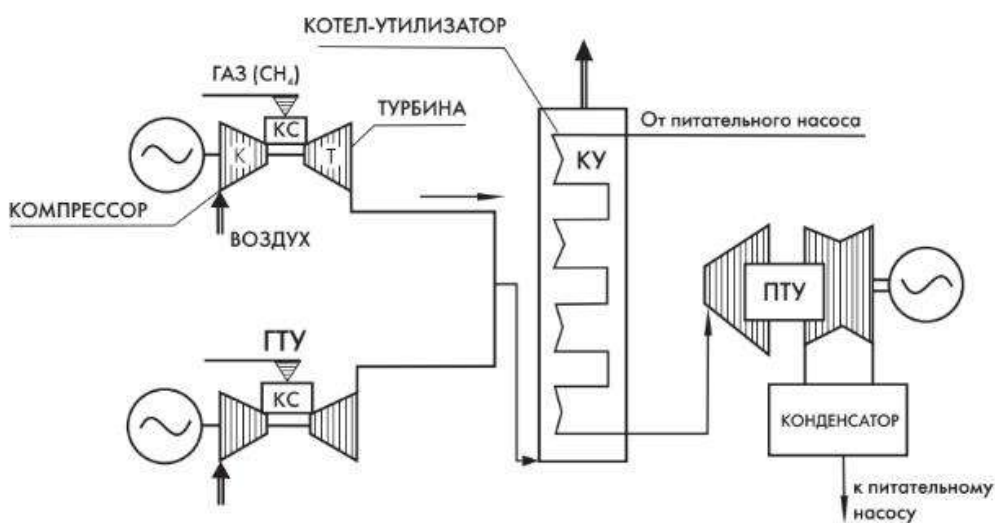


Рис. 1. Парогазовая установка

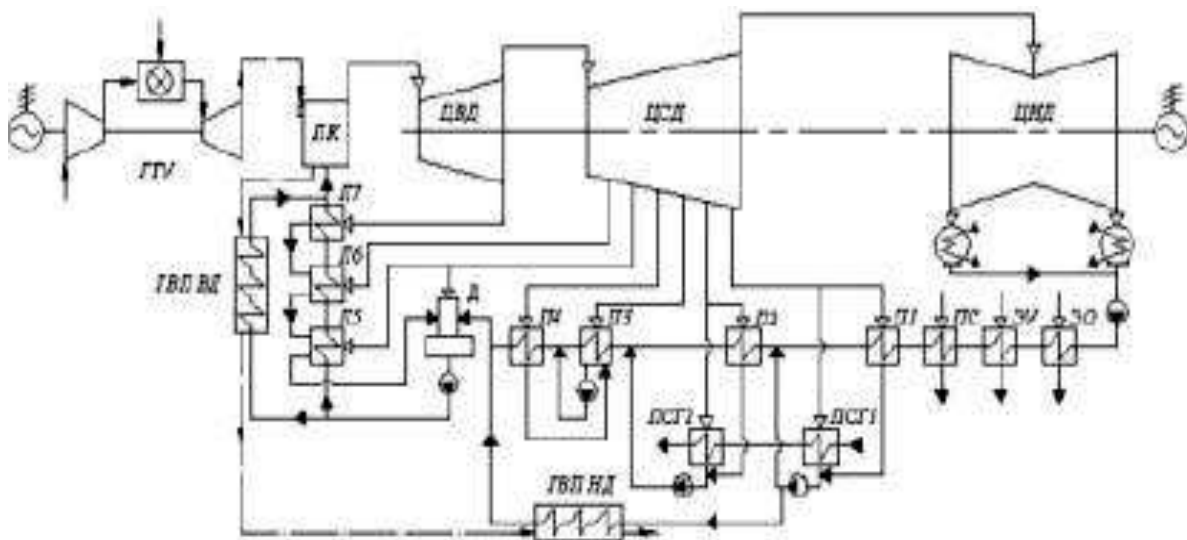


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема ПГУ со сбросом в паровой котел:  
 ГТУ – газотурбинная установка; ПК – паровой котел; ЭО – эжектор основной;  
 ГВП – газо-водяной подогреватель

Данный вариант требует достаточно больших затрат из-за модернизации парового котла, так как уходящие газы ГТУ идут в сбросные сопла над горелками для их сжигания.

Преимущества:

- высокий КПД, достигающий 60 % в сравнении с паросиловыми установками (35–45 %);
- низкая себестоимость единицы мощности;
- меньшее потребление воды на единицу генерируемой мощности в сравнении с ПТУ;
- срок возведения – 9–12 месяцев;
- большая экологичность по сравнению с ПТУ.

Недостатки:

- ограничение на типы используемого топлива;
- небольшая эффективность в период зимы.

## Вывод

Внедрение парогазовых технологий на ТЭС является важным направлением в энергетике. Оно позволит увеличить выработку электрической энергии без больших капитальных затрат. Улучшатся такие показатели, как КПД по выработке электрической энергии увеличиться на 40–45 %.



## Литература

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. 2-е изд. М.: Энергия, 1976. 444 с.
2. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов. 3-е изд., стереот. М.: Изд-во МЭИ, 2009. 579 с.

УДК 62-519

## КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Хабиров И.А.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
super.khabirov@mail.ru  
Науч. рук. Миронова Е.А.

Представлены основные причины возникновения повреждений в трансформаторах, методы контроля их состояния и система мониторинга.

**Ключевые слова:** трансформатор, метод контроля, дефект, мегаомметр, хроматограф, тепловизор, мониторинг, уровни мониторинга, датчики, АРМ.

В процессе работы в электрической системе электрооборудование подвергается многочисленным внешним и внутренним электромагнитным и другим эксплуатационным воздействиям, которые неблагоприятно воздействуют на их работу. И поэтому в настоящее время необходимо уделять большое внимание на создание условий для нормальной безаварийной и эффективной службы трансформаторов. Возникающие в процессе эксплуатации различные повреждения оказывают большое влияние на надежность работы энергосистемы.

Основные методы контроля:

Осмотры – средство визуального контроля электрооборудований в процессе их эксплуатации.

Хроматографический анализ выполняется с помощью хроматографа в лаборатории, где анализируется состояние масла и принимается решение о дальнейшей эксплуатации трансформатора, контроль за тепловым режимом – тепловизором или термометром.

Проверка на частичные разряды в изоляции силового трансформатора во время эксплуатации под рабочим напряжением или подключив к другому источнику питания. Средствами для выявления частичных разрядов служат акустические, электрические или электромагнитные приборы.

Измерение сопротивления изоляции в процессе эксплуатации проводится при неудовлетворительных результатах хроматографического анализа.

Перечисленные методы контроля силовых трансформаторов позволяют комплексно оценить достоверное состояние электрооборудования, что помогает своевременно выявить дефекты трансформатора (см. таблицу), связанные с качеством масла, температурным режимом, возникновением частичных разрядов. И можно прогнозировать состояние трансформатора и повысить срок его эксплуатации.

#### Причины и виды повреждений силовых трансформаторов

Виды повреждения	Причины
Ухудшение качества масла	Атмосферные и грозовые перенапряжения
Витковые замыкания	Понижение уровня масла
Обрыв обмотки	Старение изоляции
Пожар в стали	Ослабление прессовки магнитопровода
Пробой на корпус	Частичные разряды

Система мониторинга силовых трансформаторов включает в себя три уровня (см. рисунок):

1-й уровень – датчики температуры, газосодержания и влажности;

2-й уровень – блок мониторинга. На этом уровне происходит обработка сигналов 1-го уровня и информационный обмен с 3-м уровнем подсистемы;

3-й уровень – рабочие станции и серверы (автоматизированное рабочее место (АРМ)).

Функции мониторинга:

– контроль температуры верхних слоев масла, газосодержания, вла-  
госодержания, текущей ступени РПН, состояния высоковольтных вводов;

– определение длительности допустимых перегрузок и степени старения изоляции.



Уровни мониторинга

Система мониторинга позволяет непрерывно наблюдать за состоянием электрооборудования путем измерения, регистрации и отображения параметров. Этот процесс позволяет оценивать и прогнозировать состояние трансформатора и более оперативно реагировать на возникающие угрозы в отношении работоспособности электрооборудования.

### Литература

1. СТО 56947007-29.180.01.207-2015. Методика измерения частичных разрядов в маслобарьерной изоляции силового трансформаторного оборудования. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2015. С. 17–20.
2. Объём и нормы испытаний электрооборудования / под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. 6-е изд., с изм. и доп. М: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. С. 32–38.
3. Анализ причин повреждений и результаты обследования технического состояния трансформаторного оборудования / В.С. Богомоллов [и др.]. // Вестник ВНИИЭ. 1997. С. 25–32.
4. Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств: справочник. М.: Энас, 2011. С. 10–14.
5. СТО 56947007-29.200.10.011-2008. Системы мониторинга силовых трансформаторов. Общие технические требования. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2008. С. 5–6.

## ТЕРМОПАРЫ КАК АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ ОГНЕЙ ДЫМОВЫХ ТРУБ ТЭС

Хайбуллин Р.Ш.<sup>1</sup>, Репьев Е.В.<sup>2</sup>,

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

<sup>1</sup>ruslan070500@gmail.com, <sup>2</sup>zhenya.repev@mail.ru

Науч. рук. Зацаринная Ю.Н.

Изложена возможность использования термопар, основанных на эффекте Зеебека, как автономного источника питания заградительных огней, установленных на дымовых трубах электростанций. Произведен расчет и определено необходимое количество термопар.

**Ключевые слова:** Эффект Зеебека, термопары, автономный источник питания, дымовые газы, заградительные огни.

Любой источник тепловой энергии можно преобразовать в электрическую энергию. Ещё с XIX века немецким физиком Томасом Зеебеком было выявлено, что нагревание или охлаждение места соединения двух проводников, обладающих разными химическими свойствами, сопровождается возникновением электродвижущей силы (термо-ЭДС). Именно на этом принципе работает такой прибор, как термопара.

Эффект Зеебека, на котором основаны термопары, представляет собой процесс появления разности потенциалов в местах соединения двух разнородных проводников, которые находятся при разных температурах. Открыт эффект был в 1821 г. немецким физиком Томасом Иоганном Зеебеком. В своей работе мы бы хотели рассмотреть такой вопрос, как использование термопар в качестве автономного питания заградительных огней высотных зданий за счет использования высокой температуры выходящих газов из дымовых труб, оценить их эффективность и произвести расчеты.

Дымовые или промышленные трубы могут достигать высоты более чем 100 м, что может послужить препятствием для летательных аппаратов, и во избежание этого должны иметь светоограждение. Световое ограждение предназначено для информирования об опасности при плохой видимости днем и в периоды темного времени суток.

Заградительные огни устанавливаются на трубах в один ярус при высоте труб до 45 м или в несколько ярусов с шагом в 45 м. Понятие заградительного огня понимается как установленные светильники, которые чаще всего имеют красный цвет. Главной целью является исследование возможности установки термоэлектрического преобразователя энергии с независимым источником питания на высотные объекты.

Существуют различные модификации светильников для системы светового ограждения. Для выполнения расчетов мы выбрали заградительный огонь ЗОМ-3 на 5Вт.

Согласно Эффекту Зеебека ЭДС возникает, когда существует градиент температуры в проводящем материале. В условиях разомкнутой цепи, где нет внутреннего тока, градиент напряжения  $\nabla U$  прямо пропорционален градиенту температуры  $\nabla T$ :

$$\nabla U = -S(T)\nabla.$$

Используя интегральную теорему, градиент напряжений можно выразить в интегральной форме:

$$U = \int_{T_{\text{хол}}}^{T_{\text{гор}}} (S_+(T) - S_-(T)) dt,$$

где  $S_+$  и  $S_-$  – коэффициенты Зеебека проводников, прикрепленных к положительной и отрицательной клеммам вольтметра.

Если выразить напряжение на клеммах термопары через ЭДС горячего и холодного концов, то получим:

$$U = E(T_{\text{гор}}) - E(T_{\text{хол}}).$$

Причем ЭДС на горячем и холодном конце будут рассчитаны следующим образом:

$$E(T) = \int (S_+(T') - S_-(T')) dT'.$$

Для расчета интеграла воспользуемся готовыми таблицами, составленными национальным институтом стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology NIST).

При разности температуры в 130 °С напряжение будет

$$U = 10,69 - 1,31 = 9,38 \text{ мВ.}$$

При температуре уходящих дымовых газов 150 °С и температуре на улице, равной 20 °С, обычно производители термопар используют длину 10 см (0,1 м) (по 0,05 м на каждую часть) и диаметр 0,8 мм ( $S = 0,5 \text{ мм}^2$ ). Из опыта короткого замыкания найдем мощность одной термопары.

Для этого сначала определим общее сопротивление одной термопары:

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

Из справочных данных суммарное сопротивление хромель-копелевой термопары будет равно 0,02 Ом. Рассчитаем мощность одной термопары:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{(9,38 \cdot 10^{-3})^2}{0,02} = 4,4 \text{ мВт.}$$

Таким образом, общее количество термопар будет равным:

$$n = \frac{P_{\text{лампы}}}{P_{\text{термопары}}} = \frac{5}{0,0044} = 1136 \text{ шт.}$$

Таким образом, для того чтобы установить заградительный огонь максимальной потребляемой мощностью 5 Вт, необходимо установить термобатарею с 561 последовательно соединенными термопарами типа ТХК, в результате чего будет вырабатываться напряжение, за счет которого будет светить заградительный огонь.

## Литература

1. Популярная Механика [Электронный ресурс]: электронный журнал. URL: <https://www.popmech.ru/science/6114-tok-iz-tepla-termopara-protiv-para/> (дата обращения: 30.01.2020).

2. remkasam.ru [Электронный ресурс]: интернет-портал. URL: <http://remkasam.ru/termopara-dlia-gazovoi-plity-kak-ystroena-zachem-nyjna.html> (дата обращения: 30.01.2020).

3. booksite.ru [Электронный ресурс]: науч. библиотека. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/110/157.html> (дата обращения: 30.01.2020).

4. Сайт о теплоснабжении в России [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech\\_stat/stat\\_shablon.php?id=3308](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3308) (дата обращения: 30.01.2020).

5. National Institute of Standards and Technology [Электронный ресурс]. URL: [https://srdata.nist.gov/its90/type\\_k/0to300.html](https://srdata.nist.gov/its90/type_k/0to300.html) (дата обращения: 30.01.2020).

УДК 621.316

## ЧТО ЖДЕТ ЭНЕРГОСИСТЕМУ В БУДУЩЕМ?

Хайбуллин Р.Ш.<sup>1</sup>, Репьев Е.В.<sup>2</sup>,

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

<sup>1</sup>ruslan070500@gmail.com, <sup>2</sup>zhenya.repev@mail.ru

Науч. рук. Зацаринная Ю.Н.

Изложена информация о векторе развития энергосистемы в будущем, о практическом применении накопителей электроэнергии, внедрении интеллектуальных систем, их необходимости и последствиях их внедрения.

**Ключевые слова:** энергосистема, проблемы развития энергосистемы, перспективы развития энергосистемы, интеллектуальные энергосистемы, технологическая политика, накопление электроэнергии.

Интенсивное внедрение интеллектуальных систем электро-, тепло- и газоснабжения, интеграция различных видов энергоресурсов и средств распределенной энергогенерации в свою очередь по-разному влияет на различные сферы человеческой деятельности.

В частности, интеллектуализация и цифровизация систем энерго-снабжения приводит к таким последствиям, как:

– риск получить более дорогую и сложную, с точки зрения управления, энергетику, которая в общем не будет соответствовать заявленным требованиям надежности, доступности и эффективности;

- дефицит кадров с широким кругозором в смежных предметных областях: энергетика, информационные технологии, информационная безопасность;

- создание автоматизированной и управляемой энергосистемы приведет к сокращению рабочих мест в данной сфере;

- необходимость значительных финансовых вложений на начальном этапе.

С другой стороны:

- осуществляется управление потерями в процессе передачи и распределения энергии;

- формируются типовые проектные решения, происходит стандартизация процесса проектирования, ввода и последующей эксплуатации объектов энергетики;

- повышается надежность энергоснабжения и улучшаются показатели качества электроэнергии;

- снижается дефицит мощности;

- выявляются и локализуются технологические нарушения, аварийные процессы, при этом оценивание состояния ЭЭС возможно в режиме реального времени;

- специалист энергосистемы обладает конкретной фактологической информацией о параметрах текущего режима ЭЭС для прогнозирования поведения ЭЭС;

- потребитель способен самостоятельно изменить объем потребительских характеристик (уровень надежности и качества), поставки получаемой энергии на основе сопоставления своих потребностей и возможности энергосистемы;

- будущие кадры обладают более глубокими познаниями в области системного анализа, современных и информационных технологий;

- для компаний-производителей современного энергетического оборудования России открывается окно возможностей ввиду динамичного роста сегмента рынка интеллектуальных устройств и систем управления (объем в ближайшие 20 лет вырастет с 150 до 700 млрд долл. США, при этом доля России на этом рынке составляет 1 %);

- требования потребителей к показателям качества электроэнергии удовлетворяются в полной мере.



В «Концепции технической политики» РАО «ЕЭС России» отмечено, что традиционное электроэнергетическое оборудование не соответствует требованиям, которые накладывают новые экономические отношения. Распределительным сетевым компаниям необходимо новое оборудование, которое позволит снизить первоначальные затраты на его установку и позволит снизить издержки на техническое обслуживание подстанций. Отдельно стоит проблема обеспечения качественными измерениями процессов выбора оптимальных режимов эксплуатации оборудования, оптимальных режимов передачи и распределения электроэнергии, учета потребления и потерь электроэнергии, обеспечения высокой надежности электроснабжения потребителей.

Появление технологии интеллектуальной энергосистемы обусловлено следующими факторами:

- необходимость в обеспечении надлежащего качества электрической энергии;
- недостаточная управляемость отдельных компонентов системы, снижающих оперативность взаимодействия;
- отсутствие согласованности между сетями постоянного и переменного тока, а также сетей с различной частотой электрического тока;
- высокая плотность нагрузки, приводящая к большим значениям токов КЗ;
- необходимость в увеличении объемов передаваемой энергии.

Данные технологии, а также оборудование, работающее на них, были известны/созданы достаточно давно и уже, в той или иной мере, нашли применение в современной энергосистеме. Сейчас происходит их дальнейшая модернизация и ориентирование под новые технологические условия:

- поддержание заданных уровней напряжения в контрольных пунктах сети;
- ограничение уровня значений токов КЗ в ЭС;
- преобразование вида тока;
- увеличение плотности тока в проводниках.

Широкое внедрение новых технических средств позволит:

- повысить статическую и динамическую устойчивость энергосистемы;
- повысить защиту системы от токов КЗ;
- согласовать работу сетей различного рода тока;
- повысить пропускную способность элементов сети.

Комплексное применение данных технологий увеличит общую надежность, управляемость и энергоэффективность системы.

В последнее время наблюдается устойчивая тенденция развития области практического применения различных видов накопителей электроэнергии. Это обусловлено не только повышением стоимости электроэнергии и возрастанием требования к надежности электропитания, но и ростом распределенной генерации на основе альтернативных источников электроэнергии (прежде всего, за счёт использования энергии солнца и энергии ветра). Традиционной технологией, служащей для запасания больших объемов энергии, являются гидроаккумуляторы. В мире они строятся уже более 100 лет и являются хорошим инструментом для работы с неравномерным графиком нагрузки.

Возможность накапливать энергию в будущем приведет к созданию энергетических комплексов иного уровня и усложнению автоматизации технологических процессов. В связи с этим возрастут требования к обслуживанию, принятию ключевых решений, созданию новых подходов решения проблем управления и взаимодействия энергетических систем в эпоху цифровых технологий.

## Литература

1. Агенство стратегических инициатив по продвижению новых проектов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ndexpo.ru/partners-of-the-event/asi> (дата обращения: 30.01.2020).
2. Национальная технологическая инициатива [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nti2035.ru/markets/energynet> (дата обращения: 30.01.2020).
3. Обзор альтернативной энергетики в России // Центр маркетинговой компетенции в области чистых технологий маркетинговой группы «Текарт» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cleandex.ru/articles/2008/06/26/sustainable-energy-russia> (дата обращения: 30.01.2020).
4. «Экологические системы» [Электронный ресурс]: электронный журнал. URL: [http://journal.esco.co.ua/2003\\_4/](http://journal.esco.co.ua/2003_4/) (дата обращения: 30.01.2020).
5. Design of a protection relay incorporating UCA2/MMS communications [Electronic resource]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/929272/> (date of application: 30.01.2020).
6. Energy Watch Group [Electronic resource]. URL: <http://energy-watchgroup.org/> (date of application: 30.01.2020).

## СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Шафейкин Д.И.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань  
dshafeykin@mail.ru  
Науч. рук. Хизбуллин Р.Н.

Проанализированы изменения, происходящие с ограничителем перенапряжений в процессе эксплуатации, а также предложены современные методы их диагностирования.

**Ключевые слова:** ограничитель перенапряжения нелинейный, эксплуатация, варистор, диагностика.

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) на основе оксидно-цинковых варисторов более тридцати лет успешно эксплуатируются во всех отечественных энергосистемах. Основным отличием ограничителей от традиционных вентильных разрядников (РВ) является экстремально нелинейная вольтамперная характеристика (ВАХ) варисторов, что делает излишним применение в конструкции искровых промежутков, предназначенных для отделения рабочего элемента (резистора или варистора) от сети.

Все воздействия на ОПН можно условно разделить на три группы:

1. Ограничитель перенапряжений и основной рабочий элемент – варисторы – подвергаются комплексу электрических воздействий:

- длительно приложенному рабочему напряжению;
- временным повышениям напряжения частотой 50 Гц (квазистационарным перенапряжениям);

2. Кроме прямых электрических воздействий на ОПН не в меньшей мере влияют конструктивно-эксплуатационные факторы:

- неравномерное распределение напряжения по высоте ограничителя при некорректном расчете экранирующих колец и неоптимальном расположении варисторов внутри аппарата;

- загрязнение и увлажнение поверхности ограничителя, которое вызывает увеличение активного тока в отдельных варисторах;

- тепловые характеристики аппарата, то есть способность отводить выделенное при различных эксплуатационных воздействиях тепло с поверхности варисторов.

3. Необходимо учитывать возможность некачественного изготовления ОПН на производстве, а также и возможность ненормированных эксплуатационных воздействий на ОПН, которые могут привести к преждевременному выходу аппарата из строя.

Для объяснения процессов, происходящих в варисторах, необходимо учитывать материал самого варистора. Он на 90–95 % состоит из окиси цинка и малых добавок окислов и двуокислов металлов (висмута, кобальта, марганца, хрома и др.) высокой химической чистоты. Производится по технологии, близкой к керамической (высокотемпературный обжиг в атмосфере кислорода). Это приводит к получению материала с высокой нелинейностью ВАХ.

**Способы диагностики ОПН.** Диагностика в основном необходима и экономически оправдана для ограничителей на классы напряжения от 110 кВ и выше:

- стоимость самого ОПН и защищаемого им оборудования значительно выше стоимости оборудования на классы напряжения до 35 кВ;

- характеристики ОПН на классы напряжения от 110кВ с глухо- или эффективно-заземленной нейтралью рассчитываются на длительно приложенное рабочее фазное напряжение сети. ОПН на классы напряжения до 35 кВ, работающие в сетях с изолированной нейтралью, рассчитываются на длительно приложенное рабочее линейное напряжение. При этом ограничители работают под линейным напряжением только при однофазных или двухфазных КЗ, то есть ограниченное время, и ресурс варисторов исчерпывается меньше, чем в ОПН на классы напряжения от 110 кВ.

Еще одним способом диагностики является тепловизионное обследование ОПН, не требующее в его конструкции наличия изолированного основания. Однако тепловизионное обследование не позволяет получить однозначные результаты с высокой достоверностью.

Из описанного выше можно сделать вывод, что успешная работа ОПН в течение гарантированного срока службы обеспечивается:

- применением при изготовлении ОПН варисторов из высококачественных материалов;

- комплексом квалификационных и приемо-сдаточных испытаний ОПН, проводимых в соответствии с ГОСТ Р52275;

- безусловным соблюдением технико-технологического регламента при производстве ОПН;

- выбором требуемых характеристик ОПН для данной точки сети.

Однако все это не исключает наличие деградации характеристик ОПН в процессе эксплуатации, величина которой не должна достигать критической за гарантированный срок службы, поэтому рекомендуется проводить диагностику ОПН в процессе эксплуатации.

Также диагностика ОПН необходима из-за возможной ускоренной деградации, которая может преждевременно привести к выходу аппарата из строя, по причинам:

- неравномерного распределения напряжения по высоте ОПН при некорректном расчете экранирующих колец и не оптимальном расположении варисторов внутри аппарата;
- ошибки при расчете основных технических характеристик ОПН;
- некачественного изготовления ОПН, то есть нарушения технологического регламента;
- ненормированных эксплуатационных воздействий на ОПН.

### Литература

1. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М., Издательство НЦ ЭНАС, 2004. 178 с.
2. Демьяненко К.Б. Исследование теплового режима работы ограничителей перенапряжений при длительном воздействии напряжения частотой 50 Гц // Известия ВУЗов СССР «Энергетика». 1981. № 1.
3. Demyanenko K. Stability of highly nonlinear zink-oxide arrestors under the prolonged action of a commercial frequency potential (Zno surge arresters) // Sov. Elctctr. Eng. Vol. 55, Is. 9. Pp. 46–51.
4. Heinrich C., Hinrichsen V. Diagnostics and monitoring of Metal-Oxide Surge Arresters in High-Voltage Network-Comparison of Existing and Newly Developed Procedures // IEEE Transactions on Power Delivery. 2001. Vol. 16, Is. 1. Pp. 138–143.
5. Рихтер Б., Крейцбург В. Испытание и диагностика нелинейных ограничителей перенапряжений // АО «АББ высоковольтные технологии». Швейцария, 1999.
6. ГОСТ Р 52275-2007. Ограничители перенапряжений нелинейные для электроустановок переменного напряжения от 3 до 750 кВ. М.: Стандартинформ, 2007. 37 с.
7. IEC 60099-4:2014. Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems. 3<sup>rd</sup> ed. 353 p.
8. Демьяненко К.Б., Медведев Ф.К. Исследование импульсных характеристик оксидно-цинковых варисторов // Электронная техника. 1989. Сер. 5. Вып. 1 (74). С. 24–29.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

<b>Айсина Т.Х., Сошинов А.Г.</b> Нарушение нормативных показателей качества электрической энергии в электрических сетях. ....	3
<b>Бикзинуров А.Р., Слободина Ю.Н., Гарифуллин М.Ш.</b> Влияние концентрации ионола на процесс окисления минерального трансформаторного масла. ....	6
<b>Валеев А.А.</b> Умные сети .....	10
<b>Гиззатуллина Г.Р.</b> Современное состояние методов диагностики качества трансформаторных масел. ....	12
<b>Гималетдинов А.Ф., Воркунов О.В.</b> Проектирование кабельных линий 110 кВ с использованием однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. ....	15
<b>Губарев Н.А., Сабитов А.Х., Максимов В.В.</b> Робот для обследования и электрооборудования и электроустановок подстанций на безлюдных электрических подстанциях .....	18
<b>Губарев Н.А., Сабитов А.Х.</b> Устройства диагностики и осмотра электрооборудования и электроустановок подстанций роботизированными системами .....	22
<b>Егорова Н.Г., Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л.</b> Мониторинг частичных разрядов в кабельных линиях 110 кВ.....	25
<b>Жылдызбекова С.Ж.</b> Перспективы использования жидких диэлектриков на основе синтетических сложных эфиров в силовых трансформаторах .....	29
<b>Зайноков В.А., Миронов Л.С., Нигматуллина Г.Ф., Саляхутдинов Р.А., Фалин М.А.</b> Анализ спектров аварийных осциллограмм с помощью быстрого преобразования Фурье .....	32
<b>Зенина О.А., Тихонин С.Н., Галушак В.С., Бахтиаров К.Н.</b> Техничко-экономическая оценка потерь электроэнергии на токи утечки через изоляторы.....	35
<b>Зидымышев Э.В., Кантеев П.Н., Миронов Л.С., Нигматуллина Г.Ф., Саляхутдинов Р.А.</b> Анализ погрешностей измерения нагрузки с помощью измерения электрических параметров режима и с помощью фазометра регистратора переходных процессов .....	38

<b>Зиннатуллина Д.Р.</b> Выявление короткозамкнутых витков в обмотке и магнитопроводе трансформатора .....	41
<b>Иркагалиева И.И., Хузяшев Р.Г., Кузьмин И.Л.</b> Алгоритм определения существенных признаков сигналов переходного процесс .....	44
<b>Касьянова Н.Е.</b> Монтаж электрических сетей .....	47
<b>Константинов Д.В., Валеев И.М.</b> Повышение энергетической эффективности следящего электропривода переменного тока.....	50
<b>Крюкова В.А., Лобанова Е.Н.</b> Разработка комплексной системы мониторинга и диагностики состояния силовых трансформаторов.....	52
<b>Ларионова И.С.</b> Требования к качеству электроэнергии на объектах предприятия .....	56
<b>Лобанова Е.Н., Крюкова В.А.</b> Диагностика состояния устройства регулирования напряжения под нагрузкой .....	58
<b>Лыу Куок Кыонг.</b> Определение потерь мощности в трансформаторах при несимметричной нагрузке.....	61
<b>Макаров В.Г., Валеев И.М., Талибуллин Р.Р.</b> Комплексный подход к совершенствованию средств измерений автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии.....	65
<b>Макаров В.Г., Валеев И.М., Газизянов А.И.</b> Моделирование процесса накопления статического электричества на поверхности топлива .....	67
<b>Макаров В.Г., Валеев И.М., Нургалиев А.И.</b> Анализ и разработка методов снижения гармонических составляющих в распределительных сетях бустерными конверторами.....	70
<b>Маклецов А.М., Галиев И.Ф., Галиев Р.И., Жылдызбекова С.Ж.</b> Аппаратно-программный комплекс диагностики РПН силовых трансформаторов.....	73
<b>Миннигареев В.И.</b> Анализ влияния проведённых ремонтов на изменение технического состояние трансформатора.....	76
<b>Назмиева З.К.</b> Анализ аварийных отключений воздушных линий электропередачи в связи с повреждением изоляторов.....	78
<b>Назмиева З.К.</b> Контроль уровня загрязнения изолятора с помощью микроволнового рефлектометра .....	81
<b>Писковацкий Ю.В., Касимов В.А., Минкин А.С.</b> Локационное определение повреждений в кабельных и воздушных линиях электропередачи .....	84

<b>Ратушняк В.С.</b> Выбор математической модели для расчета электро-механических процессов в индукторной системе .....	87
<b>Садыков Э.М., Козлов В.К.</b> Корреляционная зависимость между показателями качества трансформаторного масла.....	91
<b>Санникова И.О., Титарева Е.Р.</b> Применение интеллектуальных устройств в распределительной сети 6–10 кВ.....	94
<b>Селезнева Е.А.</b> Имитационное моделирование системы мониторинга и охраны трансформаторной подстанции.....	96
<b>Селезнева Е.А.</b> Системы контроля пожарной безопасности на современных электрических подстанциях.....	98
<b>Сибгатуллина С.Р., Гиззатова И.Д.</b> Оценка надёжности воздушных линий электропередачи с учетом климатических факторов .....	100
<b>Слободина Ю.Н., Бикзинуров А.Р., Гарифуллин М.Ш.</b> Эффективность адсорбционной очистки минеральных трансформаторных масел от непредельных соединений.....	102
<b>Снежинская Е.С., Абдуллина А.Р.</b> Асинхронный двигатель, регулируемый преобразователем частоты .....	105
<b>Соловьева А.В.</b> Методика формирования моделей надежности вариантов сети .....	107
<b>Степанова Е.Г., Хузяшев Р.Г.</b> Возникновение ложных максимумов при спектральном анализе сигналов переходных процессов .....	109
<b>Таваров С.Ш.</b> Моделирование электропотребления городских электрических сетей Республики Таджикистан.....	111
<b>Тамсир Анн, Маклецов А.М.</b> Проблемы регулирования напряжения в распределительных сетях .....	114
<b>Тухватуллин Л.Т.</b> Простейшая модель затухания и деформации сигнала переходного процесса распространяющегося в длинной линии .....	116
<b>Фарахманд М.Н., Маклецов А.М.</b> Компенсация реактивной мощности электроснабжающей организацией.....	119
<b>Федоров А.В.</b> Система подъема и спуска роботизированного комплекса для удаления гололедно-изморозевых отложений с проводов линий электропередач.....	122
<b>Хайдаров М.Х., Валеев И.М., Макаров В.Г.</b> Прогнозирование электропотребления электрической энергии Варзобского района Таджикистан. ....	124



<b>Хайдуков А.Г.</b> Автоматизация сетей 10 кВ Котласского РЭС Архангельского филиала ПАО «МРСК Северо-Запада» для повышения надежности электроснабжения потребителей Котласского района Архангельской области .....	126
<b>Шакиров Д.М.</b> Численный анализ экспериментальных осциллограмм .....	129
<b>Яхин Ш.Р., Черланов Е.А.</b> Определение места повреждения ВЛ 110–500 кВ. Применение современных методов .....	132

## Секция 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

<b>Айсина Т.Х., Сошинов А.Г.</b> Мероприятия по снижению нарушений нормативных показателей качества электрической энергии в электрических сетях .....	137
<b>Алимова А.Н.</b> Исследование вероятности безотказной работы в системах электроснабжения.....	141
<b>Артемов Д. Е.</b> Диагностика кабельной линии 6–10 кВ.....	145
<b>Басенко В.Р., Манахов В.А., Григорьева М.О., Беляков К.Ю.</b> Применение электромеханических накопителей энергии в системах электроснабжения .....	147
<b>Басенко В.Р., Низамиев М.Ф.</b> Контроль вибрационных характеристик силового трансформатора с использованием дистанционных лазерных технологий .....	149
<b>Бахауэтдинова И.В.</b> Способы снижения потерь электроэнергии в системе электроснабжения.....	152
<b>Бахауэтдинова И.В.</b> Надежность работы электрических сетей и пути ее повышения.....	155
<b>Васинкин К.А., Долманюк Л.В., Степанова Е.М.</b> Компенсатор токов несимметрии в трёхфазных сетях .....	157
<b>Гарунов А.Т, Азизов К.Р., Петров Т.И., Холикова А.Р.</b> Использование энергии рекуперации для снижения энергопотребления электроприводов для пассажирских лифтов .....	159
<b>Гильмутдинов И.И.</b> Разработка алгоритма определения технического состояния электрических машин.....	162
<b>Доан Нгок Ши</b> Разработка устройства для управления и мониторинга систем электроснабжения .....	166
<b>Загидуллина А.Ш., Логачева А.Г.</b> Современные преобразователи частоты для электропривода лифтов.....	169

<b>Зиганшин А.З.</b> Инновационные системы освещения помещений естественным светом .....	171
<b>Исмоилов И.И.</b> Снижение потерь напряжения в промышленных электрических сетях.....	174
<b>Калайджян А.Х.</b> Организация диспетчеризации в системах электроснабжения .....	178
<b>Крылова Д.А.</b> Тенденции развития конструкции силовых трансформаторов.....	181
<b>Лосюгина Р.С., Галеева Р.У.</b> Доминирующий фактор в цене мощности для конечного промышленного потребителя .....	184
<b>Майоров А.А.</b> Экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения .....	187
<b>Николаев К.В.</b> Проектирование защиты от проникновения в рабочую зону учебно-исследовательской лаборатории по испытаниям и диагностике кабельных линий.....	190
<b>Николаев К.В.</b> Перспектива неразрушающих методов диагностики кабельных линий среднего класса напряжения .....	193
<b>Нургатин Р.Р.</b> Оптимизация наружного и внутреннего искусственного освещения.....	196
<b>Сагадуллина Р.М., Галеева Р.У.</b> Тарификация как механизм управления реактивной мощностью .....	199
<b>Самойлов К.А., Орлов А.И.</b> Алгоритм управления накопителем при сглаживании пиков потребления электроэнергии.....	202
<b>Фадеев П.С., Логачева А.Г.</b> Состояние механизма ценозависимого потребления в России .....	205
<b>Хабибуллина В.Н., Денисова Н.В.</b> Осветительные установки для промышленных помещений с высокими требованиями по качественным характеристикам.....	209
<b>Хуснетдинова Д.И.</b> Анализ существующих устройств и способов контроля и диагностики технического состояния оборудования трансформаторной подстанции, удаленного контроля и управления элементами подстанции.....	212
<b>Шайхуллин А.З.</b> Разработка системы мониторинга технического состояния оборудования подстанции 35/6 кВ.....	215

### Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

<b>Абубакирова А.Р.</b> Формирование схемы замещения и ее параметров для проверки безопасности производства работ под напряжением .....	218
<b>Аль Гбури З.Х.М.</b> Разработка микропроцессорной системы двухосевого ориентирования солнечных панелей.....	220
<b>Асанова Д.Г.</b> Установка для исследования коэффициентов рассеяния перспективных материалов для элементов фотоники и квантовой электроники .....	223
<b>Баширов А.А., Казмирук Л.О., Емельянов А.А., Чунарева А.С.</b> Перспективы применения биодинамического освещения.....	226
<b>Валеяхметов Р.Ф.</b> Уменьшение искажения синусоидальной кривой напряжения .....	228
<b>Васина А.Ю.</b> Сравнительная оценка бренда ряда фирм на основе значений коэффициента технико-экономической эффективности светодиодных светильников .....	231
<b>Вихарева А.А., Харисов Н.И.</b> Исследование влияния энергосберегающих и светодиодных ламп на работоспособность студентов .....	234
<b>Галиева Т.Г.</b> Регистрация высоковольтных разрядов в электрооборудовании электромагнитными методами .....	237
<b>Галимуллин Н.Р., Ахметвалеева Л.В.</b> Дистанционное управление в микроконтроллерных системах .....	240
<b>Галявиева А.Р.</b> Исследование свойств дифракционных элементов для устройств квантовой электроники и фотоники.....	242
<b>Гарипов Н.Н.</b> Модернизация системы сигнальных устройств, позиционирование беспилотных летательных аппаратов в пространстве .....	244
<b>Зарипова А.Р.</b> Свойства фотонных кристаллов.....	246
<b>Зарипова А.Р.</b> Применение фотонных кристаллов в приборах фотоники .....	249
<b>Исламова Г.Н.</b> Энергообеспечение интеллектуальной системы освещения на микро-ГЭС.....	252
<b>Казмирук Л.О., Тукшаитов Р.Х.</b> Сравнительная характеристика программных обеспечений, предназначенных для диммирования светового потока.....	254

<b>Мамедов Г.А.</b> Модернизация системы управления тиристорами .....	257
<b>Нгуен Ван Ву</b> Инклинометрические методы обследования состояния воздушных линий электропередачи .....	260
<b>Нгуен Ван Ву</b> Определение состояния гололедно-изморозевых отложений инклинометрическим и метеорологическим методами. ....	263
<b>Rahimi A.B.</b> Gas Leakage Detection and Evacuation System .....	266
<b>Сагдеев Р.М.</b> Универсальный сверлильный станок с трансформаторным блоком питания .....	270
<b>Сафин И.И.</b> Исследование режимов работы аналого-цифрового преобразователя в микропроцессорных устройствах .....	273
<b>Сиразиева Г.В.</b> Электронный парамагнитный резонанс смешанных кристаллов $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{F}_4$ , легированных ионами $\text{Cu}^{2+}$ .....	275
<b>Скобцов А.М.</b> Разработка интернет радио .....	278
<b>Сморозин К.И.</b> Проектирование импульсного блока питания на IR2153 .....	279
<b>Тухватуллин И.И.</b> Анализ путей достижения электромагнитной совместимости в контуре преобразования электрической энергии частотно-регулируемого электропривода .....	282
<b>Тухватуллин И.И.</b> Аппаратно-программные измерительные комплексы для обследования электромагнитной совместимости. Разработка структурной схемы.....	286
<b>Фасахова А.А.</b> Исследование процессов образования частичных разрядов в изоляционных элементах и методы их регистрации.....	290
<b>Шакиров Р.Л.</b> Исследование активных корректоров коэффициента мощности.....	291
<b>Шакиров Р.Л.</b> Контроллеры корректоров коэффициента мощности ....	294
<b>Шарафутдинов А.И.</b> Проектирование автономного светодиодного освещения помещений.....	297

#### **Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

<b>Абдуллин Т.Р., Шайхутдинов Я.О.</b> USB спектрофотометр .....	299
<b>Аглиуллин В.Р.</b> Модифицирование куганакской глины .....	302
<b>Алемасов Е.П.</b> Новые термоэлектрические материалы.....	304

<b>Гарипов Р.Р., Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М.</b> Исследование электропроводящих и экранирующих свойств композитов на основе эпоксидной смолы и функционализированных углеродных нанотрубок .....	307
<b>Гарькавый С.О., Шмидт Е.В.</b> Исследование полупроводниковых минералов методом ЯМР в локальном поле .....	310
<b>Драцкая А.И., Скворцова А.А.</b> Использование анизотропии жёсткости ячейки штейнера для создания композиционных материалов с заданными свойствами.....	315
<b>Екимовская А.А.</b> Фрактальная конденсация и фрактальное распыление жидкости .....	318
<b>Екимовская В.А.</b> Материалы и конструкции на основе механизма саррюса – перспективные свойства и применение.....	322
<b>Китанин Д.С., Фролов А.С., Мухлина Е.С.</b> Исследования температурного изменения градиента электрического поля на ядрах La в системе $\text{La}_2\text{CuO}_4$ . Переход $5/2 - 3/2$ .....	326
<b>Плотникова Ю.Д., Фролов А., Ахметзянова Г.И.</b> Предварительные исследования распределения электронной плотности в системе $\text{La}_2\text{Cu}_{1-x}\text{Ni}_x\text{O}_4$ . Немагнитная фаза.....	328
<b>Севастьянов И.Г., Гавриленко А.Н., Шульгин Д.А., Матухин В.Л., Шмидт Е.В.</b> Исследование размеров кристаллитов с помощью электронного микроскопа и размерный эффект в релаксации ядерных спинов в полупроводниковом соединении $\text{CuFeS}_2$ .....	330
<b>Фатыхов Р.Р., Хантимеров С.М., Сулейманов Н.М., Базаров В.В., Лядов, Н.М.</b> Анодный материал на основе пористого германия для литий-ионных аккумуляторов.....	333
<b>Хван Д.В., Галлямов Т.И.</b> Особенности построения калибровочного графика на спектрофотометре 722N.....	336

## **Секция 5. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

<b>Альзаккар А.М.</b> Совершенствование методов компенсации реактивной мощности и уменьшения генерации гармонических составляющих.....	340
<b>Волданов Л.Ф., Заббарова К.Р.</b> К вопросу о необходимости проектирования новой тяговой подстанции для электроснабжения городского электрического транспорта города Казани .....	343

<b>Галиахметов В.Д., Хизбуллин А.Р.</b> Тепловая модель IGBT-модуля....	344
<b>Зайнуллин И.И., Филиппов А.Н.</b> Исследование ошибок следящего позиционного электропривода с астатизмом второго порядка при различных видах задающих и возмущающих воздействий.....	347
<b>Закирова Н.Ж., Истоппенников М.А.</b> Автоматизированные системы технического диагностирования.....	350
<b>Исламова Г.Н.</b> Энергообеспечение интеллектуальной системы освещения на микро-ГЭС.....	353
<b>Истоппенников М.А., Закирова Н.Ж.</b> Использование грузового троллейбуса для перевозки грузов из логистических центров .....	355
<b>Папина А.С.</b> Измерение токов и напряжений в несинусоидальных системах переменного тока повышенной частоты.....	358
<b>Рашитова Р.А., Тухбатуллина Д.И., Сафиуллин Б.И.</b> К вопросу об энергосбережении в системе городского электрического транспорта. .	360
<b>Самигуллин Н.И.</b> Исследование электробезопасности троллейбуса ....	363
<b>Сафиуллин Б.И., Тухбатуллина Д.И., Рашитова Р.А.</b> Разработка электронной схемы устройства системы учета и контроля параметров режимов движения городского электрического транспорта .....	366
<b>Сидорова А.А.</b> Увеличение срока службы аккумуляторных батарей с помощью устройства с широтно-импульсной модуляцией.....	369
<b>Тухбатуллина Д.И., Рашитова Р.А., Сафиуллин Б.И.</b> Разработка системы внедрения рациональных режимов работы тягового электрооборудования электроподвижного состава.....	372
<b>Файзуллина А.Р., Миназов М.Р.</b> Стандартные настройки в системах стабилизации скорости электропривода постоянного тока.....	375
<b>Файзуллина А.Р., Миназов М.Р., Адгамов Д.А.</b> Настройка системы стабилизации скорости электропривода постоянного тока.....	378
<b>Фахертдинов Д.Ш., Литвиненко А.Р.</b> Принципы построения и классификация математических моделей обоснования требований к надежности сложных технических систем.....	381
<b>Филиппов А.Н., Зайнуллин И.И.</b> Исследование ошибок следящего позиционного электропривода с астатизмом первого порядка при различных видах задающих и возмущающих воздействий .....	384
<b>Яшагина А.В.</b> Технический осмотр наземного электрического транспорта с помощью бездемонтажных способов диагностирования.....	387

## Секция 6. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

<b>Аюпов Р.Р.</b> Повышение энергетической эффективности и переход на чистую энергетику в промышленных и коммерческих зданиях в странах ЕС.....	390
<b>Бардакова К.А., Сошинов А.Г.</b> Перспективы использования накопителей энергии в комбинированных энергетических установках на возобновляемых источниках энергии .....	393
<b>Бардакова К.А., Сошинов А.Г.</b> Комбинированные энергетические установки на возобновляемых источниках энергии.....	397
<b>Баширов А.А., Казмирук Л.О., Емельянов А.А., Чунарева А.С.</b> Перспективы применения биодинамического освещения.....	400
<b>Братков А.Б., Еманов С.И.</b> Способы экономии электроэнергии на предприятиях .....	403
<b>Денисова А.Р., Абдуллина Г.Р.</b> Повышение энергоэффективности электротехнических систем с помощью автодиммирования. ....	407
<b>Денисова А.Р., Фархутдинов А.Р.</b> Применение устройства I-TOR на подстанциях Татнефти.....	410
<b>Загидуллин А.М., Тукшаитов Р.Х.</b> Особенности методики измерения температуры установок энергетических систем термоэлектрическим и инфракрасным термометрами.....	413
<b>Новокрещенов В. В.</b> Алгоритм защиты линии электропередачи с продольной компенсацией .....	416
<b>Рокина Е.Г.</b> Исследование компенсации реактивной составляющей мощности в распределительных сетях.....	419
<b>Самигуллина Ю.Б.</b> Применение трансформаторов по схеме Скотта в строительных организациях .....	422
<b>Сидоров А.Е., Саттаров М.Ш.</b> Подход к оптимизации системы освещения аэропорта при модернизации и реконструкции .....	425
<b>Тихонин С.Н., Зенина О.А., Шевченко Н.Ю.</b> Анализ путей повышения энергоэффективности силовых трансформаторов.....	428
<b>Фаттахов И.И.</b> Энергоэффективность когенерации тепловой и электрической энергии .....	430
<b>Фетисов Л.В., Маврин Д.Г., Трофименко С.А.</b> Актуальность Li-Ion батарей в системах бесперебойного питания ЦОД .....	433

**Секция 7. СИСТЕМНАЯ АВТОМАТИКА, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
И ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

<b>Алексеева С.Ф., Сиразутдинов Ф.Р.</b> Моделирование работы измерительных трансформаторов тока в переходных режимах короткого замыкания. ....	436
<b>Афонин И. И.</b> Алгоритм выделения существенных признаков сигнала переходного процесса. ....	439
<b>Каримов Н.М.</b> Исследование РЗА сетей 6–35 кВ, выполненных с изолированной и резистивной нейтралью трансформаторов .....	442
<b>Китанин Д.С., Плотникова Ю.Д.</b> Оценка защищающей способности реклоузеров в рамках проекта «Умный РЭС».....	445
<b>Кулакова М.А., Герасимов Э.Ф.</b> Мониторинг силовых трансформаторов цифровых подстанций.....	448
<b>Максакова Е.Д.</b> Влияние кабельной вставки на параметры линейного высокочастотного тракта.....	451
<b>Максимов Р.В., Галиев Р.А., Надергулов М.М., Хузин А.Ш.</b> Разработка лабораторного стенда «Релейная защита и автоматика электроустановок распределительных устройств напряжением 6–35 кВ» .....	454
<b>Митрофанов С.Е., Хусаинова Р.Т.</b> Исследование реализации цифровой подстанции на базе центрального сервера релейной защиты и автоматики. ....	457
<b>Сабирзянова А.Т.</b> Автоматизированная система диспетчерского и технологического управления энергетическим комплексом (АСДТУ).....	461
<b>Фарукова Д.И., Семенов М.Н., Саломау Д.Б.</b> Надежность питания потребителей системы оперативного постоянного тока.....	464
<b>Фарукова Д.И., Семенов М.Н.</b> Защита силовых трансформаторов от геомагнитных возмущений.....	467
<b>Хакимов Н.Ф., Фахрутдинов Р.Р.</b> Анализ работы дистанционной защиты ЛЭП, обеспечивающее дальнейшее резервирование .....	470
<b>Хаков Л.И.</b> Разработка алгоритма оптимального места установки реклоузеров в сетях среднего напряжения .....	472



<b>Хасаншин А.А.</b> Обеспечение надежности выделения генераторов малой мощности на изолированную работу.....	475
<b>Шакиров М. М., Сабанаев И. И., Мустафин Р.Г., Ярыш РФ.</b> Автоматизированная система мониторинга и диагностики состояния оборудования .....	479
<b>Шафигуллин М.И., Сибагатуллин М.Ф., Таначев Г.П.</b> Автоматическая система мониторинга состояния конденсаторов связи .....	481

## **Секция 8. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

<b>Анисимов А.С.</b> Методы переработки золошлаковых отходов ТЭЦ. ....	485
<b>Аракчеева М.Н.</b> Совершенствование процесса водоподготовки на предприятии химической промышленности .....	487
<b>Ахметгалиев И.А.</b> Рециклинг шламовых отходов ТЭЦ.....	490
<b>Валиахметов А.И.</b> Снижение стоков гальванического производства машиностроительной отрасли .....	492
<b>Истомина А.С.</b> Технология очистки воздуха от пыли в строительном производстве.....	494
<b>Короткова А.С.</b> Анализ работы очистных сооружений на предприятиях пищевой промышленности .....	497
<b>Муллагалеева Э.Н.</b> Исследование особенностей снижения интенсивности акустических волн в процессе работы шумоглушителя выбросов пара.....	499
<b>Рамазанова Р.И., Залилова Р.А.</b> Инновации в сфере обучения по охране труда.....	502
<b>Россамахина Н.С.</b> Усовершенствование технологии очистки сточных вод на предприятии молочной промышленности.....	505
<b>Сизова В.В., Муллагалеева Э.Н.</b> Обзор современных технологий снижения уровня шумового воздействия промышленного оборудования.....	508
<b>Тогулева А.С.</b> Методы переработки нефтешламовых отходов. ....	511
<b>Хафизов И.Ф.</b> Использование технологии сжигания для утилизации осадков сточных вод. ....	513
<b>Шаймиева А.Р.</b> Усовершенствование технологии утилизации отходов бурения скважин нефтесервисной компании.....	515

<b>Шигапова Г.И.</b> Усовершенствование системы очистки сточных вод автомобильного производства.....	518
<b>Яковлев Я.И.</b> Источники шума на энергетических предприятиях и методы его снижения.....	520

### **Секция 9. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ**

<b>Амиров Д.И.</b> Автоматизированная система очистки солнечных панелей .....	523
<b>Афанасьев Д.С.</b> Целесообразность применения солнечной электроэнергии для питания автономных пунктов телемеханики за северным полярным кругом. ....	526
<b>Виноградов В.А., Галушак В.С.</b> Энергонезависимая система видеонаблюдения для городских рекреаций и транспортных узлов.....	529
<b>Гайнутдинов Р.Р.</b> Система ветромониторинга для строительства ветроэлектростанции .....	532
<b>Еманов С.И., Братков А.Б.</b> Перспектива перехода с угольной энергетики на альтернативную.....	534
<b>Зайнетдинова Р.Р.</b> Возобновляемые источники электроэнергии в Германии. ....	537
<b>Малькова Я.Ю., Рудник В.Е, Уфа Р.А.</b> Оценка оптимальности места установки объектов возобновляемой генерации. ....	540
<b>Мамедов Г.А., Каминский С.О.</b> Воздействие выбросов мусоросжигающего завода на среду обитания человека .....	543
<b>Митрофанов С.Е.</b> Geothermal energy in New Zealand. ....	546
<b>Сеу Джару Г.Ж.</b> Проблемы использования альтернативной электроэнергии.....	549
<b>Шаймуратов Р.А., Насырова Е.В., Леухина О.В.</b> Выбор теплового насоса системы отопления .....	552

### **Секция 10. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ**

<b>Амиров Д.И.</b> Применение микроконтроллера ARDUINO UNO для диагностики фотоэлектрических панелей. ....	555
<b>Ахмадеев А.А.</b> Сравнительный анализ элегазовых комплектных распределительных устройств с традиционными распределительными устройствами .....	558

<b>Ахметьянов Р.Р.</b> Расчёт безопасного времени нахождения обслуживающего персонала в зоне действия электромагнитных полей воздушных линий электропередачи.....	561
<b>Бохолдин А.А.</b> Моделирование ЧР в кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена в среде COMSOL. ....	563
<b>Валеева Г.Р.</b> Влияние глобальных вызовов ВИЭ на состояние технологий энергосистемы Республики Татарстан на горизонте 2035–2060 гг.....	565
<b>Гайнутдинов Р.И.</b> Разработка трехмерной модели распределения электрического поля в области опорного изолятора.....	569
<b>Гайфутдинова Э.Р., Закиров Д.Ф.</b> Моделирование процессов, происходящих в сети с различной нагрузкой при учёте насыщения магнитопровода в трансформаторах. ....	571
<b>Галимуллина С.И.</b> Дугогасящие реакторы в сетях среднего напряжения. компенсация емкостных токов замыкания на землю в сетях 6–10 кВ.....	574
<b>Гинияуллин Р.Ф., Миронова Е.А.</b> Эффективность применение мобильной модульной подстанции при реконструкции подстанции Лазарево-1 110/10 кВ. ....	577
<b>Дорофеев Д.П., Зарипов Д.К.</b> Исследование дальности работы беспроводной системы контроля изоляции ВЛ. ....	579
<b>Илькевич А.Р.</b> Зависимость величины частичных разрядов, в одинаковых по размеру дефектах изоляции кабельной линии электропередач, от расстояния до трансформаторной подстанции .....	581
<b>Мансор М.Ф.</b> Анализ изменения мощности солнечной фотоэлектрической электростанции в зависимости от уровня солнечного излучения и значения электрических нагрузок.....	584
<b>Мурзин К.Д.</b> Автоматизированная методика выбора средств молниезащиты и заземления (САПР).....	587
<b>Назаров А.В., Рыцова А.В.</b> Математическая модель алгоритма косвенного контроля изоляции обмоток силовых трансформаторов для планирования их оптимальной загрузки и коррекции уставок защит от перегрузки.....	589
<b>Прытков А.В.</b> Обеспечение качества электроэнергии. ....	592

<b>Романцов М.М., Григорьева М.О.</b> Твердотельные аккумулирующие электростанции: перспективы использования и риски.....	595
<b>Сибгатуллин Р.А., Миронова Е.А.</b> Ретрофит ячеек КРУ 6 кВ при реконструкции ПС «Чистопольская 110 кВ» Чистопольских электрических сетей.....	597
<b>Соловьева А.А.</b> Анализ использования возобновляемых источников энергии в изолированных северных энергорайонах. ....	600
<b>Соловьева А.А.</b> Анализ повышения маневренности ТЭЦ для покрытия суточного потребления электроэнергии.....	603
<b>Сопина А.А.</b> Эффективность внедрения парогазовых установок.....	605
<b>Хабиров И.А.</b> Контроль состояния силовых трансформаторов.....	608
<b>Хайбуллин Р.Ш., Репьев Е.В.</b> Термопары как автономный источник питания заградительных огней дымовых труб ТЭС. ....	611
<b>Хайбуллин Р.Ш., Репьев Е.В.</b> Что ждет энергосистему в будущем?. ...	614
<b>Шафейкин Д.И.</b> Способы диагностики ОПН в процессе эксплуатации ...	618

*Научное издание*

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2020  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

28–29 апреля 2020 г.

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Компьютерная верстка И.В. Красновой  
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшиной

Подписано в печать 26.11.2020.

Формат 60×84/16. Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 36,97. Уч.-изд. л. 26,99. Тираж 250 экз. Заказ № 5208.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ  
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51