ISBN 978-5-6046580-6-2

МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Материалы конференции

1



ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

cigre Россия · РОССЕТИ · НАДЕЖНАЯ СМЕНА · КГЭУ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

АО «Системный оператор Единой энергетической системы»

Публичное акционерное общество «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы»

Российский национальный комитет международного совета по большим электрическим системам высокого напряжения (РНК СИГРЭ)

Благотворительный фонд «Надежная смена»

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021 «ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э.Ю. Абдуллазянова

Казань
2021

УДК 620.9
ББК 31.3
Т42

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

Т42 **Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация».** В 3 т. Т. 1. Электроэнергетика и электроника: матер. Междунар. молод. науч. конф. (Казань, 28–30 апреля 2021 г.) / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: ООО ПК «Астор и Я», 2021. – 559 с.

ISBN 978-5-6046580-6-2 (т. 1)
ISBN 978-5-6046580-3-1

Опубликованы материалы Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2021 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области электроэнергетики и электроники 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 978-5-6046580-6-2 (т. 1)
ISBN 978-5-6046580-3-1

© КГЭУ, 2021
Оформление ООО ПК «Астор и Я», 2021

Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

УДК 620.179.16

ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.Д. Арсланов[1], А.А. Потанин[2], А.А. Абдуллов[3], З.Р. Баймухаметов[4], З.А. Даутов[5]
[1,2,3,4,5]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]arslanovad97@gmail.com, [2]gornego.tes@gmail.com,
[3]arturabdullov97@gmail.com, [4]zeromax7931@gmail.com, [5]DautovZA@gmail.com
Науч. рук. Д.А. Иванов

Представлена методика выявления и локализации дефектов изделий из металла или ферромагнетика. Описаны принципы работы электромагнитно-акустического метода неразрушающего контроля объектов электроэнергетики. Его преимущества и недостатки.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, электромагнитно-акустический метод, ультразвуковая диагностика, магнитострикция, электромагнитно-акустический преобразователь.

Широкий класс изделий во многих областях промышленности изготавливается методом литья с обработкой температурой, давлением и т. д. Поверхность таких изделий имеет большую шероховатость. Это препятствует использованию пьезоэлектрических преобразователей, но не снимает необходимости контроля этих изделий. Действующему оборудованию после того, как оно отработает некоторый ресурс, требуется периодический индивидуальный контроль для обеспечения безопасности эксплуатации.

В данной работе рассматриваются принципы электромагнитно-акустического метода (ЭМА) неразрушающего контроля. Использование данного метода позволяет проводить оценку напряженно-деформированного состояния металлических элементов электроэнергетического оборудования.

ЭМА метод возбуждения и приема ультразвуковых колебаний основан на трех эффектах взаимодействия электромагнитного поля с объектом контроля: эффектах магнитного и электродинамического взаимодействия, и магнитострикции [1].

Магнитострикцией называется явление, заключающееся в том, что при изменении состояния намагниченности тела его объём и линейные размеры изменяются (рис. 1).

Электродинамическое взаимодействие проявляется в возбуждении вихревых токов в исследуемом материале, взаимодействующих с постоянным магнитным полем и создающих колебания, что, в свою очередь, вызывает механические напряжения, которые в дальнейшем ведут к появлению упругих акустических колебаний.

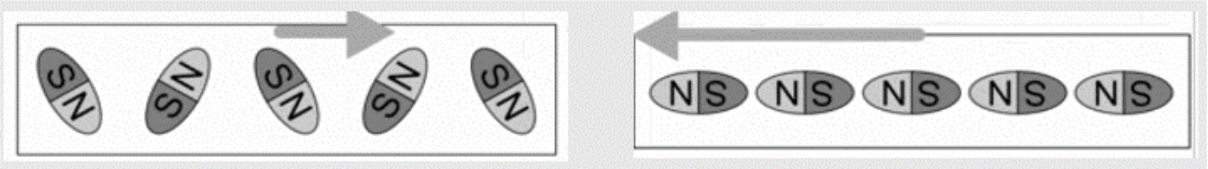


Рис. 1. Магнитострикционный эффект [2]

Электромагнитно-акустический (ЭМА) метод подразумевает собой регистрацию акустических волн после взаимодействия с контролируемым объектом из металла или ферромагнетика с помощью вихретокового преобразователя [3].

Электромагнитно-акустические преобразователи (ЭМАП) являются относительно новым направлением в ультразвуковой диагностике. Основное отличие данной технологии состоит в том, что генерация ультразвуковых колебаний происходит непосредственно в объекте исследования. Через индуктор ЭМАП протекает импульс высокочастотного тока, что создает в поверхностном слое металла вихревой ток.

Преобразователи возбуждают поперечные волны, распространяющиеся под углом к поверхности и по нормали. Электромагнитно-акустические преобразователи не нагружают поверхность объекта контроля. Данная особенность в свою очередь устраняет проблемы проявляющиеся из-за процессов реверберации. Акустический тракт ЭМА дефектоскопа весьма прост, поскольку ультразвуковые волны возбуждаются и распространяются, только в самом объекте контроля. Лишь сам объект контроля и содержащиеся в нем неоднородности, способны поменять картину волнового поля.

Поперечные волны, которые распространяются непосредственно по нормали к поверхности, более чувствительны к некоторым дефектам. Поперечные волны распространяются вдвое «медленнее» продольных. Это в свою очередь создает благоприятные условия для повышения разрешающей способности при контроле эхо-методом и толщинометрии.

Применение поперечных волн определенной поляризации дает возможность обнаруживать неудобные для отражения трещины с высокой точностью, даже в случаях, когда их плоскость параллельна направлению прозвучивания.

Электромагнитный контакт преобразователей с поверхностью объекта контроля, является гораздо более устойчивым, чем акустический контакт для пьезоэлектрических преобразователей. Колебания опорного сигнала на бездефектных участках обычно не превышают 4–6 дБ. Акустическая ось не отклоняется при изменении положения преобразователя относительно поверхности объекта контроля [4].

В результате воздействия на объект контроля электромагнитного поля формируется электромагнитно-акустический сигнал отклика. Данный сигнал содержит информацию об объекте контроля в виде изменения временных и частотных параметров (рис. 2). В качестве интегрального параметра, который отражает совокупность различных свойств металла (магнитных, электрических, акустических и механических), которые характеризуют его эксплуатационные свойства, используется его передаточная функция, получаемая с использованием электромагнитно-акустического эффекта. Изменения структуры металла, дефекты, трещины, зарождение и развитие повреждений вызывают изменение параметров его передаточной функции. Исходя из этого анализ параметров передаточной функции позволяет идентифицировать эти изменения, оценить техническое состояние и ресурс безопасной эксплуатации электрооборудования.

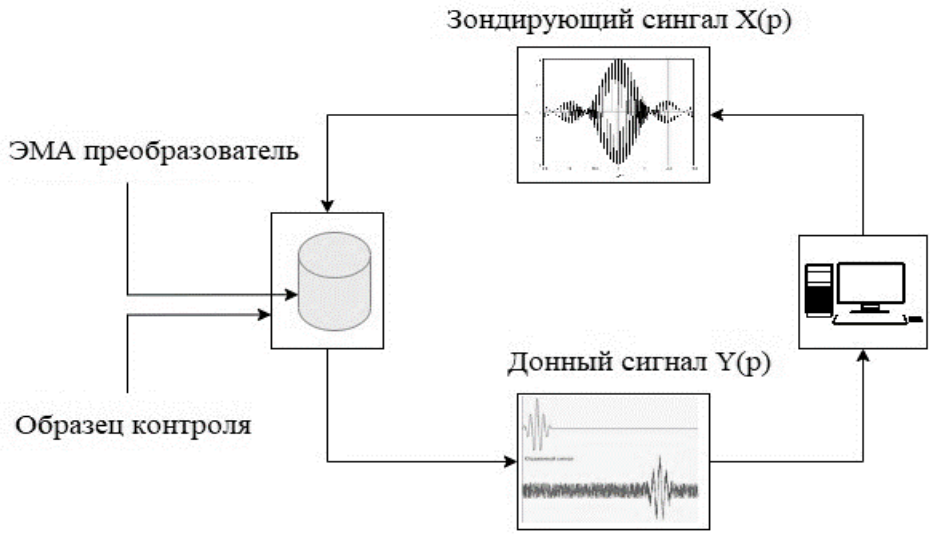


Рис. 2. Структурная схема системы «ЭМА-преобразователь – объект контроля» [5]

Слабое место традиционных методов УЗК это контактная жидкость. Необходимость применения жидкости часто вызывает конфликт с металлургическими технологиями. Соблюсти все требования по температуре, скорости перемещения и состоянию поверхности объектов контроля с каждым днем становится все сложнее. Используя ЭМАП не требуется применять контактные жидкости, а значит отсутствуют все связанные с ней недостатки.

Бесконтактные методы возбуждения акустических волн по средствам ЭМАП позволяют проводить ультразвуковой контроль при шероховатой и загрязненной поверхности объектов, высоких и низких температурах рабочей поверхности, а также в случаях, когда по применяемой технологии контактные жидкости применять недопустимо.

К основным преимуществам технологии контроля с применением электромагнитно-акустических преобразователей по сравнению с классическим ультразвуковым контролем можно отнести:

1) ЭМАП способен возбуждать поперечные волны в широком диапазоне частот, это увеличивает измеряемый диапазон и точность измерений в сравнение со стандартным ПЭП;

2) сниженные требования к подготовке поверхности, по причине отсутствия непосредственного контакта ЭМАП с металлом, а также отсутствие необходимости в использовании контактной жидкости;

3) нет необходимости устанавливать ЭМАП очень ровно, можно устранять ошибки измерения, появляющиеся из-за преломления звука на границе «преобразователь – объект контроля»;

4) датчик может быть использован на поверхности с широким температурным диапазоном;

5) угол ввода импульса не влияет на качество контроля;

6) у бесконтактного преобразователя нет износа, поскольку он не подвержен трению;

7) приборы с ЭМАП позволяют исследовать объекты сложной формы и трубы малого диаметра.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

Источники

1. Сыдыков Ж.Б. Разработка электромагнитно акустического метода для контроля литья [Электронный ресурс]. URL: http://earchive.tpu.ru/handle/11683/28268 (дата обращения: 20.02.2021).

2. Магнитострикция [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитострикция (дата обращения: 25.02.2021).

3. Место акустоэлектромагнитного метода неразрушающего контроля адгезионных соединений композиционных материалов в дефектоскопии / М.И. Баумгартэн [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1.

4. Электромагнитно-акустические преобразователи (ЭМАП) [Электронный ресурс]. URL: https://www.ntcexpert.ru/562-jelektromagnitno-akusticheskie-preobrazovateli (дата обращения: 25.02.2021).

5. Баширов М.Г., Хуснутдинова И.Г., Алтынбаев А.М. Практическое использование электромагнитно-акустического эффекта в задачах оценки технического состояния и ресурса оборудования // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2020. С. 9–13.

УДК 621.316

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В.Ю. Банникова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Vika123bannikova@rambler.ru
Науч. рук. М.Ш. Гарифуллин

Приведен расчет и правила оценки индекса технического состояния. Для оценки индекса технического состояния выбрано такое оборудование, как воздушные линии электропередач.

Ключевые слова: электрооборудование, техническое состояние, индекс технического состояния, метод, надежность.

Под надежностью электрооборудования следует понимать свойство, которое сохраняет значения параметров в установленных пределах, выполняет функции в заданных режимах и условиях технического обслуживания, ремонтов и эксплуатации.

Надежность оборудования начинается с процесса проектирования, обеспечивается при изготовлении и контролируется при эксплуатации. Чем сложнее техническое устройство, тем больше вероятность того, что его отказ в процессе эксплуатации принесет значительный материальный ущерб. Техническое состояние (ТС) оборудования характеризуется определенными интегральными параметрами в данный момент времени и при определенных внешних факторах [1]. Одним из таких параметров является индекс технического состояния (ИТС). ИТС описывает состояние оборудования на протяжении всего жизненного цикла, включая ремонты и диагностику.

Индекс технического состояния линий электропередач можно рассчитать по методике, утвержденной приказом Минэнерго России от 26 июля 2017 г. № 676 [2]. В соответствии с п. 3.7 методики, если количество функциональных узлов («Опора» и «Пролет») ЛЭП с рассчитанным индексом технического состояния, не превышающим значение «50», меньше 15% от общего числа функциональных узлов, то ИТС единицы основного оборудования (ИТС) будет рассчитываться по следующей формуле:

$$\text{ИТСУ} = \sum \text{КВУ}_i \cdot \text{ИТСУ}_i,$$

где КВУ_i – значение весового коэффициента для *i*-го функционального узла; ИТСУ_i – индекс технического состояния *i*-го функционального узла.

В случае если количество функциональных узлов ЛЭП с рассчитанным индексом технического состояния, не превышающим значение «50», равно или больше 15 % от общего числа таких функциональных узлов, то расчет индекса технического состояния ЛЭП ($\text{ИТС}_{\text{ЛЭП}}$) осуществляется по формуле:

$$\text{ИТС}_{\text{ЛЭП}} = \sum \text{ИТСУ}_i / \text{КУ},$$

где КУ – количество функциональных узлов ЛЭП; ИТСУ_i – индекс технического состояния *i*-го функционального узла ЛЭП.

Ниже представлена таблица соответствия диапазона индекса технического состояния его виду и цвету.

Диапазоны индекса технического состояния

Диапазон ИТС	Вид технического состояния	Цвет
85< ИТС ≤ 100	Очень хорошее	Темно-зеленый
70< ИТС ≤ 85	Хорошее	Зеленый
50< ИТС ≤ 70	Удовлетворительное	Желтый
25< ИТС ≤ 50	Неудовлетворительное	Оранжевый
≤25	Предельное(критическое)	Красный

Оценка технического состояния оборудования на основе расчета индекса технического состояния является обязательным компонентом на производстве [3]. Интегральный показатель отражает техническое состояние технологического оборудования на текущий момент, а также используется при создании графиков ремонта оборудования и ряда мероприятий по модернизации.

Источники

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

2. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей [Электронный ресурс]: утв. приказом Минэнерго России от 26 июля 2017 г. № 676 (с изменениями на 17 марта 2020 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 21.03.2021).

3. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: РАО «ЕЭС России», 2004. 153 с.

УДК 621.315.175

БОРЬБА С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Р.Н. Бекмансурова, Д.М. Валиуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
puinrusia5@yandex.ru

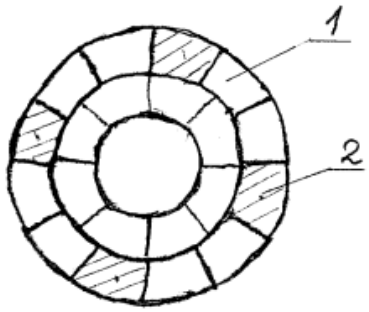
Рассмотрена модель и возможность применения безгололедного провода для борьбы с обледенением и «пляской» проводов в районах, подверженных сильным гололедно-ветровым нагрузкам. Описаны физическая сущность предотвращения гололедных образований, «пляски» и вибрации на заявленном проводе и преимущества его использования.

Ключевые слова: ЛЭП, гололедообразование, безгололедный провод, точка Кюри.

При эксплуатации ВЛ в ряде регионов возникает проблема обледенения проводов и других конструкций в осенне-зимний период. Отложение гололеда на линиях электропередачи могут привести к таким последствиям, как разрегулировка проводов и грозозащитных тросов и их сближение между собой; пляска проводов; обрыв проводов и тросов; разрушение опор; перекрытие линейной изоляции ВЛ при таянии [1]. Так, например, в 2010 г. в Республике Татарстан из-за сильного ветра и обледенения проводов без электроэнергии остались 70 населенных пунктов с населением более 18,6 тыс. жителей. Подобные аварии приносят значительный экономический ущерб, на их устранение уходит несколько дней и затрачиваются огромные средства.

В настоящее время известны 4 основные группы способов борьбы с обледенением проводов ВЛ: механические, термические, физико-химические и электромеханические. Но все перечисленные методы требуют постоянного активного участия персонала, затрат энергии или химических реактивов, а иногда и небезопасны для окружающей среды [2].

При строительстве и реконструкции ВЛ в районах, подверженных гололёдно-ветровым нагрузкам, желательно было бы использовать провода, на которых гололёд не образуется вовсе. Имеется модель данного провода, называемого «безгололедным» (см. рисунок), разработанная В.А. Максимовым.



Модель безгололедного провода: *1* – алюминиевые или композитные проволоки; *2* – ферромагнитные проволоки

Предлагаемый провод имеет в наружном повиве ферромагнитные проволоки. Это позволяет предотвратить обледенение и «пляску» проводов токами нагрузки в эксплуатационном режиме работы ВЛ без отключения потребителей.

При применении «безгололедного» провода не требуются установки плавок гололеда, проведение самих затратных плавок, оснащение линий системами телесигнализации о гололедных нагрузках, оборудование линий механическими гасителями «пляски» и вибрации проводов. Все это позволяет сэкономить капитальные затраты.

В данном проводе реализовано 3 явления благодаря которым не происходит обледенения, «пляски» и вибрации проводов.

Первое явление – нагрев поверхности проводов. В наружном повиве провода встроены ферромагнитные проволоки, причем их сопротивление значительно выше сопротивления алюминиевых или композитных проволок. В результате гололедные отложения и «пляска» не образуются, т.к. наружный повив провода в эксплуатационном режиме имеет подогретую поверхность.

Второе явление связано с наличием у ферромагнетиков фазового перехода второго рода, который происходит при температуре Кюри. При повышении температуры выше точки Кюри (0 °С) материал превращается в парамагнетик и тепло на проводе не выделяется, при снижении температуры ниже точки Кюри материал превращается в ферромагнетик. Таким образом, нагрев у таких проводов в зависимости от температуры автоматически регулируется без участия персонала и каких-либо приспособлений.

Третье явление обусловлено термической закалкой отдельных участков встроенных ферромагнитных проволок. Бегущие и отраженные волны, которые возникают под действием ветра и обуславливают «пляску» и вибрацию проводов, в местах перехода от термозакаленных участков к незакаленными участками проволок гасятся и провод не подвергается «пляске» и вибрации.

Заявляемый провод имеет следующие преимущества:

– позволяет изначально предотвратить гололедные отложения, «пляску» и вибрацию проводов;

– предотвращение обледенения проводов осуществляется без отключения энергоснабжения потребителей;

– при применении «безгололедного» провода не требуется проведение дорогостоящей плавки гололёда и установка на ВЛ гасителей «пляски» и вибрации;

– предотвращение гололеда на проводах ВЛ осуществляется автоматически без участия персонала, а также не требует установки какой-либо аппаратуры [3].

Источники

1. Копейкина Т.В. Борьба с образованием гололеда на проводах ЛЭП // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. 2019. № 1 (26). С. 28–31.

2. Никитина И.Э., Абдрахманов Н.Х., Никитина С.А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 794–823.

3. Безгололедный провод: пат. 189295 Рос. Федерация № 2018139583; заявл. 08.11.18; опубл. 21.05.19, Бюл. № 15.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНГИБИТОРА ОКИСЛЕНИЯ 2,6-ДИ-ТРЕТ-БУТИЛФЕНОЛА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО МАСЛА

А.Р. Бикзинуров[1], Ю.Н. Слободина[2], М.Ш. Гарифуллин[3]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]mr.azat780@mail.ru, [2]ulya_slobodina@mail.ru, [3]g_marsels@mail.ru,

Исследовано влияние исходной концентрации в минеральном трансформаторном масле ингибитора окисления 2,6-ди-трет-бутилфенола на процесс его термоокисления. Анализ глубины термодеструкции образцов масел оценивался по величине их кислотного числа, а также по спектрам поглощения масел в УФ области спектра. Сделаны выводы относительно наличия у исследованной присадки проокислительных свойств при ее добавлении к маслу в малой концентрации.

Ключевые слова: минеральное трансформаторное масло, термодеструкция минерального масла, ингибитор окисления, 2,6-ди-трет-бутилфенол, оптическая спектроскопия.

Стабильность работы силового электрооборудования во многом определяется состоянием внутренней изоляции. Так, эксплуатационное состояние силового маслонаполненного трансформатора зачастую определяется исключительно состоянием находящегося в нём масла, которое играет роль жидкого диэлектрика и теплоотводящего агента. На рынке существуют самые различные виды трансформаторных масел, нашедшие своё применение в самых разнообразных условиях, но, ввиду своей доступности и относительной дешевизны, значительную долю на рынке занимают минеральные масла.

С течением времени структура масла неизбежно подвергается деградации, что принято называть старением. Процесс старения масла ускоряется, оказываясь под эксплуатационными факторами работы трансформатора: под воздействием разрядов и постоянной теплоотдачи. Значительную долю в процесс старения масла вкладывает его окисление, поэтому для замедления данного используются антиокислительные присадки. Заводы-изготовители сами добавляют антиокислительную присадку в масло, а в её концентрация является контролируемой величиной и периодически проверяется в диагностических лабораториях при энергетических предприятиях.

Наиболее распространенной антиокислительной присадкой для минеральных трансформаторных масел является ингибитор окисления фенольного типа 2,6 дитретбутил-4-метилфенол (торговое название ионол), формула которого приведена на рис. 1.

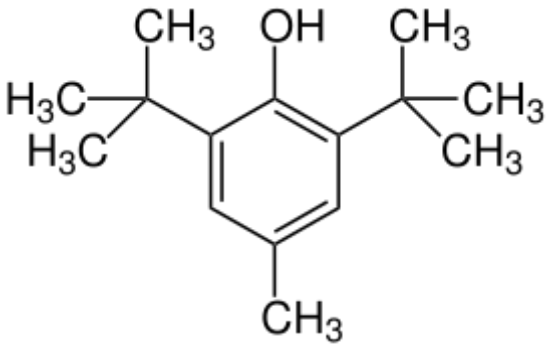


Рис. 1. Структурная формула присадки ионола

Согласно нормативных документов [1], количественное содержание ионола должно быть в диапазоне 0,1–0,4 % массы. При этом в отечественной практике укоренилось представление, что при снижении концентрации ионола ниже значения 0,1 % массы он проявляет проокислительные свойства: масло, содержащее присадку ионол в концентрации менее 0,1 % окисляется быстрее, чем масло вообще не содержащее ионола [2].

Однако в результате проведенных нами исследований по термоокислительной деструкции минеральных масел с концентрациями ионола 0 %; 0,05 %, 0,1 % и 0,2 % было продемонстрировано отсутствие проокислительного действия ионола [3].

Еще одним представителем антиоксидантов фенольного типа является 2,6-ди-трет-бутилфенола (2,6-DTBP). Структурная формула этой присадки представлена на рис. 2, из которого видно, что, в отличие от ионола, у 2,6-DTBP отсутствует метильная группа в положении 4.

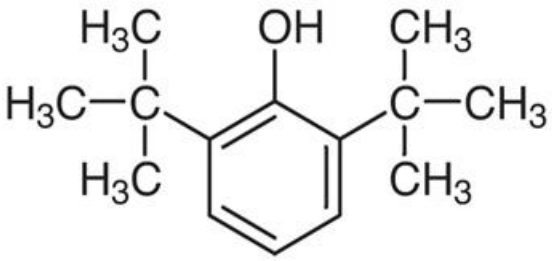


Рис. 2. Структурная формула 2,6-ди-трет-бутилфенола (2,6-DTBP)

В зарубежной практике данная присадка наряду с ионолом широко используется для стабилизации энергетических масел. В этой связи актуальным представлялось проведение исследования на предмет наличия либо отсутствия проокислительного эффекта и для присадки 2,6-DTBP.

Экспериментальная часть

Для проведения исследования были подготовлены образцы масел марки ВГ со следующей концентрацией 2,6-DTBP: 0; 0,05; 0,1 и 0,2 % масс. Все образцы были подвергнуты термоокислительной деструкции в масляной бане при температуре 150 ^{o}C, согласно ГОСТ 981-75.

Для оценки степени деградации окисленных образцов масел использовалось кислотное число масел, а также спектры поглощения масел в УФ-Видимой области.

Кислотное число масел определялось методом титрования, согласно ГОСТ-5985-79.

Оптические спектры поглощения в УФ-Видимой области были измерены с помощью спектрометра «Cary-100» в кварцевой кювете толщиной 10 мм с разрешением 1 нм.

Результаты и обсуждения

В таблице представлены результаты определения кислотных чисел исследуемых образцов масел. Все образцы масел до окисления имели кислотное число 0,003 мг КОН/г масла.

Значения кислотных чисел в исследуемых образцах масел

Номер образца	Исходная концентрация 2,6-DTBP, %	Кислотное число, мг KOH/г масла
1	0	26,30
2	0,05	20,79
3	0,10	8,76
4	0,20	0,17

Как можно видеть из таблицы, кислотное число окисленных образцов последовательно увеличивается по мере снижения в образцах масел исходной концентрации 2,6-DTBP.

Для исследования УФ спектров поглощения был использован диапазон 360-600 нм. Анализ поглощения в этом спектральном диапазоне используется в ASTM D 6802–02 [4] для определения общего количества продуктов деградации, растворенных в маслах. Увеличение поглощения в данной области обусловлено как рассеиванием излучения коллоидными частицами масла, так и увеличением содержания в масле полиароматических углеводородов [5]. На рис. 3 приведены УФ спектры исследуемых образцов масел. Для сравнения на рисунке приведен спектр поглощения масла, не подвергнутого термоокислению, обозначенного как «Исходный образец».

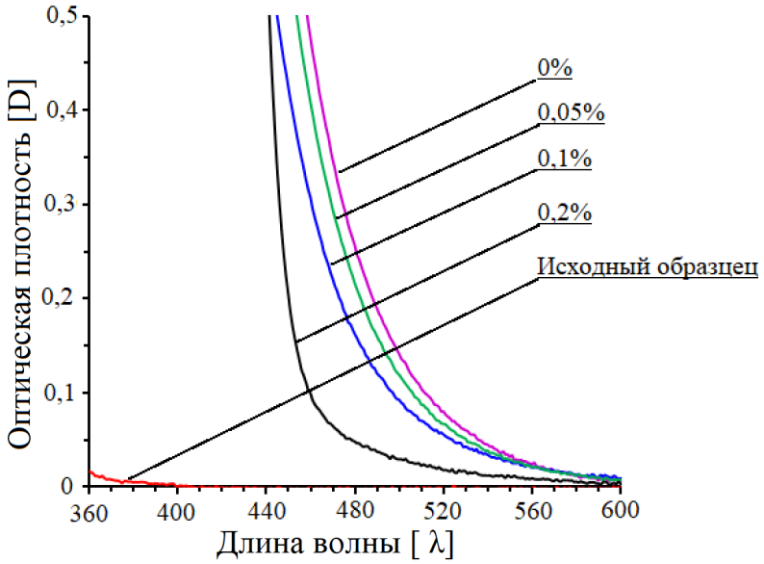


Рис. 3. Спектры поглощения окисленных образцов масел. Толщина кюветы 10 мм. Цифрами указана исходная концентрация в маслах присадки 2,6-DTBP

Анализ представленных УФ спектров иллюстрируют, что при понижении в маслах исходной концентрации 2,6-DTBP интенсивность интегрального поглощения в рассматриваемой области спектра последовательно увеличивается, что свидетельствует об увеличении в маслах растворенных продуктов деградации.

Видно, что общее содержание растворенных коллоидных и полиароматических соединений у образца масла с исходной концентрацией 2,6-DTBP 0,05% ниже, чем у образца, окислявшегося без присадки (0 %). Таким образом, по результатам УФ спектроскопии проокислительное действие низкой концентрации 2,6-DTBP также не подтверждается.

Выводы

В результате проведенных исследований получено, что степень термоокислительной деструкции минеральных трансформаторных масел последовательно увеличивается по мере снижения исходной концентрации 2,6-DTBP от 0,2 до 0 %. Таким образом 2,6-DTBP, также как и ионол, не проявляет проокислительных свойств при концентрации в масле менее 0,1 %.

В совокупности с полученными ранее результатами можно утверждать, что представление о наличии проокислительных свойств у ингибиторов окисления фенольного типа является ошибочным.

Источники

1. СТО 34.01-23.1-001-2017. Объем и нормы испытаний электрооборудования. М.: ПАО «Россети», 2017. 262 с.

2. Липштейн Р.А., Шахнович М.И. Трансформаторное масло. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.

3. Бикзинуров А.Р., Слободина Ю.Н., Гарифуллин М.Ш. Влияние концентрации ионола на процесс окисления минерального трансформаторного масла // «Тинчуринские чтения – 2020 «Энергетика и цифровая трансформация»: матер. Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2020. Т. 1. С. 6–10.

4. ASTM D 6802–02 “Test Method for Determination of the Relative Content of Dissolved Decay Products in Mineral Insulating Oils by spectrophotometry”. 2002.

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

УДК 621.315.615.218

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ, ДИСПЕРСНО-КОЛЛОИДНЫХ СТРУКТУР И ДРУГИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ЦВЕТ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Д.М. Валиуллина[1], Ю.К. Ильясова[1], В.К. Козлов[1]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]valiullinadiliya@mail.ru, [2]iljasovayulia@yandex.ru, [3]kozlov_vk@bk.ru

В работе [1] изложены основы анализа состава трансформаторного масла спектральным методом. При облучении прямоугольной емкости (кюветы) с маслом белым светом, в прошедшем через кювету свете будут проявляться поглощение и рассеяние света составными частицами масла, а в свете, наблюдаемом в перпендикулярном направлении к распространению облучения, будет присутствовать только рассеянное излучение на частицах масла и излучение люминесценции масла.

Ключевые слова: спектральный метод, кювета, люминесценция, уравнением Релея, ароматические соединения, дисперсные системы, длина волны, рассеяние света

Введение

В работах [2, 3] показано, как меняется вклад люминесценции в рассеянное излучение при изменении концентрации ароматических соединений в масле (разные марки масел и разная степень деградации) и изменение объема люминесцирующих молекул и цвета люминесценции при повышении концентрации ароматических соединений и их изменении (усложнении молекулярного состава этих соединений). В предлагаемой работе мы рассмотрим, как меняется рассеянное и прошедшее излучение и его цвет в зависимости от характеристик трансформаторного масла.

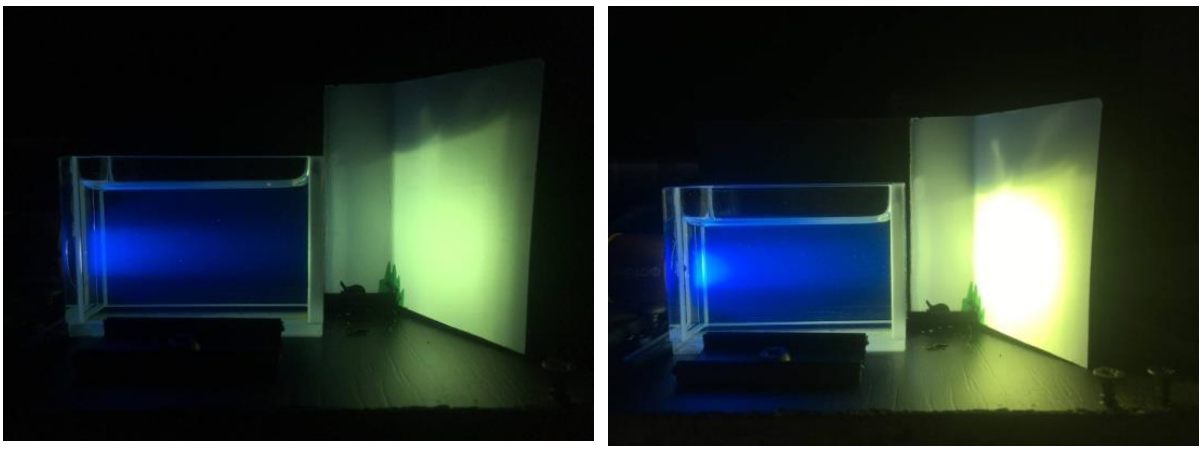
В случае дисперсных систем, в которых частицы не поглощают свет, не окрашены и имеют сферическую форму, не проводят электрический ток и их размеры малы по сравнению с λ подающего света (не более $0{,}1\lambda$) и удалены друг от друга на достаточно большое расстояние, интенсивность света рассеянного под прямым углом описывается уравнением Релея – прямо пропорциональна концентрации частиц в единице объема, квадрату объема частиц и обратно пропорциональна длине волны в четвертой степени. С увеличением размера частиц зависимость интенсивности рассеянного света от длины волны становится менее резкой, показатель степени λ в уравнении снижается от 4 до 2. В системах, где размер частиц

становится несколько больше длины волны (показатель достигает 2), рассеянный свет становится белым. Когда же размер частиц значительно превышает λ (показатель равен 0), светорассеяние переходит в отражение света, не зависящее от λ. В тех случаях, когда не выполнены условия интенсивного рассеяния, в частности для дисперсных систем с частицами, поглощающими свет, значение показателя может быть значительно больше 4. Например, поглощая фиолетово-синюю часть (400–480 нм) видимого света, коллоидная система оказывается окрашенной в цвет, дополнительный поглощенному − желтый при поглощении голубовато-зеленой части (480–510 нм) она принимает красноватую окраску. Трансформаторное масло при сильной деградации имеет красно-коричневый оттенок, что говорит о поглощении света при $\lambda < 700$ нм. Следует отметить, что молекулярное рассеяние света, всегда присутствующее в жидкостях, существенно слабее рассеяния на коллоидных структурах (интенсивность рассеянного света составляет около $10^{-6}…10^{-7}$ части от интенсивности падающего света) и его практически невозможно наблюдать на фоне Релеевского рассеяния частицами.

Обсуждение результатов

Таким образом, цвет излучения, прошедшего сквозь состаренное трансформаторное масло, определяется рассеянием излучения на коллоидных структурах, тогда как цвет свежего и слабо деградированного трансформаторного масла зависит от содержания в масле ароматической фракции сечение поглощения которой существенно больше сечения рассеяния на коллоидных частицах. Поэтому люминесценция ароматических соединений будет интенсивнее даже при существенно меньших концентрациях, нежели Релеевское рассеяние на коллоидных частицах. В условиях реальной эксплуатации многие процессы старения идут одновременно и параллельно, поэтому рост кислотного числа трансформаторного масла, увеличение доли ароматической компоненты, а также коллоидных структур имеют высокую степень корреляции и повышаются в процессе деградации трансформаторного масла.

Образцы трансформаторного масла облучались в прямоугольной емкости(кювете) белым светом светодиода с излучением накачки на длине волны 450 нм. На рис. 1, *а* приведена фотография Государственного стандартного образца массовой доли механических примесей ГСО МПН-0,005 с массовым процентом примесей 0,005 %, а на рис. 1, *б* − фотография образца ГСО МПН-0,015 с массовым процентом примесей 0,015 %.



а *б*

Рис. 1. Фотография стандартного образца массовой доли примесей:
а − массовая доля примесей 0,005 %; *б* − массовая доля примесей 0,015 %

Как видно из рис. 1, *а*, образец окрашен в синий цвет за счет более сильного рассеяния коротковолнового излучения, согласно закону Релея. Увеличение концентрации примеси приводит к усилению интенсивности рассеянного света (рис. 1, *б*) без изменения его цвета. Наличие диффузного рассеяния света образцом приводит к размыванию изображения прошедшего пучка света на экране, расположенном за образцом.

На рис. 2 приведена фотография стандартного образца кислотного числа нефтепродуктов КЧ-0,02-НС с кислотным числом 0,02 мг КОН/г. Стандартный образец представляет собой толуольный раствор ароматической карбоновой кислоты в вазелиновом масле.

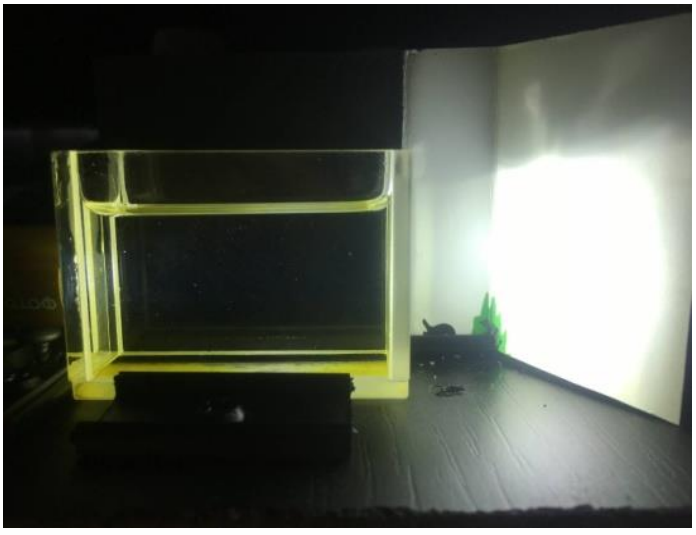
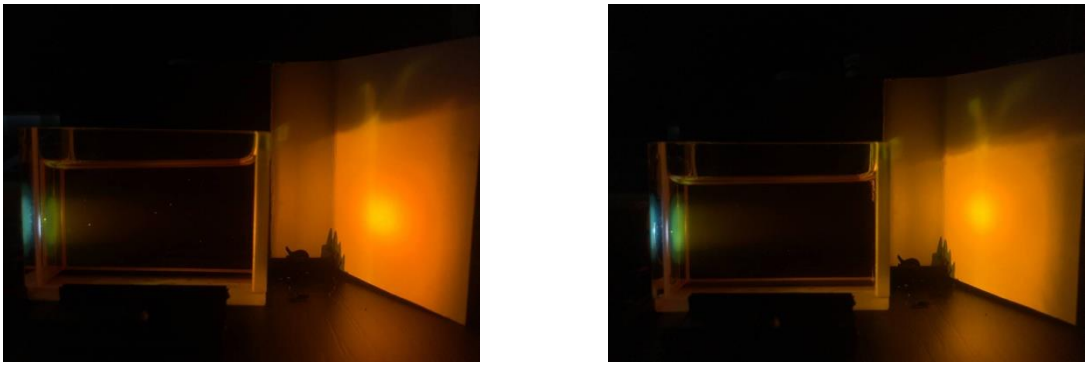


Рис. 2. Фотография стандартного образца кислотного числа нефтепродуктов КЧ-0,02-НС с кислотным числом 0,02 мг КОН/г

Как следует из рис. 2 отсутствие механических частиц в образце приводит к отсутствию рассеянного света. Отсутствие же ароматических соединений в образцах, представленных на рис. 1 и 2 приводит к отсутствию молекулярного поглощения в указанных образцах и как следствие к отсутствию люминесцентного свечения на начальном участке кюветы.

На рис. 3, *а* приведена фотография трансформаторного масла с кислотным числом 0,02 мг КОН/г и тангенсом угла диэлектрических потерь tgδ = 0,018, пробивным напряжением $U_{пр}$ = 67,1 кВ, а на рис. 3,б – фотография трансформаторного масла с кислотным числом 0,1 мг КОН/г, tgδ = 0,098 и $U_{пр}$ = 90,0 кВ.



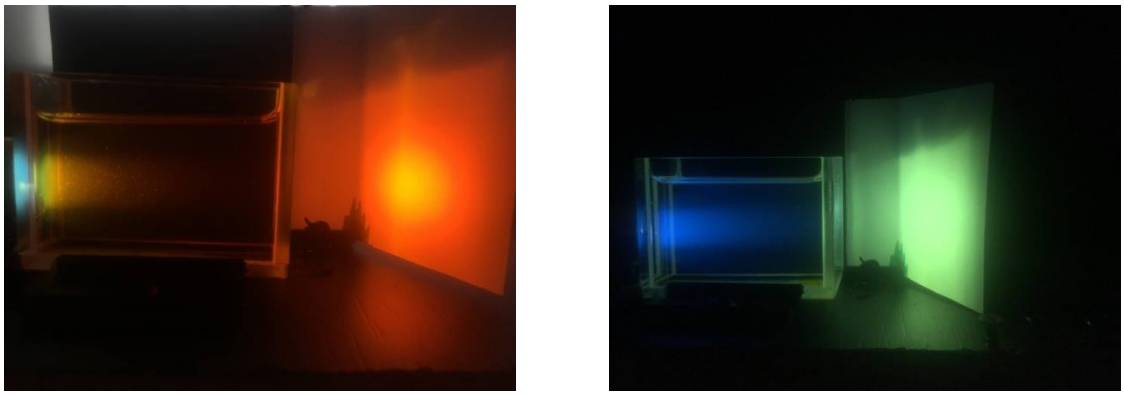
а *б*

Рис. 3. Фотография трансформаторного масла:
а – с кислотным числом 0,02 мг КОН/г (tgδ = 0,018, $U_{пр}$ = 67,1 кВ);
б – с кислотным числом 0,1 мг КОН/г (tgδ = 0,098 и $U_{пр}$ = 90,0 кВ)

Как видно на рис. 3, повышение кислотного числа масла и тангенса угла диэлектрических потерь приводит к изменению концентрации и структуры ароматических молекул. Если в случае масла, представленного на рис. 3, *а*, люминесценция слабая и имеет цвет зеленый, то в случае рис. 3, *б* – люминесценция более яркая и цвет ее меняется на зеленовато-желтый, что свидетельствует о повышении числа бензольных колец в ароматических молекулах в процессе окисления. Появляется слабое светло-желтое рассеяние (рис. 3, *а*), которое усиливается и меняет цвет на желтый (рис. 3, *б*). Цвет рассеянного излучения аналогичен цвету прошедшего излучения (зарегистрирован на экране) цвет прошедшего излучения обусловлен молекулярным поглощением ароматических соединений в области 400–600 нм, а также рассеянием на коллоидных частицах в области 600–800 нм. Появление рассеяния в красной области свидетельствуют о появлении в образце масла (рис. 3, *б*) частиц размеры

которых сравнимы с длиной волны этого диапазона длин волн. Узкий спектральный диапазон (600–800 нм) и слабая зависимость интенсивности рассеяния от длины волны (размеры частиц сравнимы с длиной волны падающего света) приводят к тому, что прошедшее и рассеянное излучение имеет одинаковый цвет.

На рис. 4, *а* приведена фотография трансформаторного масла с кис-лотным числом 0,08 мг КОН, $U_{пр} = 41$ кВ, концентрацией H_2O $C_{H2O} = 46{,}15$ ppm, а на рис. 4, *б* – фотография трансформаторного масла с кислотным числом 0,02 мг КОН, $U_{пр} = 28{,}9$ кВ и влагосодержанием 30,38 ppm.



а *б*

Рис. 4. Фотографии трансформаторного масла:
а – с кислотным числом 0,08 мг КОН, $U_{пр} = 41$ кВ, $CH_2O = 46{,}15$ ppm;
б – с кислотным числом 0,02 мг КОН, $U_{пр} = 28{,}9$ кВ и $CH_2O = 30{,}38$ ppm

Из рис. 4 видно, что в обоих образцах проявляется достаточно сильное рассеянное излучение, обусловленное рассеянием на частицах в масле, но если в первом случае (рис. 4, *а*) в масле имеется большая концентрация ароматических соединений (наличие сильной люминес-ценции цвет рассеяния желто-красный, то во втором (рис. 4, *б*) ароматические соединения отсутствуют (нет люминесценции) цвет рассеянного излучения синий. В случае рис. 4, *а* рассеяние происходит на крупных коллоидных частицах (в том числе и частицах воды), а в случае рис. 4, *б* рассеяние происходит на частицах, размер которых меньше 100 нм и эти частицы при таком кислотном числе могут быть только частицами воды и именно этим обусловлено низкое $U_{пр}$ в случае масла рис. 4, *б*.

Таким образом анализ рассеянного и прошедшего излучения позволяет определять наличие в трансформаторном масле ароматических соединений и коллоидных частиц, а также определять их концентрации и размер.

Источники

1. Основы анализа состава трансформаторного масла спектральным методом / В.К. Козлов [и др.] // Электрические станции. 2020. № 8. С. 38–42.

2. Визуальное определение характеристик трансформаторного масла / Д.М. Валиуллина [и др.] // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. Вып. 10 (66), ч. 1. С. 41–45.

3. Определение марки трансформаторного масла визуальным методом / Д.М. Валиуллина [и др.] // Актуальные научные исследования в современном мире. 2020. Вып. 11 (67), ч. 1. С. 44–47.

УДК 621-313.3

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРИЧИН ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ. ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЕ МЕРЫ ПО СОКРАЩЕНИЮ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

А.Р. Гарифуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань
Albinami@yandex.ru
Науч. рук. А.Х. Сабитов

Современное производство немыслимо без использования электроэнергии. На предприятиях электроэнергетики имеется риск возникновения электрической дуги и получения электротравмы, в большинстве случаев с летальным исходом. Ток опасен тем, что он не видим, не ощущаем, не имеет запаха и человек не может почувствовать приближение опасности, к сожалению ток ощущается человеком только в момент поражения.

По частоте смертельных исходов электротравматизм в 15–16 раз превосходит другие виды травм. Поэтому вопросам правильной, безопасной организации работы в электроустановках уделено огромное внимание в нормативных документах РФ. В них подробно расписаны требования к персоналу, условия производства работ, перечислены организационные и технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ. Однако происходящие несчастные случаи показывают, что теория и практикав действительности не сходятся [2].

Главной причиной несчастных случаев на производстве остается неудовлетворительная организация работ и так называемый «человеческий фактор»

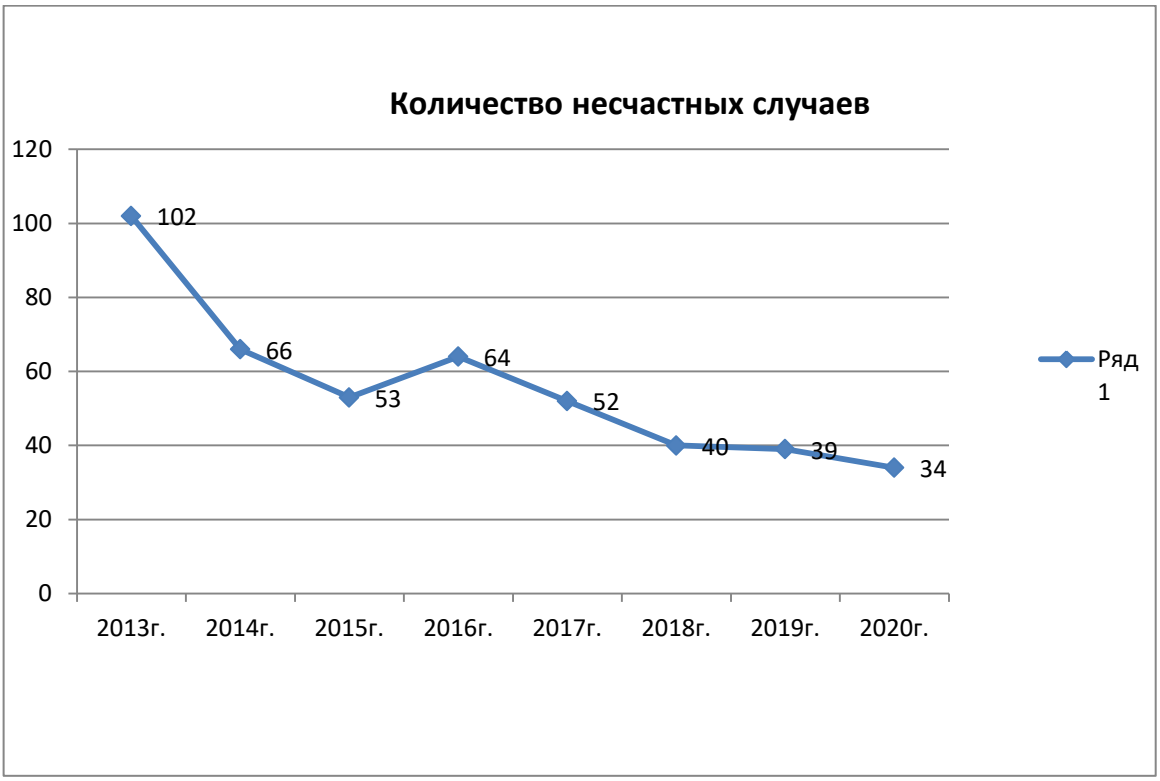
Доминирование организационных причин и «человеческого фактора» на протяжении многих лет говорит о том, что в организациях не проводится достаточной «работы над ошибками». Основное внимание уделяется производственному процессу и достижению плана работ, а вопросы охраны труда являются сопутствующими к выполнению поставленных задач. Это еще раз подчеркивает необходимость перехода в охране труда от принципа «соблюдай» к принципу управления вопросами охраны труда, повышению роли работодателей и работников в системе управления охраной труда.Чтобы работник возвращался в свою семью живым и здоровым, необходимо неукоснительно соблюдать охрану труда на производстве.

Ключевые слова: охрана труда, управление, риск, производство, электротравматизм, несчастные случаи, мероприятия, причина, правила.

Информация о несчастных случаях со смертельным исходом, произошедших в ходе эксплуатации энергоустановок организаций, подконтрольных органам Ростехнадзора за 12 месяцев 2020 г.

За отчетный период 2020 г. произошло 34 несчастных случая со смертельным исходом (38 погибших). За аналогичный период в 2019 г. произошло 39 несчастных случаев (40 погибших).

На рисунке представлена динамика несчастных случаев со смертельным исходом.



Динамика со смертельным исходом за отчетный период [1]

Динамика показывает снижение уровня несчастных случаев, этому способствует повышение контроля надзорных органов в сфере охраны труда, ужесточение наказания за нарушение требований НТД (штрафные санкции). Так же обновление оборудования с использованием дистанционного управления значительно уменьшает риски поражения электрическим током [1].

Тщательно проанализировав причины травматизма, можно прийти к выводу, что на предприятии имеют место:

– ненадлежащий контроль со стороны должностных лиц за безопасным проведением работ в электроустановках;

– ненадлежащее хранение ключей от электроустановок, отсутствие учета выдачи и возврата ключей от электроустановок;

– оформление ненадлежащим образом наряда-допуска;

– расширение рабочего места;

– отсутствие оценки и мероприятий по снижению данных профессиональных рисков;

– приближение к находящемся токоведущим частям на недопустимое расстояние.

Статистика говорит о том, что около трети несчастных случаев на производстве стали следствием неудовлетворительной организации работ [1]. По этой причине нужно соотнести вероятные опасности на рабочих местах с тематикой и объемом проводимого инструктирования, что позволит увеличить эффективность обучения работников по охране труда. Оценка рисков должна занимать ключевое место в системе управления ОТ, при этом мероприятия по сокращению уровня рисков формируются в отношении каждого фактора опасности отдельно.

Предотвращение электротравматизма на производстве включает в себя обширный комплекс мероприятий. Устранение технических причин, связано с заменой оборудования, которое имеет недостатки в конструкции и большую изношенность. Кроме того, чтобы повысить уровень безопасности на производстве, есть необходимость в постоянном отслеживании современных разработок и продукции в области охраны труда, средств малой механизации, средств оказания первой медицинской помощи и т.п. Организационное направление сводится к созданию на рабочем месте определенной атмосферы, которая будет способствовать повышению эффективности труда. Должны быть организованы комнаты психологической разгрузки, где работники могли бы полноценно отдохнуть. Тем не менее, важным остается постоянное обращение внимания работников на соблюдение правил и норм трудовой дисциплины

и охраны труда на производстве. Огромное место здесь занимают различные плакаты, стенды, посвященные охране труда, технике безопасности, произошедшим несчастным случаям и т. п. [3]. Руководителям подразделений и специалистам по охране труда следует систематически (планово и внепланово) осуществлять контроль и проводить проверки, касающиеся выполнения работниками должностных инструкций, правил, инструкций по охране труда, условий проведения работ.

Личностное направление предотвращения травматизма:

1) обучение молодых работников пришедших на работу в энергетическую отрасль;

2) изучение нормативных документов, необходимых для выполнения трудовых функций работника;

3) проведение стажировок на рабочем месте;

4) отработка в течение года под контролем опытного работника, без предоставления каких-либо прав;

5) финансовое стимулирование работников;

6) создание условий труда для безопасного выполнения работ (обеспечение средствами индивидуальной защиты);

7) осознание каждым работником опасности поражения электрическим током и его последствий.

Важную роль играет проведение качественных инструктажей на предприятии. Обучения по охране труда необходимо проводить не только теоретическое, но и с применением практических навыков. Для этого обучения должны проводиться в специализированных кабинетах, оборудованных плакатами, манекенами, а так же на рабочих местах для наибольшего усвоения материала [3].

Подводя итоги, мы можем говорить об актуальности вопросов электробезопасности на сегодняшний день. Число несчастных случаев, возникших в результате несоблюдения правил и норм электробезопасности, остается достаточно большим. Поэтому при решении вопросов обеспечения электробезопасности на производстве, необходимо наиболее полно учитывать все факторы: это и условия труда, и обучение, опыт работника, инструктажи, осознанность и ответственность со стороны непосредственного руководителя. Деятельность, направленная на профилактику и предупреждение электротравматизма приведет к значительному снижению случаев электротравмированности работников.

Источники

1. Ростехнадзор [Электронный ресурс]. URL: http://www.sural. gosnadzor.ru/ info/analiz-energo-2020 (дата обращения: 06.03.2021).

2. Инфопедия для углубления знаний [Электронный ресурс]. URL: https://infopedia.su/23xbb5.html (дата обращения: 06.03.2021).

3. Правила работы с персоналом в организациях электроэнергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. приказом Минэнерго России от 22сентября 2020 г. № 796. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 12.03.2021).

УДК 621.31

ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Лыу Куок Кыонг[1], Тамсир Анн[2], А.М. Маклецов[3]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]lqcuong.nute@gmail.com, [2]tamsirhanne8@gmail, [3]mac.am@mail.ru

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

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

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

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

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

2) необходимость обеспечения качества электроэнергии за счет снижения потерь напряжения от перетоков реактивной мощности;

3) необходимость снижения потерь электроэнергии;

4) увеличение отпуска электроэнергии потребителям.

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

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

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

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

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

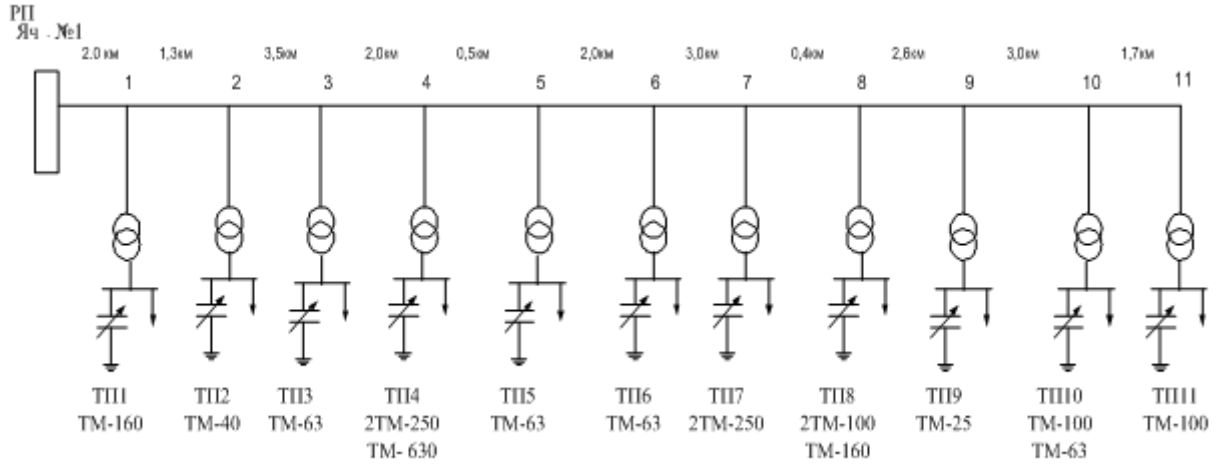


Рис. 1. Схема фидера №1 РП «Сакуры» с компенсирующими устройствами.

Данные по нагрузкам фидера №1 РП «Сакуры»

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

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

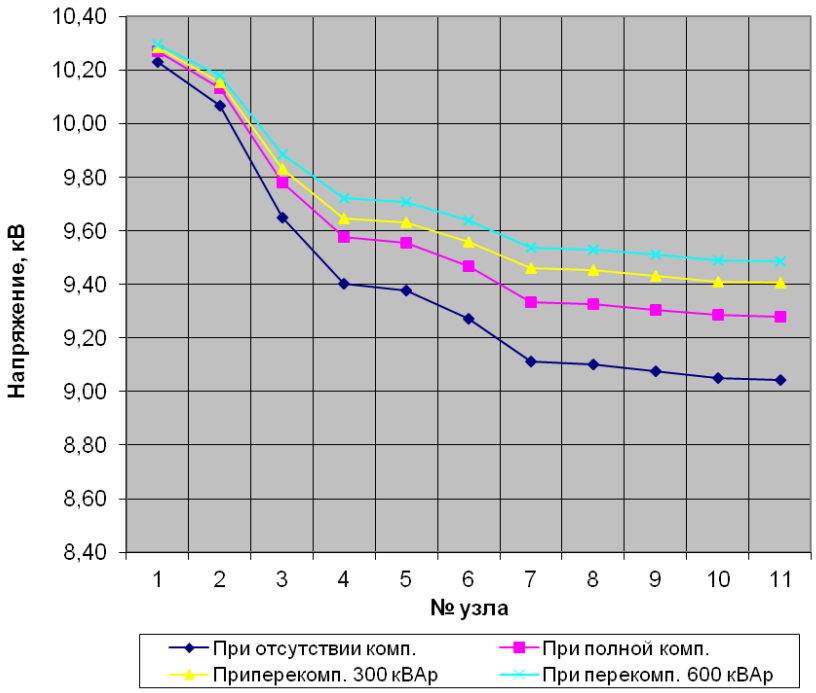


Рис. 2. Напряжения в узлах фидера № 1 РП «Сакуры» в режиме максимальной нагрузки при разной степени компенсации реактивной мощности

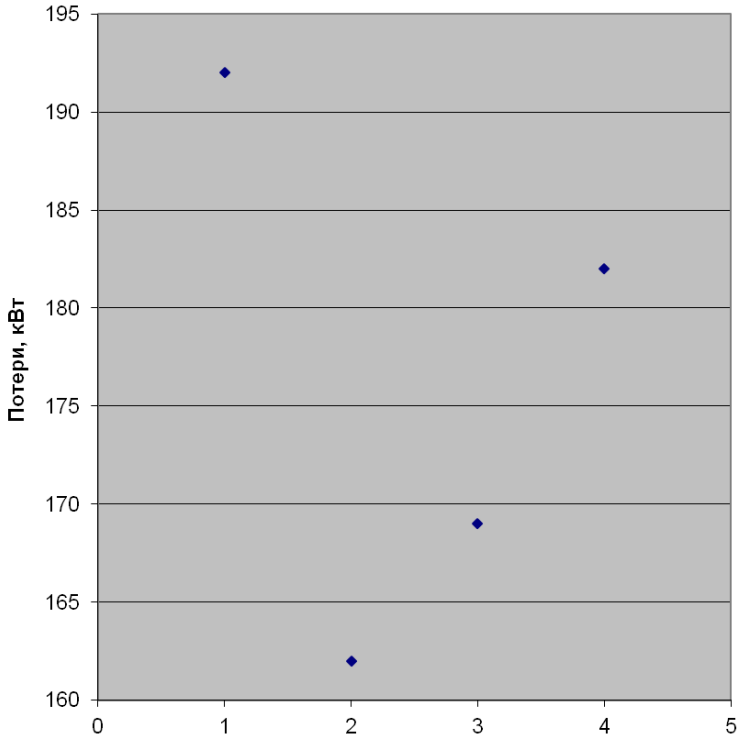


Рис. 3. Потери мощности в ЛЭП и трансформаторах ТП при разной степени компенсации в режиме максимальных нагрузок: *1* – отсутствие компенсации; *2* – полная компенсация (712 кВАр); *3* – перекомпенсация 300 кВАр; *4* – перекомпенсация 600 кВАр

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы:

1) задача выбора мест расположения и мощности УКРМ является оптимизационной и многокритериальной, где в качестве критериев выступают: потери электроэнергии; повышение качества электроэнергии; величина отпущенной потребителям электроэнергии.

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

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

Источники

1. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств [Электронный ресурс]: приказ Минэнерго РФ от 23 июня 2015 г. № 380. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 11.01.2021).

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

УДК 621.3.06

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В *RC*-ЦЕПЯХ В ПРОГРАММЕ PSCAD

И.А. Минаев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
enhtane@gmail.com
Науч. рук. Р.Г. Хузяшев

К исследованию процессов зарядки и разрядки конденсатора через резистор сводятся многие важные практические задачи, возникающие при расчете переходных процессов в цепях автоматики, телемеханики, электроники и связи. В данной работе будет описан и изучен переходной процесс в *RC*-контуре, смоделированный в программе PSCAD.

Ключевые слова: переходные процессы, постоянная времени, *RC*-контур, PSCAD.

Целью исследования является описание зависимости временных параметров сигналов напряжения переходного процесса с помощью программной модели *RC*-контура (рис. 1), созданной в среде PSCAD [1].

Модель представляла источник постоянного напряжения 10 кВ с внутренним сопротивлением 1 Ом, 10 Ом и 100 Ом. Замыкание на землю создавалось с помощью конденсатора емкостью 1 мкФ, один конец, которого крепился к началу линии, другой – к земле. Его включение провоцировало кратковременное уменьшение тока и напряжения, что и создавало сигнал ПП. Первый выключатель включается в момент времени 0,05 с, а второй в 0,145 с (рис. 2).

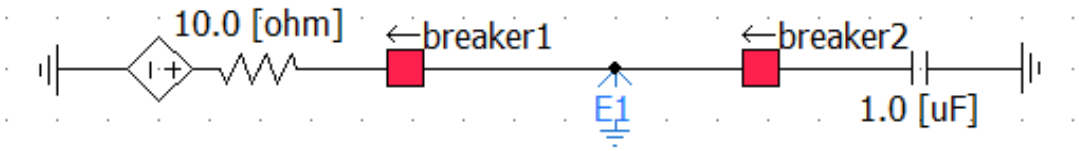


Рис. 1. Модель в PSCAD



Рис. 2. Полученная осциллограмма

В данном случае у нас образуется один *RC*-контур. Скорость заряда конденсатора будет зависеть от сопротивлений в цепи и емкости конденсатора, а сам заряд будет идти по экспоненциальному закону.

Был проведен анализ показаний осциллограммы в момент включения второго выключателя.

Так как процесс заряда конденсатора происходит по экспоненте, то у него есть такой параметр, как постоянная времени *RC*-цепи. Понятие постоянной времени *RC*-цепи помогает оценить скорость заряда конденсатора или скорость затухания ПП и обозначается буквой *T*.

Постоянная времени *RC*-цепи равна произведению номиналов сопротивления и емкости и выражается в секундах, или формулой:

$$T = R \cdot C, \tag{1}$$

где T – постоянная времени, с; R – сопротивление, Ом; C – емкость, Ф.

Для получения постоянного времени из осциллограмм существует графический способ. Графическим способом она высчитывается как время, за которое напряжение достигнет 63 % от амплитуды сигнала. Этот процент появился из формулы:

$$A = \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \tag{2}$$

При t равном T мы получим 0,63 (рис. 3).

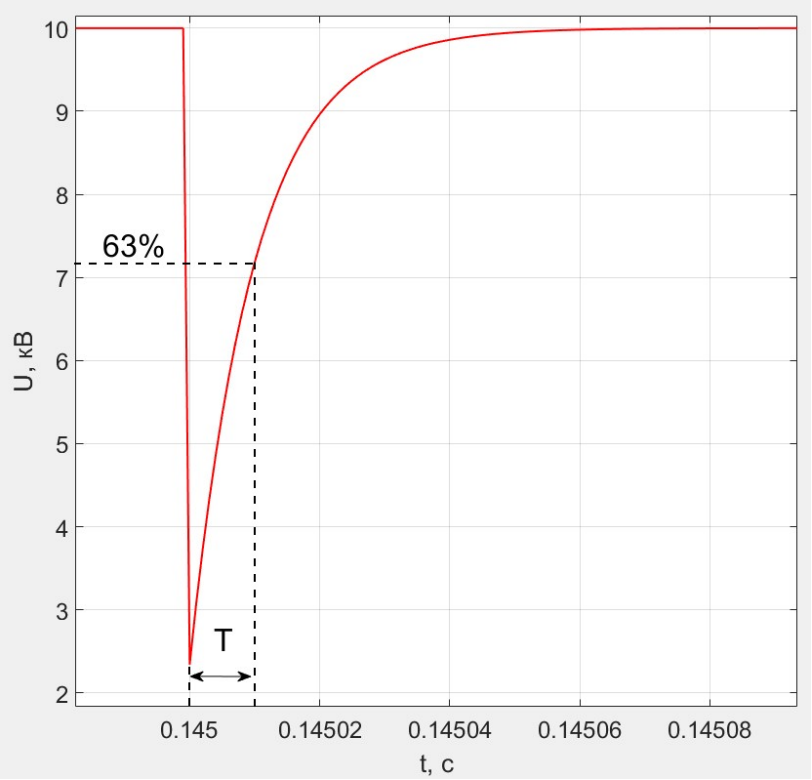


Рис. 3. Графическое решение из полученных осциллограмм

Постоянные времени

	R = 1 Ом	R = 10 Ом	R = 100 Ом
$T = R \cdot C$	1 мкс	10 мкс	100 мкс
PSCAD	1 мкс	10 мкс	101 мкс

Таким образом, осциллограммы, полученные в среде PSCAD, указывают на то, что переходной процесс в *RC*-контуре происходит по экспоненциальному закону и может быть охарактеризован постоянной времени *T*. В дальнейшем модель *RC*-цепи будет использована для исследования распространения переходных процессов в длинной линии.

Источники

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 621.315.615.23

КОНТРОЛЬ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ

И.М. Минегалиев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
minegaliev.1998@mail.ru
Науч. рук. О.Е. Куракина

Рассмотрено влияние влагосодержания на качество и эксплуатационные свойства трансформаторных масел. Систематизированы теоретические основы процессов появления воды, а также последствия повышенного содержания воды в масле.

Ключевые слова: трансформаторное масло, влагосодержание, контроль качества.

Трансформаторным маслом заполняются баки силовых трансформаторов и реакторов, масляных выключателей, измерительные трансформаторы и вводы. Масло используется в качестве изолирующей и охлаждающей среды.

В процессе эксплуатации увеличивается влагосодержание, что резко снижает качество масла. Содержание влаги в масле нормируется действующим отраслевым стандартом РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [1]. Согласно стандарту содержание воды в масле, заливаемом в трансформаторы с пленочной или азотной защитой, герметичные вводы и измерительные трансформаторы, массовая доля не должна превышать 0,001% или 10 г/т. В трансформаторы без пленочной защиты и негерметичные вводы- содержание воды в масле может составлять 0,002–0,0025 % или 20–25 г/т. Источником воды в трансформаторе является атмосферная влага, которая проникает вместе с воздухом через несовершенные системы защиты от увлажнения. Другой путь – проникновение воздуха через уплотнения под воздействием градиента давления. Отрицательными последствиями повышенного влагосодержания в масле являются: ускорение окисления масла и старения бумажно-масляной изоляции; снижение электрической прочности масла и стойкости к частичным разрядам; ухудшение механических характеристик масла с ростом температуры; усиление коррозии стальных частей трансформатора.

Применение акустического метода контроля показателей качества трансформаторного масла.

На сегодняшний день актуальными вопросами являются изучение акустических свойств жидкостей [2]. Результаты исследований важны как для развития теории жидкого состояния, так и для решения прикладных задач. Сравнение акустического метода с другими существующими методами приведено в таблице.

Сравнительная характеристика методов оценки влияния увлажненности целлюлозы на качество трансформаторного масла

Влага	Целлюлоза	Высокая трудозатратность	Необходимость в сложном специальном оборудовании, реагентах, помещениях	Высокая квалификация персонала
1	2	3	4	5
Титрирование Фишера				
+	–	+	+	+
Хроматографический анализ				
+	–	+	+	+
Поляризационные и деполяризационные токи (PDC)				
+	–	+	+	+

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR) и спектроскопия в ближней инфракрасной области				
–	+	+	+	+
Акустический метод				
+	+	–	–	–

Из таблицы видно, что в отличие от существующих распространенных методов на сегодняшний день акустический метод имеет целый ряд преимуществ. Во-первых, данный метод является менее трудозатратным. Во-вторых, появляется возможность провести анализ по двум характеристикам (влага и целлюлоза). И, наконец, не требуется наличие сложного оборудования, реагентов, помещения и высококвалифицированных кадров.

На сегодняшний день, большинство силовых трансформаторов в России физически и морально устарело. Существующие методы контроля и диагностики недостаточно совершенны и не могут в полной степени обеспечить безопасность эксплуатации и надежность работы трансформаторов. Сравнивая существующие методы контроля и диагностики трансформаторного масла, установлено, что перспективным методом является акустический метод контроля показателей качества трансформаторного масла.

Источники

1. Объем и нормы испытаний электрооборудования / Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца. - 6-е изд., с изм. и доп. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. [Электронный ресурс] http://www.infosait.ru/norma_doc/11/11967/index.htm (дата обращения: 07.03.2021).

2. А.В. Крехова. Метод акустического контроля эксплуатационных показателей качества трансформаторных масел [Электронный ресурс]: диссертация кандидата технических наук/ А.В. Крехова. – Красноярск: СФУ, 2019. http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/111804 (дата обращения: 07.03.2021).

УДК 621.3.051.2

ДИАГНОСТИКА УСТАЛОСТНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРОВОДА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Д.Ш. Норов[1], В.Г. Кульков[2]
[1]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва
[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
[1]norov.jonibeck@mail.ru, [2]vikulkov@yandex.ru

Провода воздушных линий электропередачи подвержены различным неблагоприятным атмосферным воздействиям. Наиболее существенными из них являются ветер и отложение льда. Такие воздействия приводят к возникновению нерегулярных колебаний и вибраций проводов. Надежность линий определяется усталостной прочностью материала провода. Целью настоящей работы является описание возможного метода диагностики готовящегося повреждения провода воздушной линии на основе контроля изменения микроструктуры поверхностных его слоев. Предлагаются основные идеи метода оценки структурного состояния металла провода путем измерения высокочастотного электрического сопротивления с учетом эффектов накопления дефектов кристаллического строения и трещинообразования в поверхностных слоях металла провода. Своевременная диагностика увеличивает степень надежности воздушной линии электропередачи.

Ключевые слова: усталостная прочность, электрическое сопротивление, поверхностный эффект, надежность.

Проводниковые материалы, используемые в конструкции воздушных линий электропередачи, находятся под воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды. К ним относятся изменяющиеся в течение различных по продолжительности временных периодов температуры, нерегулярные во времени колебательные процессы вследствие воздействия ветровых нагрузок на провода, химическое влияние осадков с возможным наличием примесей атмосферного происхождения. Под воздействием воздушных потоков провода воздушной линии испытывают вибрационные и колебательные движения [1]. Первые из них характеризуются большой амплитудой, достигающей величины порядка метров, и низкой частотой 0,5–3 Гц. Вторые имеют малую амплитуду, сравнимую по величине с диаметром провода, и повышенную частоту в пределах 15–100 Гц [2]. Такие колебания не обязательно имеют периодический характер и часто называется «пляской» проводов. Причина появления обоих видов движений заключается в образовании завихрений воздушных потоков с тыловой стороны провода и их срыв [3]. Направления завихрений

и моменты времени их появления не коррелированны между собой. Такое явление подобно действию на провод непериодической внешней силы. Обрыв проводов является причиной примерно третей части от общего количества всех аварийных отключений [4,5].

Величина электрического сопротивления очень чувствительна к концентрации точечных дефектов, в частности, вакансий, а также микронесплошностей, микропор и микротрещин. Это дает возможность контроля состояния степени повреждения металла путем измерения электрического сопротивления поврежденных слоев.

Поскольку зарождение трещин происходит на поверхности провода или вблизи нее в тонком слое, то необходимо измерять электрическое сопротивление именно этого слоя. Это можно сделать, если проводить такие измерения путем пропускания по проводу тока высокой частоты. Известно, что токи высокой частоты текут в приповерхностном слое проводника благодаря поверхностному эффекту. Толщину слоя можно варьировать, изменяя частоту тока. Электрическое сопротивление слоя чувствительно к наличию и концентрации дефектов кристаллического строения в нем. Такой способ контроля за состоянием провода может быть еще более эффективным в том случае, когда в процессе эксплуатации происходит разрыв отдельных проводников в скрутке. Разрыв проводников происходит в зоне наибольших изгибных деформаций, т. е. на поверхности. В этом случае уменьшается площадь сечения проводящей трубки для высокочастотного тока.

Эффективная толщина проводящего поверхностного слоя определяется выражением

$$c = \sqrt{\frac{\rho}{\omega\mu}}, \qquad (1)$$

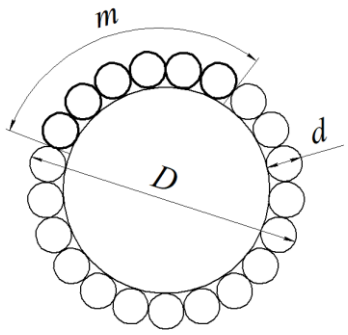
где ω – циклическая частота; μ – абсолютная магнитная проницаемость материала провода; ρ – его удельное сопротивление. Приняв удельное сопротивление алюминиевого провода, равным ρ = 0,028 μΩ·м, а приведенную выше толщину поверхностного слоя c = 30 мкм, из (1) можно получить оценку частоты тока для измерения сопротивления $\omega \approx 2{,}5 \cdot 10^7$ Гц. Величина электрического сопротивления поверхностного слоя $R = \frac{\rho l}{\pi D c}$ с учетом (1) определяется выражением:

$$R = \frac{l}{\pi D}\sqrt{\omega\rho\mu}, \qquad (2)$$

где D – диаметр провода воздушной линии; l – длина участка, на котором измеряется сопротивление.

В случае обрыва m проводников толщины d в скрутке, расположенных на поверхности, проводимость всего провода уменьшается. Для оценки эффекта примем, что в результате этого изменяется периметр сечения P. Если принять за n общее количество проводников в поверхностном слое исходного провода, то полная длина дуг большой и малой окружностей согласно рисунку равна:

$$P = \pi D\left(1 - \frac{m}{n}\right) + \pi\left(D - 2d\right)\frac{m}{n} = \pi\left(D - \frac{dm}{n}\right). \qquad (3)$$



Сечение провода с m удаленными с поверхности проводниками

С учетом (3) выражение (2) принимает вид:

$$R = \frac{\beta l}{\pi\left(D - dm/n\right)}\sqrt{\omega\rho\mu}\,. \qquad (4)$$

Геометрический коэффициент $0 < \beta < 1$ учитывает неплотное прилегание оборванных жил к оставшейся части, их отгибание. Точный расчет этого коэффициента провести нельзя. В (4) не учтены две боковые перемычки между дугами большой и малой окружностей высоты d ввиду того, что при наличии поверхностного эффекта электрический ток проходит по максимально удаленным от центра слоям.

Теоретический расчет удельного электрического сопротивления в зависимости от концентрации дефектов в настоящее время не может обеспечить достаточную точность. Положенные в основу работы устройств контроля эффекты можно учитывать при создании автономных систем, позволяющих наблюдать за степенью усталостного повреждения провода. Каждое устройство может подавать своевременный сигнал

диспетчеру о возможном предстоящем обрыве отдельных жил или всего провода. Такие системы позволят существенно повысить надежность воздушной линии.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания РФ № FSWF-2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий».

Источники

1. Experimental Study of the Fatigue Performance of Overhead Pure Aluminium Cables / R.B. Kalombo [et al.] // Proc. Structural Integrity. 2019. Vol. 19. Pp. 688–697.

2. Михеев В.П. Контактные сети и линии электропередачи. М.: Маршрут, 2003. 416 с.

3. Combined effects of wind and atmospheric icing on overhead transmission lines / A. Rossi [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2020. Vol. 204.

4. Куценко Г.Ф., Пухальская О.Ю., Полозова О.А. К вопросу надежности электроснабжения потребителей АПК в условиях развития рыночных отношений в электроэнергетике // Энергетика. Известия вузов и энергетических объединений СНГ. 2006. № 2. С. 28–32.

5. Терентьев В.Ф. Усталость металлических материалов. М., 2003. 254 с.

УДК 621-313.3

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МИНИ-ТЭЦ

М.Г. Огурцов, И.Ф. Галиев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ogurchik394@gmail.com

Проведен анализ эффективности мини-ТЭЦ на основе примера нескольких мини-ТЭЦ в России. Также представлено теоретическое описание условий при которых использование газотурбинных установок мини-ТЭЦ наиболее эффективно на территории Российской федерации, а именно в республике Татарстан.

Ключевые слова: газотурбинная установка, тепловая экономичность, мини-ТЭЦ.

Мини-ТЭЦ – это электростанции с комбинированным производством электричества и тепловой энергии. Использование в практических целях отработавшего тепла силовых агрегатов электростанций, является отличительной особенностью мини–ТЭЦ и носит название когенерация (теплофикация) [1].

Главная особенность и преимущество мини-ТЭЦ в том, что они размещаются в непосредственной близости от потребителей энергии. При таком расположении экономятся значительные средства из-за отсутствия передачи — транспортировки энергии. Близость мини-ТЭЦ к тепловым сетям также является немаловажным финансовым фактором. Диапазон электрической мощности мини–ТЭЦ достаточно широк и не имеет определенных значений: от 100 кВт до 50 МВт [1].

Главными преимуществами мини-ТЭЦ является низкая стоимость вырабатываемой электрической и тепловой энергии, а также быстрая окупаемость. Потребляя примерно 0,3 куб. м газа, потребитель может получать 1 кВт электроэнергии и примерно 2 кВт тепла в час.

В настоящее время в России возрос спрос на использование мини-ТЭЦ. Все больше средних и мелких предприятий, а также частные лица интересуются установкой мини-ТЭЦ. В работу исследовано, какой вид мини-ТЭЦ экономически выгоднее использовать (Газопоршневые установки ГПУ или газотурбинные установки ГТУ). А так же указаны пути увеличения их эффективности.В государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» определены задачи по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в электроэнергетике и теплоснабжении для всех отраслей народного хозяйства. В настоящее время становится все очевиднее, что преимущества комбинированного производства тепла и электричества на базе ТЭЦ с централизованным теплоснабжением обесценивается огромными потерями тепла в протяженных теплосетях [1]. Одним из возможных путей решения задач энергосбережения и повышения энергетической эффективности является развитие автономных систем тепло и электроснабжения, позволяющих свести к минимуму потери транспортировки и обеспечить высокий КПД использования топлива (для газа более 90 %).

Современные мини-ТЭЦ, вырабатывающие как тепловую, так и электрическую энергию чаще всего выполняются с использованием газотурбинных установок (ГТУ) или газопоршневых установок (ГПУ).

На данный момент в мире тысячи мини-ТЭЦ [2].С 2004 по 2006 гг. на базе ГПУ построено 47 мини-ТЭЦ суммарной мощностью 385 МВт.

Использование ГТУ обосновано на достаточно больших ТЭЦ в этом секторе (40–50 МВт), так как для обслуживания ГТУ необходим квалифицированный персонал.

Применение ГПУ наоборот эффективно только на мини-ТЭЦ с мощностью до 40 МВт, так как несмотря на меньший по сравнению с ГТУ КПД, газопоршневая установка не требует большое количество квалифицированного обслуживающего персонала.

Компромиссом между газотурбинной и газопоршневой установкой является микротурбинная установка, совмещающая в себе как достаточно высокое КПД 35 % выработки электрической энергии и 50 % выработки тепловой энергии. Но на данный момент микротурбинные установки распространены слабо из-за относительной новизны идеи.

В работе рассматривается пример построения мини-ТЭЦ на основе микротурбинной установки. Анализируется экономическое обоснование её использования. А именно рассчитаны расходы на ввод в эксплуатацию, расход топлива, получаемая прибыли и время окупаемости.

Все расходы (цена установки, тарифы на газ) а также прибыль рассчитаны с учетом расположения мини-ТЭЦ на территории республики Татарстан.

При разработке проекта мини-ТЭЦ учитывалось:

1) минимальная тепловая нагрузка, которая необходима потребителям в летний период;

2) минимальная тепловая нагрузка, которую должна обеспечивать одна генераторная установка, работающая на 50–100 % от номинальной мощности, позволяет выбрать конкретную модель;

3) нижней оценкой необходимого количества ГТУ является режим работы, обеспечивающий полное покрытие установленной мощности основного и вспомогательного электрооборудования мини-ТЭЦ;

4) пиковое потребление электроэнергии является верхней оценкой суммарной мощности мини-ТЭЦ, которое определяет необходимое количество ГТУ (оно может доходить до 10 и более установок);

5) обеспечение наиболее экономичного режима работы в течение всего года на уровне (80–90) % от номинальной электрической мощности, за счет работы на электрическую сеть (продажа всех избытков, вырабатываемой электрической энергии, потребителям, подключенным к данной электросети);

6) возможность полной утилизации тепла, вырабатываемого ГТУ в течение всего года.

Источники

1. URL: https://manbw.ru/analitycs/minitec.html (дата обращения: 22.02.2021).
2. Сравнение ГТУ И ГПУ [Электронный ресурс] (дата обращения: 22.02.2021).

УДК 621.313.3

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК МИНИ-ТЭЦ

М.Г. Огурцов, И.Ф. Галиев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ogurchik394@gmail.com

Исследуется актуальность и эффективность работы газотурбинных установок мини-ТЭЦ. Изложены основные факторы влияющие на эффективность работы газотурбинных установок мини-ТЭЦ.

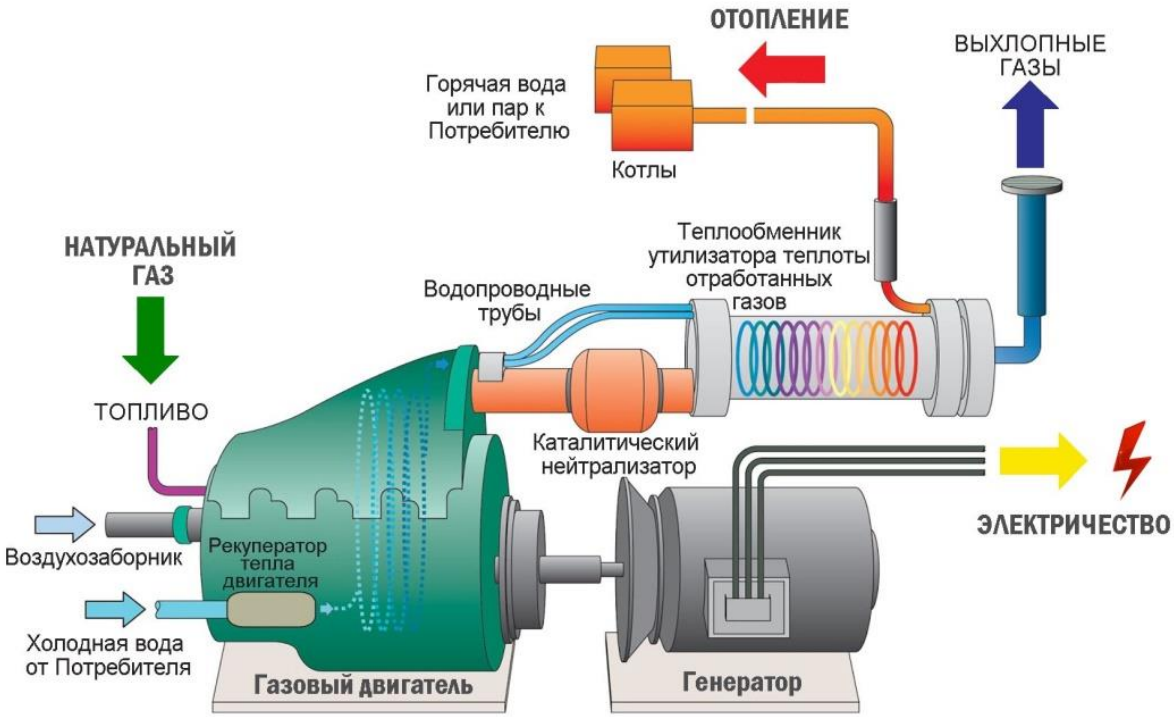
Ключевые слова: Мини-ТЭЦ, газотурбинные установки, эффективность

Мини-ТЭЦ это компактная электроэнергетическая установка на базе двигателя внутреннего сгорания, работающая на природном газе и вырабатывающая как электрическую, так и тепловую энергию. Принцип выработки электрической к тепловой энергии с использованием ДВС известен уже несколько десятилетий. Первые установки этого типа использовались на кораблях, в тепловозах, для аварийного электроснабжения [1].

Одними из самых широко используемых мини-ТЭЦ являются мини-ТЭЦ на газотурбинных установках. Газовые турбины широко применяются в производстве электрической и тепловой энергии. КПД таких установок составляет 35–38%. Большой срок службы, небольшие инвестиционные затраты, большая доля пригодной для использования энергии уходящих газов и очень небольшая эмиссия вследствие непрерывного горения являются плюсами этой технологии. До настоящего времени было нецелесообразно применять турбины в диапазоне мощностей менее 500 кВт. Это стало возможным только в результате комбинации двух мероприятий: рекуперации и обратной подачи части

объемного потока уходящего газа в компрессор с одной стороны и прямого присоединения генератора. В сочетании с не зависящим от скорости вращения инвертированием тока посредством силовой электроники достигаются наряду с приемлемыми показателями электрического КПД более 25 % и общего КПД более 70 % также хорошие показатели КПД при неполной нагрузке. Эти параметры имеют решающее значение для использования на не больших объектах [1].

Мини-ТЭЦ на базе двигателей внутреннего сгорания являются перспективными и актуальными направлениями в производстве электрической и тепловой энергии, как в глобальных масштабах, ак и гражданских целях. Общее устройство мини-ТЭЦ представлено на рисунке.



Общее устройство газомоторных мини-ТЭЦ [2]

Эффективность работы мини-ТЭЦ зависит от многих факторов и параметров. Одним из главных факторов является правильный выбор мини-ТЭЦ под определенные задачи и цели потребителя. Для эффективной работы важно провести анализ нагрузок на тепло и электричество объекта, обеспечить должный режим потребления тепла и электричества, обеспечить надлежащее техническое обслуживание, компетентный обслуживающий персонал, качественные расходные материалы и запасные части для быстрого

устранения аварийных ситуаций. Так же важно учитывать основные технические показатели мини-ТЭЦ. Основные технические показатели современного агрегата приведены в таблице [3].

Основные технические показатели мини-ТЭЦ

Основные технические показатели мини-ТЭЦ

Характеристики	Ед. измерения	Величина
Номинальная электрическая мощность	кВт	1 000
Напряжение	В	400
КПД общий/электрический	%	85/42
Расход природного газа при 100 % нагрузке	н. м куб./ч	275
Давление газа	кПа	25
Полный ресурс	ч	200 000
Ресурс до малого ремонта	ч	13 000
Ресурс до капитального ремонта	ч	60 000
CO, приведенное к 5 % O_2	мг/н. м куб.	1 100
NO_x, приведенное к 5 % CO_2	мг/н. м куб.	250
Вес агрегата (двигатель и генератор на раме)	т	10

Максимальная эффективность работы мини-ТЭЦ возможна только при условии соблюдения всех выше перечисленных критериев, а не отдельно взятых. Если не будет соблюдаться хотя бы один из критериев, эффективность работы будет значительно ниже максимально возможного значения.

Источники

1. Общие сведения о мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]. URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=769 (дата обращения: 04.03.2021).

2. Откуда в уральской глубинке 30 Bugatti Veyron или как работает мини-ТЭЦ [Электронный ресурс]. URL: http://alexeyzaytsev.ru/2017/12/25/otkuda-v-uralskoj-glubinke-30-bugatti-veyron-ili-kak-rabotaet-mini-tets/ (дата обращения: 04.03.2021).

3. МИНИ-ТЭЦ – очередной бум или объективная потребность отечественной энергетики АВОК [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3015 (дата обращения: 05.03.2021).

УДК 621.316.722.076.12

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Н.Т. Павлов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
pavlovnikita4@mail.ru
Науч. рук. О.В. Наумов

Рассмотрен фактор компенсации реактивной мощности, который позволяет предопределить проблему энергосбережения и уменьшения нагрузок на электрическую сеть. Выявлены возможности использования конденсаторных установок, как способ для компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: энергосбережение, компенсация, реактивная мощность, конденсаторные установки.

Энергоэффективность и энергоресурсосбережение являются приоритетными задачами инновационного развития экономики Российской Федерации. Для повышения эффективности использования электроэнергии необходимо применять более экономичные способы ее генерации, передачи и потребления. Одним из решений данного вопроса является повышение показателя мощности.

Задачей регуляции реактивной мощности в энергетической системе и на промышленных предприятиях является снабжение качества электроэнергии, которое удовлетворяет установленным нормам, экономичной совместной работы электрических сетей и электроприемников, связанных с ними механизмов, обеспечение необходимого запаса устойчивости энергосистемы, а так же поддержания согласованных перетоков по реактивной мощности по межгосударственным линиям [1].

Передача реактивной мощности отрицательно сказывается на работе энергетической системы. В особенности, это влияет на способность попускать электрический ток в линиях электропередач, трансформаторах и т.п. Следовательно, реактивная мощность – это составляющая полной мощности, которая расходуется на электромагнитные процессы в нагрузке. Также она имеет емкостную и индуктивную составляющие. Сложность заключается в том, что для различного вида электрооборудования и оснащения необходима другое количество реактивной мощности.

Реактивная мощность не производит никакой полезной работы, она наоборот, вызывает дополнительный нагрев проводников и требует применения источника энергии повышенной мощности [2].

Уменьшение потребления реактивной мощности на предприятии достигается путем компенсации реактивной мощности как естественными мерами (сущность которых состоит в ограничении влияния приемника на питающую сеть путем воздействия на сам приемник), так и за счет специальных компенсирующих устройств (реактивной мощности) в соответствующих точках системы электроснабжения. Кроме того, грамотная установка компенсации реактивной мощности приведет к урегулированию напряжения системы.

Но если реактивная мощность – это часть полной мощности, которая неизбежно затрачивается на электромагнитные процессы в нагрузке, обладающей емкостную и индуктивную составляющую, то почему бы не сделать так, чтобы она циркулировала не по всей системе электропередач, а только между потребителем и местным конденсатором? Именно для этого и служат установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) [3].

Стоит учесть, что все виды и эксплуатационные характеристики конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности, необходимы для стабилизации работы электрических сетей и уменьшения возможных энергетических потерь.

Все эти факторы определяют потребность в выборе компенсирующего устройства, в том числе его места подключения и способа компенсации реактивной мощности только на основании анализа полноценного энергоаудита силовой сети, что позволит определить:

– потребность компенсации реактивной мощности на фундаментальной частоте и приемлемое по эффективности и стоимости оборудование для решения этой задачи;

– наличие гармоник большой интенсивности и необходимость компенсации активной мощности гармоник на нефундаментальных частотах [1].

Основным предназначением УКРМ является снижение действия реактивной мощности, служит для увеличения и поддержания на определенном нормативном уровне величины коэффициента мощности в трехфазных распределительных сетях. Главное предназначение УКРМ – это аккумуляция в конденсаторах реактивной мощности. Это действие помогает разгрузить электрическую сеть от перетоков реактивной мощности [4].

Для одновременной работы тока и напряжения, рекомендуется устройства компенсации устанавливать недалеко от потребителей тока. Именно благодаря этому эффективность индуктивных электроприёмников достигнет высшего значения.

Но для текущего состояния подавляющего большинства потребительских силовых сетей с множеством нелинейных нагрузок сложного характера перетоки реактивной мощности на фундаментальной частоте 50 Гц являются возможно главной, но безусловно не единственной проблемой, которая проявляется снижением качества электрической энергии и соответствующими производственными, технологическими и экономическими негативами.

Источники

1. Основы современной энергетики: учеб. для вузов / редкол.: Р. В. Аметистова (гл. ред.) [и др.]. М.: ИД МЭИ, 2008. 2 т.
2. Ещин Е.К. Моделирование процессов компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения с электродвигательной нагрузкой // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2012. № 2 (90). С. 48–52.
3. Борисовский А.П., Литвинов В.В. Современные средства компенсации реактивной мощности // Молодой ученый. 2019. № 26 (264). С. 61–63.
4. Компенсация реактивной мощности. К вопросу о технико-экономической целесообразности / В. Овсейчук [и др.] // Новости электротехники. 2008. № 4 (52).

УДК 621.311.1

ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ

В.Е. Петропавловский
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
letterz2me@mail.ru
Науч. рук. М.Ш. Гарифуллин

Рассмотрены цифровые подстанции, актуальность их применения в современных условиях развития техники и технологий. Выделены особенности их структуры и работы, представлены преимущества цифровых подстанций по сравнению с традиционными. Отдельное внимание уделено вопросу надежности и диагностики состояния оборудования подстанции и энергосистемы в целом.

Ключевые слова: цифровая подстанция, МЭК 61850, цифровизация, надежность, энергоэффективность, мониторинг.

В нынешнюю эпоху цифровых технологий тенденция перехода на микропроцессорное оборудование является наиболее актуальной, особенно в энергетике. Данные технологии используют элементы высокой точности небольших размеров и с небольшим энергопотреблением. Расцвет цифровых технологий пришелся на период замены старого энергетического оборудования, данный факт привлек особое внимание к вопросу автоматизации и цифровизации подстанций [1].

Цифровая подстанция является результатом выверенных конструктивных решений направленных на оптимизацию работы ее ключевых элементов автоматизации, управления, мониторинга, обеспечивающих энергосберегающую работу и надежность в сочетании с небольшими габаритами. Важно понимать, что понятие цифровой подстанции включает в себя не только систему автоматизации, но и основное энергетическое оборудование, которое должно соответствовать определенным критериям, которые отражены в специальном стандарте МЭК 61850. Данный нормативный документ регламентирует условия и требования к оборудованию, а так же методы и способы коммутации с цифровыми подстанциями [2].

Структура цифровой подстанции подразумевает наличие трех уровней вторичного оборудования: полевой, уровень присоединения и уровень подстанции.

Полевой уровень включает в себя интерактивные модули в составе силового оборудования, таких как трансформаторы и коммутаторы. При этом модуль может быть как в штатной комплектации, что характерно для нового оборудования, так и установлен отдельно, что чаще встречается при использовании дешевого или уде имеющегося оборудования.

Уровень присоединения включает в себя систему релейной защиты и автоматики, которые связаны с уровнем подстанции, при этом могут получать необходимые данные от оборудования, и возможность отправлять команды [3].

Уровень подстанции подразумевает систему сбора и обработки данных, а так же управление. При этом данные, в соответствии с МЭК 61850, должны разделяться на три вида:

– данные шины подстанции, их скорость передачи не является приоритетной, поэтому для них используется низкоскоростной канал связи;

– данные РЗА, их скорость приоритетна, поскольку они несут в себе результаты мгновенного измерения тока, для них используется высокоскоростной канал связи;

– данные для диагностики и архивирования, которые так же являются очень важной составляющей своевременной диагностики оборудования и восстановления данных в случае сбоя [4].

Такая сложная система связи позволяет получать необходимые данные в соответствии с их назначением, оперативные данные быстро передаются по скоростному каналу, который не загружен большим объемом данных, не имеющих приоритета скорости, что максимально снижает риски получения недостоверной информации.

Отдельное внимание стоит уделить вопросу надежности цифровых подстанций. Основная часть неисправностей традиционной подстанции связана с повреждением оборудования, что в дальнейшем провоцирует более серьезные, аварийные ситуации. Решение данной проблемы предусмотрено в самой концепции цифровых подстанций, поскольку она подразумевает наличие системы мониторинга, для актуальной оценки состояния оборудования, вероятности неполадки и, при необходимости, проведения планово-предупредительных ремонтных работ. Такая особенность работы позволяет значительно повысить надежность работы, как отдельного оборудования, так и всей системы в целом.

Работы над цифровизацией подстанций начались более десяти лет назад, уже тогда стояла задача оптимизации работы подстанций, однако на тот момент техника не была достаточно хорошо развита и позволяла решить всех поставленных задач [5].

На сегодняшний день, спустя время, достигнут необходимый уровень развития техники и технологии для решения большинства задач, стоящих перед цифровыми подстанциями, существующий уровень развития данной технологии свидетельствует о высоком потенциале использования цифровых подстанций, как в рядовой энергетике, так и в военной и исследовательской деятельности.

Такая возможность обеспечивается минимальной необходимостью присутствия человека на энергетическом объекте для его нормальной работы, обслуживающий персонал необходим лишь для физической замены элементов энергооборудования. Данный факт позволяет использовать подстанции в тяжелых и опасных условиях, где пребывание человека опасно для его жизни и здоровья.

Имеющийся опыт внедрения и использования цифровых подстанций поваляет говорить о высокой эффективности такого решения, ярким примером служит опыт цифровизации электросетей Дальнего Востока в рамках приоритетного развития региона страны. В перспективе планируется цифровизация и действующих объектов, данное решение позволит снизить риск возникновения аварий, и сократить оперативный персонал, снижая тем самым влияние человеческого фактора.

Таким образом, широкое применение цифровых подстанций позволит усовершенствовать инфраструктуру, повысить уровня контроля, надежности и эффективности энергосистемы

Источники

1. Кузнецов Д.В. Особенности цифровой подстанции // Технические и технологические основы инновационного развития. 2021. С. 30–32.

2. Добрынин Е.В., Ефремова И.А. Цифровая подстанция. Метод реализации // Вестник транспорта Поволжья. 2020. № 1. С. 16–22.

3. Лобов Б.Н., Лызарь И.О., Левчук В.Э. Понятие «цифровая подстанция» // Молодой исследователь Дона. 2020. № 3 (24).

4. Ахмеров А.Г. Цифровые подстанции в мире и в России // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований. 2020. С. 85–88.

5. Ахмеров А.Г. Цифровые подстанции: преимущества в использовании // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований. 2020. С. 93–96.

УДК 621.311

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Б.М. Сафиуллин, Н.В. Фатхелисламов, Д.М. Валиуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
1999.bulat.safiullin@gmail.com

Работы по контролю воздушных линий электропередач на сегодняшний день являются очень важными мероприятиями. В статье приведены методы контроля воздушных линий электропередач.

Ключевые слова: визуальный осмотр, воздушные линии, лазерное сканирование, спутниковый мониторинг, аэрофотосъемка, стереофотограмметрия.

Одной из актуальных задач в электроэнергетике является контроль воздушных линий (ВЛ). В наше время основным источником получения информации о техническом состоянии линий электропередач является визуальный осмотр. Самыми главными недостатками являются человеческий фактор, большие затраты по времени, обследование труднодоступных участков трасс ВЛ [1].

Кроме классического метода осмотра ВЛ применяются также результаты исследований с различных технологий дистанционного зондирования Земли. К преимуществам данного способа получения информации можно отнести. Объективные методы получения данных о техническом состоянии ЛЭП. Высокую производительность сбора информации. Получение информации о состоянии просек ЛЭП (наличие угрозы падения деревьев, зарастание древесной растительности). Обеспечение контроля соблюдения технических нормативов и объективное расследование причин аварий на ЛЭП с возможностью моделирования режимов работы ЛЭП на трех мерной модели.

Однако не стоит забывать о недостатках, поэтому при выборе способа обследования логично использовать наиболее эффективный способ исследования [2].

К дистанционным способам следует отнести: лазерное сканирование; спутниковый мониторинг; аэрофотосъемку; стереофотограмметрию. Лазерное сканирование дает полную информацию о геометрических параметрах технического состояния надземной части ЛЭП. Метод аэрофотосъёмки заключается в фотографировании местности с самолета или с других летательных аппаратов при помощи специального фотоаппарата. Технология аэрофотосъёмки даёт, как правило, меньший объём информации о техническом состоянии линии электропередачи по сравнению с лазерным сканированием, но следует учесть, что это зависит во многом от оборудования, которое используется для обследования и от технологии проведения съемки и обработки. Основной недостаток это высокая стоимость оборудования. Но переход к данным способам будет более информативным и достоверным способом контроля [3].

При анализе различных методов дистанционного обследования можно получить следующие выводы. Технология лазерного сканирования позволяет получить наиболее полную информацию о состоянии линии электропередач. Качество аппаратуры для фотосъемки является главным ограничивающим фактором, при обработке фотографий можно определить координаты точек на линиях электропередач. Спутниковый мониторинг – позволяет контролировать состояние охранной зоны линии электропередачи. Этот метод можно использовать только тогда, когда безоблачная погода [4].

Лучшего результата можно достигнуть только тогда, когда визуальный осмотр дополнен дистанционным способом обследования. Такой комплексный подход позволит наиболее точно планировать ремонтные работы, тем самым снизит объем работ для обслуживающего персонала.

Источники

1. Мониторинг и анализ воздушных линий [Электронный ресурс]. URL: https://extxe.com/21508/diagnostirovanie-i-monitoring-vozdushnyh-linij-jelektroperedach/ (дата обращения: 04.03.2021).

2. Дистанционные методы обследования ЛЭП [Электронный ресурс]. URL: https://moluch.ru/archive/156/44182/ (дата обращения: 04.03.2021).

3. Дистанционные методы сканирования ЛЭП [Электронный ресурс]. URL: https://expert-stroy.com/obzor-distantsionnyh-metodov-dlya-geodezicheskih-izyskanij/ (дата обращения: 04.03.2021).

4. Применение дистанционного обследования [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25738949 (дата обращения: 05.03.2021).

УДК 621.316

ЗАМЕНА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЖИДКОСТЯМИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Е.А. Селезнева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sea230795@mail.ru
Науч. рук. М.Ш. Гарифуллин

Рассмотрено применение, проанализированы и оценены изоляционные жидкости с более высоким уровнем температуры вспышки и горения для повышения пожарной безопасности маслонаполненного оборудования, взамен трансформаторного масла.

Ключевые слова: трансформаторное масло, альтернатива, изоляционная жидкость, пожарная безопасность, маслонаполненное оборудование.

Как привило, в высоковольтном электрооборудовании достаточно широко используются минеральные масла, имеющие существенный недостаток – высокая воспламеняемость.

Взрыво- и пожароопасность маслонаполненного оборудования связана с невысокой температурой вспышки и горения поэтому возникает необходимость уменьшения количества горючих изоляционных жидкостей в трансформаторе на жидкости с температурой возгорания более 300 °С. Данные жидкости производятся на основе синтетических или природных эфиров и силикона.

Высокомолекулярные углеводородные жидкости основаны на нефтяном масле, при его очищении от легких фракций, для увеличения температуры вспышки и горения жидкости, получают продукт с температурой воспламенения более 300 °С, но имеющим более высокую вязкость, а также относительно высокую температуру застывания, что делает его менее подходящим для использования в холодных климатических условиях [1]. Исходя из этого целесообразнее смешивать чистое углеводородное соединение с трансформаторным маслом для заполнения существующих типов маслонаполненных трансформаторов.

Синтетические эфирные соединения также имеют высокую температуру возгорания, но в сочетании с низкой температурой застывания. Их высокая температурная стабильность нашла своё применение в трансформаторах в распределительных сетях тяговых подстанциях. Хотя синтетические сложные эфиры обычно имеют более высокую вязкость, чем обычное трансформаторное минеральное масло, более высокая теплопроводность этих жидкостей приближает их охлаждающие характеристики к характеристикам минеральных масел [1]. Рассматриваемую жидкость также возможно смешивать с минеральным маслом для повышения пожарной безопасности существующих аппаратов.

Наиболее высокую температуру воспламенения, а именно более 350 °С и хорошую термическую и окислительную стабильность имеет силиконовое масло, изготавливаемое из химически промежуточных продуктов, полученных главным образом из песка и метанола. Эта жидкость имеет также более высокую вязкость, чем синтетические и натуральные сложные эфиры [2].

При изучении теста горения изоляционной жидкости с открытой чашей можно сделать выводы о том, что огонь силиконового масла меньше, чем у других рассматриваемых масел, потому что слой кремнезема покрывает поверхность жидкости по мере сгорания и не пропускает кислород, пресекая горение. Несомненно, это отличное свойство, однако, нивелируется при механическом нарушении слоя кремнезема или при стекании жидкости по вертикальной поверхности.

Низковязкое силиконовое масло имеет лучшие технологические характеристики – более низкое тепловыделение, при одинаковой скорости распространения пламени и высокие охлаждающие способности, нежели эфиры, но и имеет ряд недостатков – во-первых, оно не является биоразлагаемым материалом, а во-вторых, не смешивается с минеральными маслами [3].

В настоящее время большое внимание уделяется экологической безопасности, а как было отмечено выше, все предлагаемые альтернативные варианты замены минерального масла не удовлетворяют эту потребность. В связи с этим, самым лучшем решением, для повышения пожарной безопасности маслонаполненного оборудования, на мой взгляд, является применение естественных сложных эфиров, путем смешивания их с минеральными маслами, производимых из растительного масла – рапсового, кокосового, касторового и т. д., получаемого из масел различных семян, таких как соевые, бобы или рапс.

Они нетоксичны и легко разлагаются, к тому же температуры вспышки и горения натуральных эфиров в 2 раза выше этих же показателей для минеральных масел. Вода в натуральных эстерах растворяется лучше, чем в трансформаторном масле также стоит отметить, что в растительных диэлектриках степень полимеризации бумаги снижается медленнее, чем в минеральном масле, т.е. при прочих равных условиях в растительных маслах можно ожидать большего срока службы бумаги [4]. Природные эфиры имеют более высокую вязкость, чем минеральное масло, но стоит учитывать, что натуральные сложные эфиры гигроскопичны, очень легко окисляются и поэтому требуют герметичной конструкции резервуаров трансформаторов [1].

В заключении можно отметить, что использование рассмотренных изоляционных жидкостей, как альтернативы минеральному маслу, наиболее актуальной из которых является изоляционная жидкость на основе натуральных сложных эфиров, не совершенно и не устраняет полностью риски пожара, но может значительно уменьшить опасность возгорания маслонаполненного оборудования.

Источники

1. Мироненко Я. Технологические меры обеспечения пожарной безопасности трансформаторного оборудования [Электронный ресурс]. URL: http://www.techportal.ru/243678 (дата обращения: 03.03.2021).

2. Biodegradable Dielectric Insulating Fluid [Электронный ресурс]. URL: http://www.abb.com/transformers (дата обращения: 03.03.2021).

3. Мендес Х.К., Рейс А.С.Г., Ногава Е.К. Более рациональное использование растительного масла ABB BIOTEMP в высоковольтных силовых трансформаторах // ABB Review. 2007. № 3.

4. Аникеева М.А., Коробейников С.М. Исследование свойств изоляционных жидкостей из растительного сырья [Электронный ресурс]. URL: http://www.news.elteh.ru/arh/2017/106/05.php (дата обращения: 03.03.2021).

УДК 621.315.1

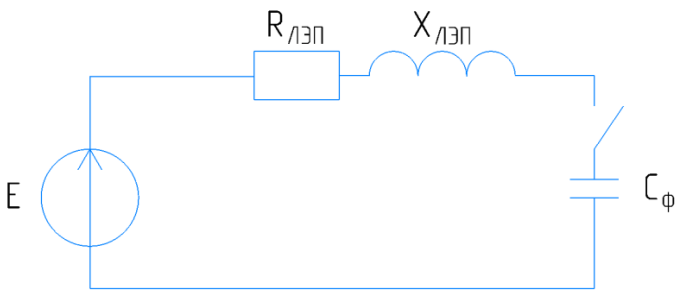
ЧАСТОТА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ СПП КАК ИСТОЧНИК ОБ УДАЛЕННОСТИ МЕСТА ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Д.А. Смирнов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
99DaniiL1999@mail.ru;
Науч. рук. Р.Г. Хузяшев

Рассматривается аналитическое моделирование свободных затухающих колебаний при переходном процессе в цепи и сравнение полученных результатов с осциллограммы, полученной на экспериментальной установке.

Ключевые слова: СПП, переходный процесс, свободные затухающие колебания.

Процессы, возникающие в электрической цепи при переходе от одного установившегося энергетического режима к другому установившемуся энергетическому режиму, называются переходными процессами (режимами). Причиной возникновения переходных процессов является коммутация, т. е. скачкообразное изменение структуры цепи, параметров ее элементов, а также подключение или отключение источников энергии. При этом если электрическая цепь (рис. 1) содержит индуктивные и емкостные элементы, то энергия электрического или магнитного поля, запасенная в соответствующем элементе, не может измениться скачком при коммутации. Поэтому если в процессе коммутации индуктивность (емкость) элемента не изменяется, то значение тока в индуктивности (напряжения на емкости) сразу же после коммутации равно соответствующему значению до коммутации, а затем может плавно изменяться от этого значения. Ток и напряжение на сопротивлении, напряжение на индуктивности и ток через емкость могут меняться скачком при коммутации. Эти величины определяются по состоянию цепи после коммутации [1].



Упрощенная схема ЛЭП при ОЗЗ

По второму закону Кирхгофа свободные напряжения на всех элементах неразветвленной цепи взаимно уравновешиваются. Поэтому в последовательном контуре при отсутствии источников, т. е. при $i = i_{св}$, $u_C = u_{Cсв}$:

$$ri + L\frac{di}{dt} + u_C = 0, \tag{1}$$

где $i = \frac{dq}{dt} = C\frac{du_C}{dt}$. Подставляя значение i в уравнение (1), после дифференцирования получаем для u_c дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{r}{L}\frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC}q = 0. \tag{3}$$

Дифференцируем это уравнение по времени, с учетом (2) получаем аналогичное дифференциальное уравнение для i:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{r}{L}\frac{di}{dt} + \frac{1}{LC}i = 0. \tag{4}$$

Тождественность дифференциальных уравнений указывает на одинаковый закон для изменения u_c, q и i.

Для решения любого из этих дифференциальных уравнений составим характеристическое уравнение

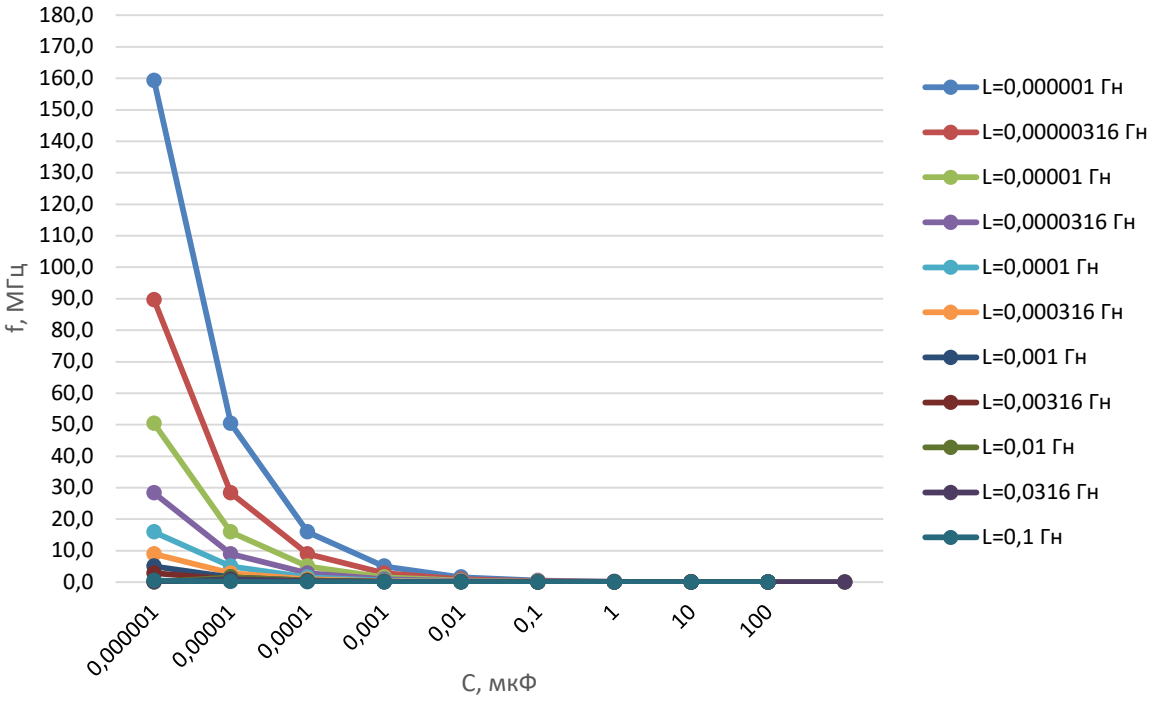
$$p^2 + \frac{r}{L}p + \frac{1}{LC} = 0. \tag{5}$$

Характер свободного процесса зависит только от параметров rLC – цепи, т. е., иначе говоря, от вида корней характеристического уравнения. Так как эти корни определяются равенством

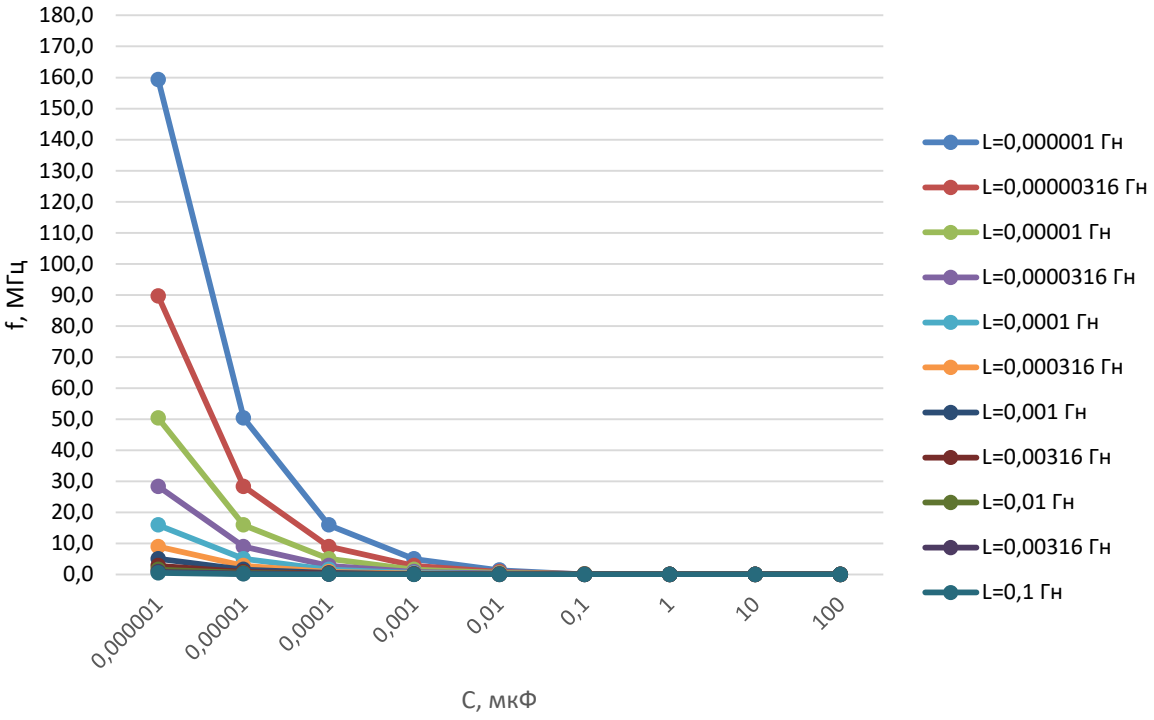
$$p_{1,2} = \frac{-r}{2L} \pm \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}, \tag{6}$$

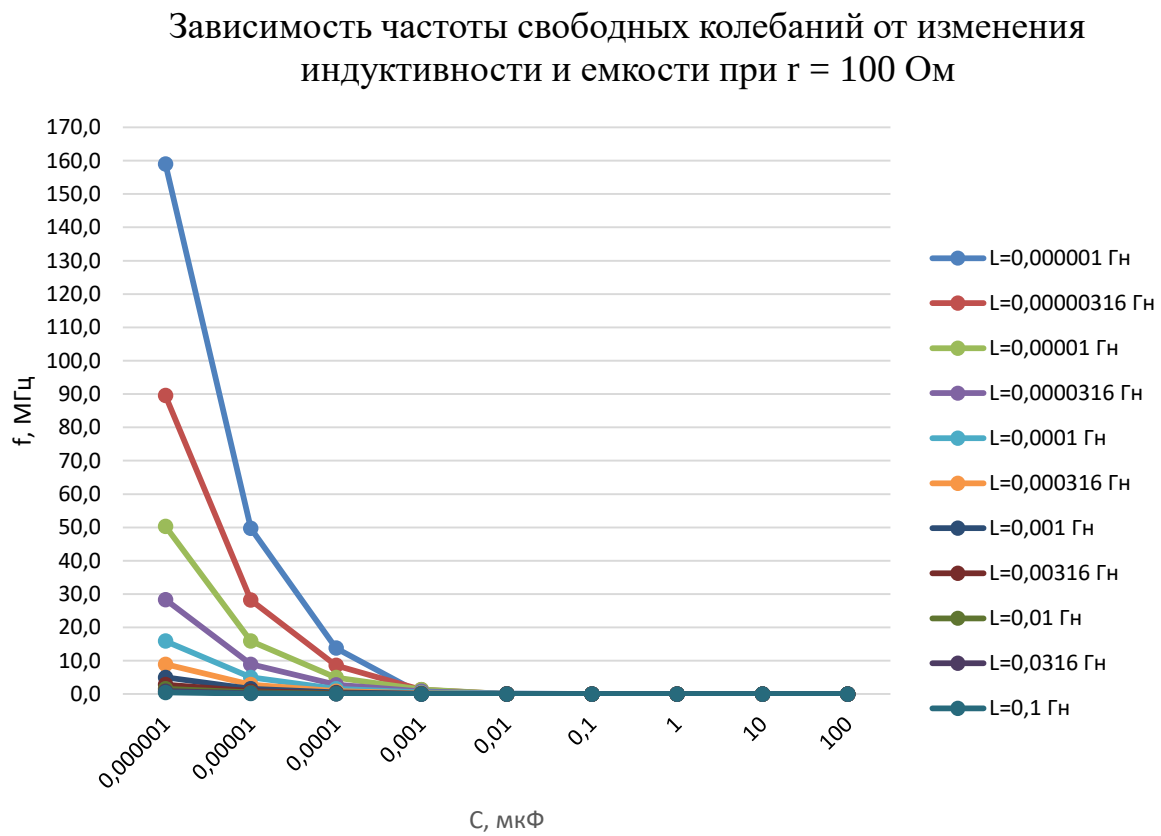
то характер свободного процесса зависит от знака подкоренного выражения, который определяет, будут ли корни действительными или комплексными.

Зависимость частоты свободных колебаний от изменения индуктивности и емкости при r = 0 Ом



Зависимость частоты свободных колебаний от изменения индуктивности и емкости при r = 10 Ом





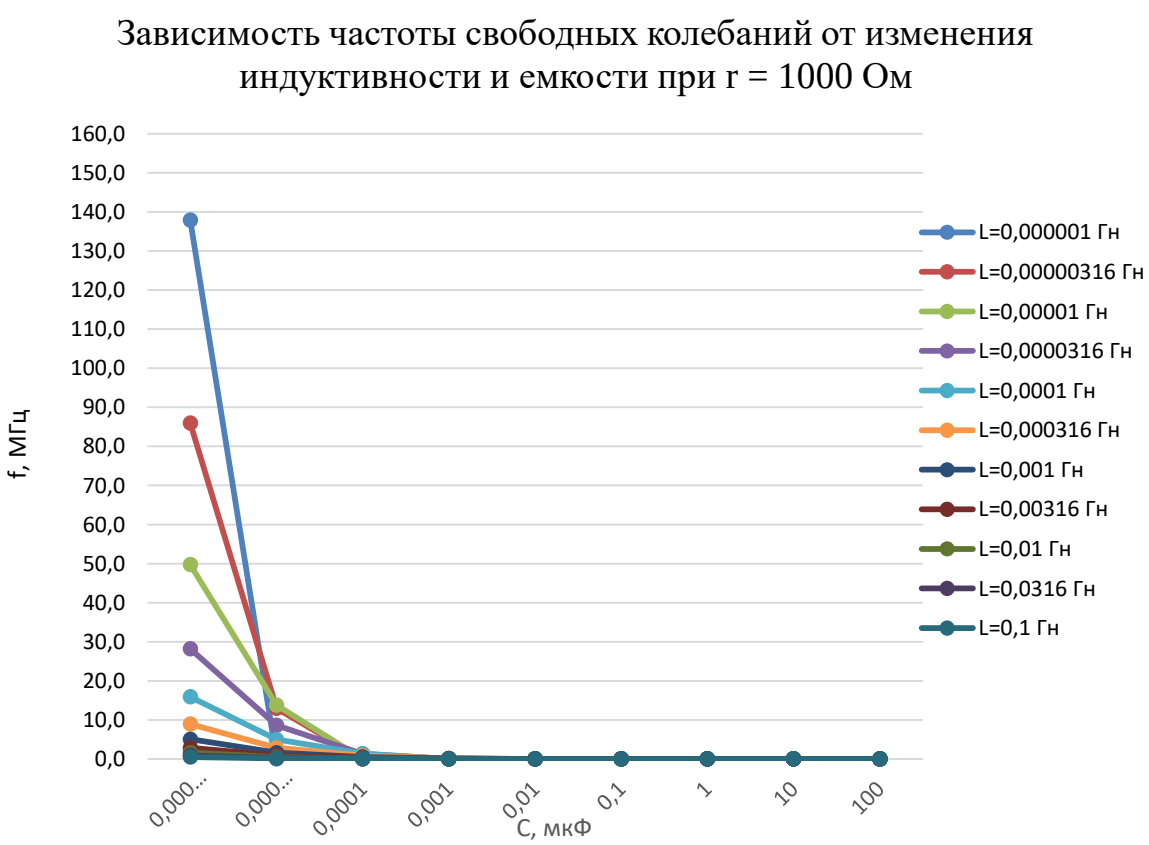


Рис. 2. Графики зависимости частот свободных колебаний при изменении параметров ЛЭП

Из полученных графиков видно, что при L = const, C = const и увеличении r частота свободных колебаний уменьшается.

Обратим внимание, что при определенных параметрах rLC – цепи частота свободных затухающих колебаний становится равной 0. Такое возможно только в двух случаях:

1) $r^2 > \frac{4L}{C}$.

В этом случае оба корня характеристического уравнения p_1 и p_2 действительны, различны и отрицательны. Общее решение дифференциального уравнения определяется формулой

$$I(t) = C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t}. \quad (7)$$

В этом режиме ток монотонно уменьшается, приближаясь к нулю.

2) $r^2 = \frac{4L}{C}$.

Данный режим можно назвать граничным или критическим. Здесь оба корня характеристического уравнения совпадают, но при этом являются действительными и отрицательными. Общее решение уравнения выражается функцией

$$I(t) = (C_1 t + C_2) e^{-\beta t} = (C_1 t + C_2) e^{-\frac{r}{2L} t}. \quad (8)$$

В начале процесса ток может даже возрастать, но в дальнейшем он быстро уменьшается по экспоненциальному закону.

3) $r^2 < \frac{4L}{C}$.

В этом случае корни характеристического уравнения являются комплексно-сопряженными. В электрической цепи возникают затухающие колебания. Закон изменения тока имеет вид

$$I(t) = e^{-\beta t}(A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t)), \quad (9)$$

где величина $\beta = \frac{r}{2L}$ – коэффициент затухания; $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{r}{2L}\right)^2}$ – частота свободных затухающих колебаний; A, B − постоянные интегрирования, зависящие от начальных условий [2]. Типичный вид кривой $I(t)$ в этом режиме представлен на рис. 3.

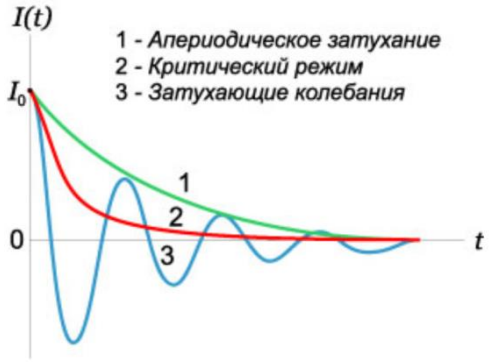


Рис. 3. Виды возможных режимов в контуре при переходном процессе

На рис. 4 представлен график свободных колебаний, полученный на экспериментальной установке модели ЛЭП в лаборатории Б-306, с параметрами линии: r = 150 Ом, L = 0,6 Гн; C = 0,4 мкФ.

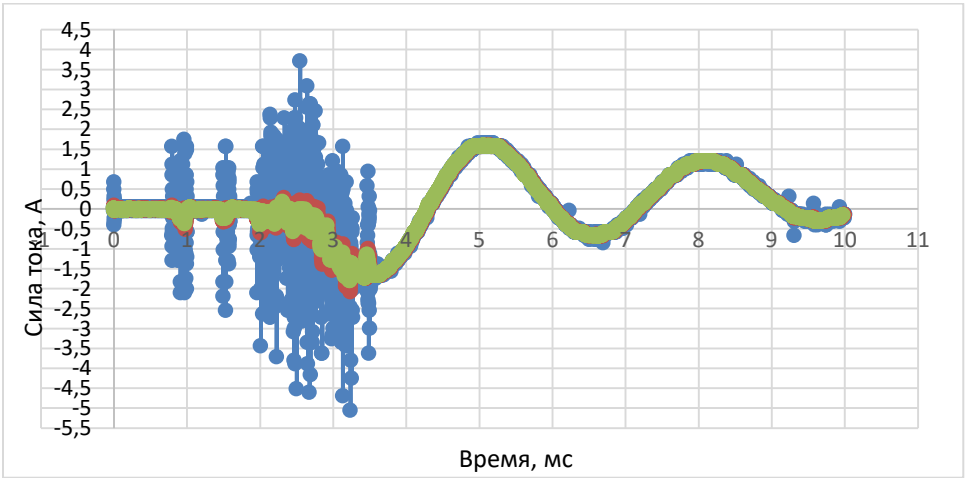


Рис. 4. График свободных колебаний на установке

Частота таких колебаний получается f = 320,97 Гц. При подстановке численных значений параметров в аналитическую формулу получаем:

$$f = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 LC} - \frac{r^2}{16\pi^2 L^2}} = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-6}} - \frac{150^2}{16\pi^2 \cdot 0{,}6^2}} = 324{,}29 \text{ Гц.} \quad (10)$$

Приходим к выводу, что полученные со стенда значения лежат в том же диапазоне, что и значения, полученные с аналитической модели. Это говорит о том, что целью дальнейшей работы является построение аппаратной модели ОЗЗ для выявления двух частот СПП и исследования затухания высокочастотной составляющей.

Источники

1. Пономаренко В.К. Электротехника: учеб. пособие. СПб., 2011. Ч. III. 91 с.

2. Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г.В. Зевеке [и др.]. М.: Энергия, 1975. 752 с.

УДК 621.3.048.1

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕССОВКИ ОБМОТОК И МАГНИТОПРОВОДА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

И.Ф. Файрушин

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

Ilyasf1996@gmail.com

Науч. рук. И.А. Муратаев

Работающему силовому трансформатору всегда свойственны вибрации, источниками которых являются обмотки и магнитопровод.

Ключевые слова: спектроанализ, силовой транформатор, прессовка элементов, вибродатчик, магнитопровод, обмотки силового трансофрматора

На сегодняшний день силовой СТ это один из затратных и важных, элементов энергосистемы. Нормальный режим работы энергосистемы и электрических сетей напрямую связан с надежностью работы силовых СТ. Стандартом ГОСТ 11677-85 был установлен срок службы силового СТ в 25 лет [1]. Выход из строя силовых СТ приводит к большим экономическим потерям. Поэтому важно вовремя диагностировать силовые СТ.

При снижении усилия прессовки обмоток и магнитопровода обычно происходит увеличение и общего уровня вибрации СТ и изменение спектрального состава вибросигналов. Силы внутреннего взаимодействия между элементами в них начинают превышать внешние усилия прессовки. В обмотке это приводит к соударению и трению витков друг о друга, в магнитопроводе в основном возникают соударения, что приводит к поломкам силового СТ. В следствии этого возникает потребность в определении возникновения излишней вибрации.

Для обеспечения максимальной точности необходимо учитывать следующие рекомендации при проведении измерений вибрации:

1) необходимо знание конструкции СТ (чертежи и описание). При надобности можно опираться на опыт с СТ аналогичного типа;

2) датчик необходимо устанавливать в одни и те же места при проведении измерений на различных режимах работы СТ;

3) вибродатчик с магнитом подвижно закрепить на конце высоковольтной штанги;

4) для исключения влияния вибраций от маслонасосов и вентиляторов системы охлаждения их желательно отключать [2].

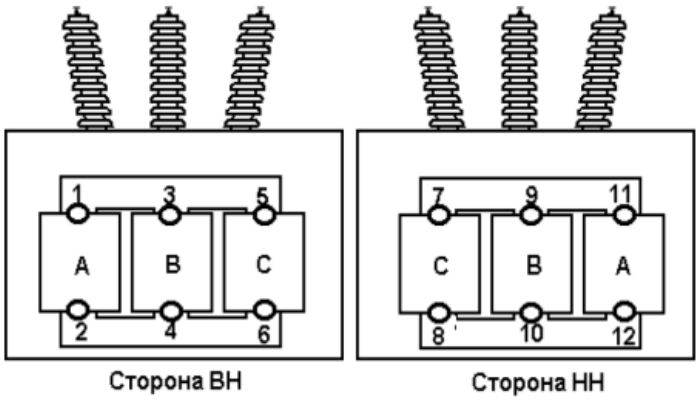
Система «ВЕСТА» от «Димирус» определяет качество прессовки магнитопровода и обмоток силового СТ. Определение качества прессовки составных элементов СТ, происходит через, измерение вибрации. Датчики устанавливаются на поверхности бака СТ без отключения от питающей сети. Всего, для трехфазного двух обмоточного СТ, имеется два цикла (полный цикл измерения):

1) производится в режиме холостого хода СТ;

2) при работе СТ под нагрузкой, более 50 %.

При спектральном методе диагностирования СТ используются переносные спектроанализаторы, регистрирующие сигнал с вибродатчика, раскладывающие его на составные гармоники. Эти приборы оснащены магнитными креплениями, позволяющими устанавливать датчики на баке СТ, и имеют небольшой вес – в пределах 3 кг. Замеры необходимо проводить как под нагрузкой, так и в режиме холостого хода [3].

Датчики на корпус нужно устанавливать так, чтобы они «акустически захватывали» часть сердечника и обмотки. Это соответствует верхнему или нижнему краю обмотки, на рисунке эти места обозначены цифрами от 1 до 12.



Места установки датчиков

Для более правильного выбора точек установки необходимо ознакомиться с технической документацией конкретной модели СТ. Разное расстояние от магнитопровода и обмотки, как источ-ников вибрации, в программе учитывается коэффициентами ослабления. Наилучшие результаты измерений можно ожидать при одновременной записи сигналов во всех точках. Однако такие измерения требуют достаточно дорогостоящих и сложных приборов. Поэтому на практике используют последовательную установку одного датчика.

Производится запись сигналов, зарегистрированных вибродатчиком в спектроанализатор в каждой из размеченных точек. По результатам вибрационного обследования СТ программа выдает относительные коэффициенты качества прессовки элементов СТ. Количественно приняты следующие усредненные диапазоны технического состояния качества прессовки элементов СТ:

1) от 1,0 до 0,9 – зона хорошего состояния контролируемого параметра. Это зона нормальной эксплуатации СТ;

2) от 0,9 до 0,8 – зона удовлетворительного состояния контролируемого параметра. В этой зоне очень важным является выявление тенденций изменения общего состояния в «худшую» сторону, что является очень тревожным параметром. Уменьшение коэффициента общего состояния СТ в меньшую сторону говорит об интенсивном ухудшении состояния;

3) от 0,8 и менее – зона неудовлетворительного состояния контролируемого параметра. При таком значении параметров СТ, особенно при их периодическом «ухудшении» (уменьшении), следует принимать решение, как минимум об усиленном контроле всеми средствами, а лучше о проведении регламентных и ремонтных работ.

Необходимо учитывать, что спектральный метод вибродиагностики обладает методической погрешностью, а полученные результаты носят, скорее, качественный характер.

Источники

1. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. Силовые трансофрматоры: справ. книга. М.: Энергоиздат, 2004. С. 421-423.

2. МУ 1.2.1.16.0220-2014 (до 2014г. РД ЭО 0410-02). Методические указания по оценке состояния и продлению срока службы силовых трансформаторов. М., 2014. 20 с

3. «ВЕСТА». Система контроля качества прессовки обмоток и стали трансформаторов по замерам вибрации, контроль состояния маслонасосов: руководство по эксплуатации. Пермь: Изд-во «Виброцентр», 2019. 60 с

4. Строганов Ю.В. Мониторинг трансформаторного оборудования // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2008. № 2. С. 36–42.

5. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1990. С. 310–330.

УДК 621.3.048.1

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТА МОНИТОРИНГА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

И.Ф. Файрушин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Ilyasf1996@gmail.com
Науч. рук. И.А. Муратаев

Произведен корреляционный анализ результата мониторинга частичных разрядов силового трансформатора, прибором TDM-M.

Ключевые слова: Частичные разряды, силовой трансформатор, интенсивность импульсов частичных разрядов, амплитуда импульсов частичных разрядов.

В электротехнике частичный разряд (ЧР) представляет собой локализованный диэлектрический пробой (ДП) небольшой части силовой или жидкой электрической изоляции (ЭИ) при напряжении высокого напряжения (ВН) [1]. Регистрация частичных разрядов, изучения их зависимостей от внешних параметров, позволит правильно откалибровать приборы, что позволит своевременно выявить развивающиеся повреждения изоляции и принять необходимые меры для их устранения [1].

Целью анализа мониторинга является практическое подтверждение зависимости интенсивности ЧР и амплитуды ЧР в силовых трансформаторах от различных параметров.

Используемая система мониторинга ЧР TDM-M.

Данные, которые регистрируют датчики:

– параметры частичных разрядов (PD);

– параметры вводов;

– общие параметры;

– интенсивность импульсов (ЧР), мВт;

– влажность окружающей среды, %;

– температурные параметры: температура вводов (t = 26 °C), трансформатора в верхней точке, в нижней точке;

– температура воздуха [2].

Данные параметры наиболее точно выстраивают динамику, в течение установленного периода.

Наиболее важными измерениями мониторинга являются:

– интенсивность импульсов ЧР;

– амплитуда импульсов ЧР;

– количество импульсов (суммарное).

Система мониторинга TDM-M, была установлена на трансформатор ТРДН25000/110-66.

В данной компоновке датчики IFCT-5A, вибрации, температуры, влажности и термопреобразователя, регистрируют общие параметры [3].

Интенсивность ЧР прямо пропорционально зависит от влажности окружающей среды, следовательно, значение окружающей среды является важнейшим, одновременно с влажностью важными параметрами являются, нагрузка и температура воздуха.

После корреляционного анализа(далее анализ), связь между интенсивностью и амплитудой(на каждой фазе), была определена, как прямая. Были получены следующие коэффициенты связи интенсивности и амплитуды: $A = 0{,}745$, $B = 0{,}597$ и в $C = 0{,}452$ ($A > C$, но сильной связью). Следовательно, увлечение интенсивности, не является основанием полагать, что амплитуда тоже будет увеличиваться, но может принимать одинаковое значение достаточно большое количество времени. Суммарное число и интенсивность импульсов в одной и той же фазе имеют коэффициенты корреляции в фазах *A, B* и *C* 0,946; 0,834 и 0,937 соответственно(очень тесная корреляционная связь), следовательно высокая интенсивность приводит к тому, что на одной фазе сумма импульсов в фазе растет. Если у разных фаз исследовать, интенсивность и амплитуду, сравнив их, видно, что степень корреляции низкая. У интенсивности(в фазе *A*) и амплитуды(в фазе *B*), связь имеет коэффициент 0, а между фазами *A* и *C* 0,282, связь фаз *B* и *C* вовсе составляет 0,07 (очень слабая связь). Вывод из этого можно сделать следующий, что связи между ростом интенсивности и амплитуды, либо нет, либо она настолько мала, что ей можно пренебречь. Проанализировав, интенсивность в соседних фазах, можно заметить, слабую но прямую связь, из этого можно сделать вывод, что изменение интенсивности(увеличение или уменьшение), на одной фазе никак не влияет на другу. На основании этого можно сделать вывод, что воздействие одной фазы на другую, незначительны.

Одним из ключевых аспектов, для возникновения ЧР, является температура вводов, которая зависит от температуры окружающей среды. Для подтверждения этого, при проведении анализа была проверена зависимость ЧР от температуры.

При проведении анализа были получены следующие коэффициенты: ЧР фазы *A* и температуры равен 0,635, что соответствует прямой и сильной связи. Связь температуры и интенсивности импульсов в фазах *B* и *C* намного ниже фазы *A*. Коэффициент между влажностью и температурой воздуха равен –0,385 (обратная связь), так как модуль коэффициента < 0,4 связь не сильная, не ниже среднего.

Уменьшилась, относительная влажность, но увеличилась температура (интенсивность, амплитуда и сумма ЧР увеличились). Был зафиксирован низкий коэффициент связи и модуль значения около 0,45, но не превышает данного значения — это означает что связь этих параметров ниже среднего. При анализе зависимости нагрузки трансформатора и параметров ЧР, был сделан вывод, что связь между ними несет, обратный характер. Данные были сняты за установленный период(90 дней), поэтому значения анализа изменяются очень сильно. Точного ответа, почему значение анализа, сильно меняются нет, но есть несколько предположений, время проведения измерения было сильно ограничено, второе погрешности связанные с не точными настройками датчиков.

При проведении корреляции обнаружилось подтверждение обратной зависимости увеличения интенсивности ЧР от влажности воздуха, а также прямой связи от повышения температуры трансформатора. Но надо помнить, что влажность обратно пропорциональна температуре воздуха.

Источники

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

2. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1990. 120 с.

3. Описание диагностических и экспертных алгоритмов программного обеспечения iNVA системы TDM Димирус. М., 2017. 12 с

УДК 621.316

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Т.И. Хилажев, Д.М. Валиуллина, Р.М. Хайретдинов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Timur.Khilazhev99@mail.ru

Качество электрической энергии оказывает заметное влияние на работу потребителей, на надежность энергосистемы и работу технологического оборудования.

Ключевые слова: электрическая энергия, формы контроля, коммерческий учет, оперативный контроль.

Качество электроэнергии должно соответствовать параметрам ГОСТ 32144-2013, в противном случае могут снизаться экономические показатели энергосистемы и возникнуть нарушения в работе оборудования.

Зачастую используются четыре формы контроля и анализа качество электроэнергии:

– диагностический контроль;

– инспекционный контроль;

– оперативный контроль;

– коммерческий учет.

Качество электроэнергии нарушается по причине включенных в электросеть вентильных преобразователей, сварочных установок, индукционных и дуговых электрических печей, преобразователей частоты, тяговых подстанций железных дорог, троллейбусов и трамваев, электродуговых сталеплавильных и рудотермических печей, газоразрядных ламп, специальных однофазных нагрузок и ряд других электронных технических средств с нелинейной вольтамперной характеристикой (телевизоров, ПЭВМ, противопожарных средств, систем кондиционирования и т. д.) [1].

Одна из основных причин, по которой у потребителя электрической энергии уровень напряжения может не соответствовать требованиям межгосударственного стандарта – это превышение разрешенной к использованию мощности самим потребителем. Как показывают исследования, нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения далеко не всегда соблюдаются.

Это приводит к неоптимальным режимам работы и даже к повреждениям элементов систем электроснабжения и приёмников электроэнергии, а также к увеличению потерь энергии. Поэтому в настоящее время весьма актуальной является проблема контроля и поддержания (регулирования) качества электроэнергии [2].

Решительным средством улучшения качества электроэнергии является применение компенсации реактивной мощности (КРМ), которая непосредственно связана с режимом напряжения.

Эволюция сетей и внедрение современных электрических устройств только увеличивают актуальность проблем качества электроэнергии. Возрастающее количество нелинейной нагрузки с одной стороны ухудшает ПКЭ в сети, а применение чувствительных электронных устройств, с другой стороны, требует, чтобы эти показатели находились в жёстко заданных пределах [3].

Очевидно, что с развитием электроэнергетики вопрос нормирования и контроля параметров качества электроэнергии будет возрастать. Ключевыми аспектами в вопросах КЭ являются законодательная база (построение отношений между энергоснабжающей организацией и потребителем) и наличие инженерных возможностей для выявления и устранения неприемлемых отклонений ПКЭ. Если некоторые законодательные основы созданы Правилами электроснабжения, то инженерную (техническую) базу нужно развивать [4].

Существующая на сегодняшний день простая констатация фактов несоответствия показателей качества электроэнергии требованиям ТНПА не позволяет решать ряд важных принципиальных вопросов. Развитие технического потенциала до требуемого степени возможно только при условии того, что сам потребитель будет осознавать наличие проблемы, понимать её основание, находить пути и требовать её решения.

Источники

1. Розенкрон Я.К., Биманис В.В. Температурно-токовые защиты трансформаторов от аварийных и систематических перегрузок // Электротехника. 1985. № 8. С. 36–38.

2. Дубинин В.В., Попов А.Н. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях // Ползуновский вестник. 2013. № 4-2. С. 66–71.

3. URL: http://enargys.ru/kachestvo-elektricheskoy-energii-i-sposobyi-ego-povyisheniya/ (дата обращения: 04.02.2021).

4. Суднова В.В. Качество электрической энергии. М., 2000. 80 с.

УДК 621.311

СОВЕРШЕНИСТВОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Р.Р. Ялальдинов, И.М. Валеев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Rashit395@yandex.ru

Развит комплексный подход к совершенствованию как метрологического, так и технического обеспечения средств измерений, на основе оптимизации характеристик информационного канала. Проведен анализ целесообразности внедрения автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии, с учетом технических и структурных характеристик трансформатора тока и напряжения.

Ключевые слова: АСКУЭ, трансформатор тока и напряжений.

В настоящее время, развитие мелкого и среднего предпринимательства и роста энергопотребления промышленного производства подтолкнуло энергетиков к поиску и разработке новых форм учета и контроля количества, и главное для современных потребителей, качества электроэнергии.

Как показывают научные исследования, существенный недоучет электроэнергии на предприятиях с непрерывными технологическими процессами средств контроля и учета электроэнергии (ЭЭ), происходит из-за неправильного применения известных метрологических правил и норм [1].

Мероприятия по повышению точности измерений учета ЭЭ применением в сети электроснабжения дорогостоящих счетчиков повышенного класса точности, не снижают суммарную погрешность измерений, а приводят только к избыточным затратам, не снимают проблем их совершенствования и повышении точности измерений

Как известно, информационные каналы (ИК) работают при малых значениях рабочего тока и коэффициента мощности, а также в условиях не симметричных нагрузок и при других дестабилизирующих факторах. Погрешности измерений электроэнергии, достигающих вплоть до ±10…15%, становятся следствием неправильного выбора измерительных систем, счетчиков, их неправильная эксплуатация и недоучет влияющих величин [2].

При чем, в системе учета ЭЭ используются трансформаторы тока и трансформаторы напряжений, для измерения соответствующих параметров. Изоляционные свойства этих приборов имеют свойство со временем стареть. Как правило это вызвано продолжительным тепловым воздействием, влажностью, короткими замыканиями и перенапряжениями [3]. При этом в работе трансформатора происходят сбои, ухудшаются его механические характеристики и увеличивается погрешность измерений. Прибор начинает давать неправильные показания потребления электрической энергии. В свою очередь это негативно сказывается на учете электроэнергии и в целом ухудшается работа измерительных систем.

Существующие схемные решения внедрения систем АСКУЭ которые выполняются на основании метрологических параметров учета электроэнергии, созданных еще до их широкого внедрения. Это привело к тому, что метрологические и технические обеспечения учета электроэнергии развивались параллельно, касаясь только отдельных элементов, таких как счетчик, трансформатор тока (ТТ), трансформатор напряжения (ТН) и т. п.

Широкое взаимодействие этих направлений и в более полной мере реализация заложенных в АСКУЭ возможностей привело к повышению точности учета ЭЭ.

В работе предложена практическая реализация заложенных в системе АСКУЭ возможностей, приводящие к более точному учету ЭЭ и точному определению небалансов и потерь электроэнергии в различных энергетических объектах.

Как видно из рисунка, при построении АСКУЭ бытового сектора со счетчиками электроэнергии соединенных интерфейсом *RS*232/*RS*485 сбор данных можно организовать при помощи силовых модемов -М, которые подключены к счетчикам и модемам, установленным на каждую задействованную фазу [4].

Для повышения точности учета электрической энергии можно предложить совмещение мероприятий по техническому переоснащению энергосистем с учетом индивидуальных характеристик ТТ путём ввода индивидуальных характеристик трансформатора тока на программном уровне [5]. Для этого были проведены экспериментальные исследования индивидуальных характеристик ТТ.

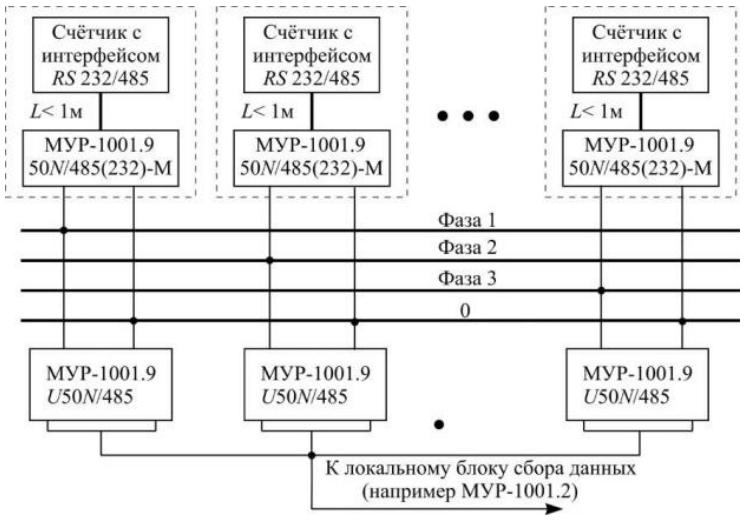


Схема сбора информации с применением силовых модемов

Анализ экономической эффективности внедрения системы АСКУЭ бытовых потребителей (БП), показал, что внедрение подобных систем учёта электроэнергии у бытовых потребителей экономически оправдано и удобно как для организаций занимающихся сбытом электрической энергии, так и для потребителей ЭЭ.

Источники

1. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1999. 198 с.

2. Требования к проектированию и объему оснащения энергетических объектов системами АСКУЭ на оптовом рынке электроэнергии и мощности. М.: РАО «ЕЭС России», 2002. 58 с.

3. Загорский Я.Т., Курбан-Галиев У.К. Сборник нормативных и методических документов по измерениям, коммерческому и техническому учету электрической энергии и мощности. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 1998. 204 с.

4. Тубинис В.В. Об актуальности разработок автоматизированных систем учета электроэнергии для бытовых потребителей // Метрология электрических измерений в электроэнергетике: матер. 2-й науч.-практ. конф. М., 2002. 204с.

5. Московский А.Е. О некоторых тенденциях развития коммерческого учета в условиях формирования рынка электроэнергии // Метрология электрических измерений в электроэнергетике: матер. 2-й науч.-практ. конф. М., 2002.

УДК 621.315.1

КОНТРОЛЬ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ш.Р. Яхин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
reventon.201223@gmail.com
Науч. рук. А.Х. Сабитов

Описывается новая система с расширенным искусственным интеллектом для проверки линий электропередачи. Эта система работает быстрее и точнее, чем существующие методы контроля, и, как следствие, более рентабельна.

Ключевые слова: линии электропередач, проверка линий, искусственный интеллект, определение повреждений.

Надлежащая проверка линий электропередачи обеспечивает их оптимальную работу, обеспечивая бесперебойное электроснабжение сообществ, которые полагаются на них. Постоянный мониторинг линий электропередачи играет жизненно важную роль в предотвращении перебоев в подаче электроэнергии за счет раннего обнаружения дефектов оборудования и пересечения полосы отвода строениями, людьми и растительностью. Компании обычно устанавливают интервалы между проверками, и на выполнение одного прохода может уйти несколько лет. Это означает, что состояние ЛЭП устанавливается только время от времени. Все, что происходит с линиями между проверками, скорее всего, останется незамеченным. Более того, если компании не соблюдают свой график проверок или собранные данные не анализируются своевременно, оценки и решения, основанные на них, могут легко стать менее оптимальными. Выборочная или отложенная проверка может привести к пропуску дефектов, возникающих между интервалами проверки, а неточная оценка состояния может привести к неточному распределению ресурсов, подвергая сеть нежелательным перебоям в подаче электроэнергии. Сочетание стареющей инфраструктуры, ограниченных бюджетов и стареющей экспертной рабочей силы требует разработки новых, более эффективных и действенных методов проверки, которые обеспечивают непрерывность накопленных знаний и в то же время способны приспособиться к сокращающемуся количеству рабочей силы, доступной для коммунальных предприятий.

Подобно тому, как недавние достижения в области автоматизации и робототехники повысили скорость и эффективность сбора данных в полевых условиях, часть оценки данных в процессе инспекции готова к значительному технологическому прогрессу. Цель состоит в том, чтобы разработать новые процессы проверки инфраструктуры, которые сводят к минимуму участие человека и делают анализ данных быстрым, экономичным и гибким, и в то же время обеспечивают большую точность, чем ручной процесс.

Целью данной работы является ознакомление с проверкой линии электропередач с помощью технологий беспилотных летательных аппаратов и искусственного интеллекта, основанным на распознавании образов.

Термин «искусственный интеллект» используется очень широко и в разговорной речи для обозначения машины, которая может мыслить, как человек [1]. Поскольку невозможно определить, как машина думает, более практичный способ думать об ИИ – это обобщающий термин для машин, которые хорошо справляются с задачами, с которыми хорошо справляются люди, или выполняют задачи, которые мы считаем «умными» [2].

Каждый раз, когда машина может выполнить задачу, основанную на алгоритмах, решающих проблемы, она проявляет некоторый интеллект. Большинство машин делятся на две основные группы [3, 4]:

1) общий искусственный интеллект (GAI);

2) узкий искусственный интеллект (NAI).

Машины GAI могут понять и изучить любую задачу, которую может выполнить человек. Можно сказать, что общий ИИ стремится превзойти людей во всех подмножествах когнитивных способностей. Хотя ИИ в целом является предметом многочисленных исследований, в настоящее время это возможно только в научной фантастике. Машины NAI, с другой стороны, стремятся превзойти людей в узких, четко определенных задачах. Примерами таких машин сегодня являются Google Assistant и Facebook Image Recognition.

Машинное обучение (ML) – это разновидность ИИ. Его лучше всего рассматривать как метод реализации ИИ [4]. В машинах машинного обучения используются алгоритмы для анализа данных, обучения из этих данных и последующего применения полученных знаний к решениям, которые они принимают [3]. Сегодня этот процесс широко используется службами, которые предоставляют пользователям рекомендации, например выбор музыки, фильмов или товаров.

Новым подмножеством машинного обучения является глубокое обучение (DL) [3]. Большинство экспертов считают DL эволюцией машинного обучения и основой настоящего искусственного интеллекта. Приложения глубокого обучения используют слои алгоритмов, которые организованы аналогично тому, как клетки мозга взаимодействуют в человеческом мозге. Такая искусственная нейронная сеть способна анализировать данные с помощью логики, которую использовал бы человек, и делать это без какой-либо помощи человека, кроме начального программирования. Обучаться в результате нейросетевого анализа гораздо эффективнее, чем при стандартном машинном обучении.

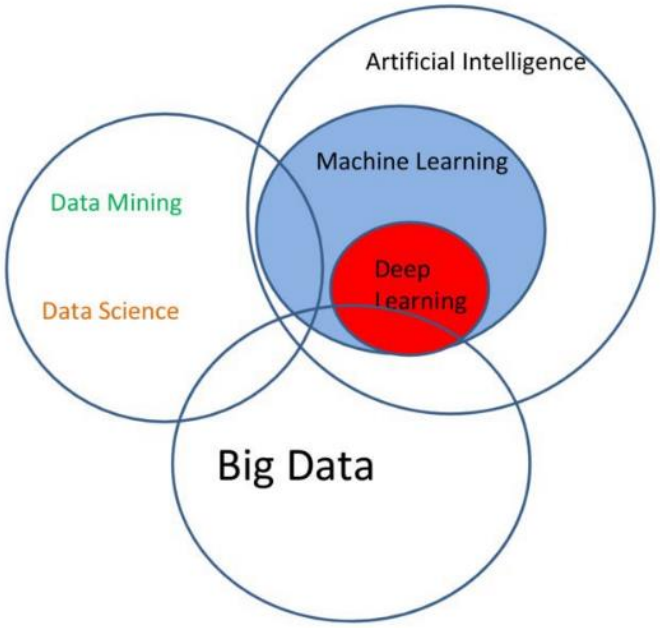


Рис. 1. Диаграмма Венна, показывающая новые технологии работы с цифровыми данными [5]: Data Mining (Сбор данных); Data Science (Изучение данных); Big Data (Большие данные); Artificial intelligence (Искусственный интеллект); Machine Learning (Машинное обучение); Deep Learning (Глубокое обучение)

Воспользовавшись революцией искусственного интеллекта последних нескольких лет, компания RecognAlse Technologies Inc. разработала новый процесс проверки инфраструктуры линий электропередачи. Решение дополняется глубоким искусственным интеллектом и использует трехуровневый подход для выполнения проверок (рис. 2):

– уровень распознавания;
– уровень оценки рисков;
– уровень инженерной оценки.

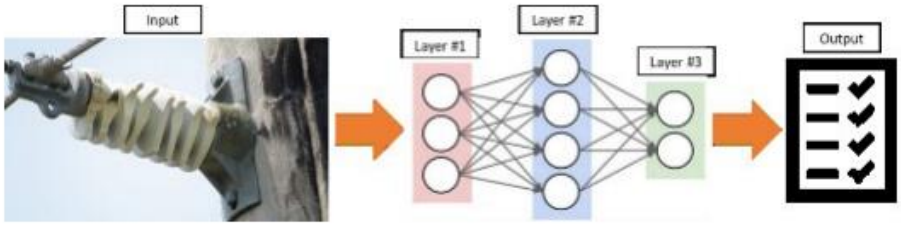


Рис. 2. Визуальное представление решения для проверки RecognAlse AI [6]:
Ввод – Слой № 1 – Слой № 2 – Слой № 3 – Вывод

Уровень распознавания (слой № 1), как следует из названия, распознает объекты во входном изображении (рис. 3). Возможна различная глубина распознавания:

1) классификация соответствующих конструкций: решетчатые башни, деревянные столбы, Н-образные рамы;

2) идентификация соответствующих элементов: изоляторы, оборудование линии передачи; арматуры; ножки;

3) выявление соответствующих повреждений/дефектов: треснувшие вершины шестов; поврежденные изоляторы (отсутствующие колокола, треснувшие колокола и т. д.); расколотые/гнилые траверсы.

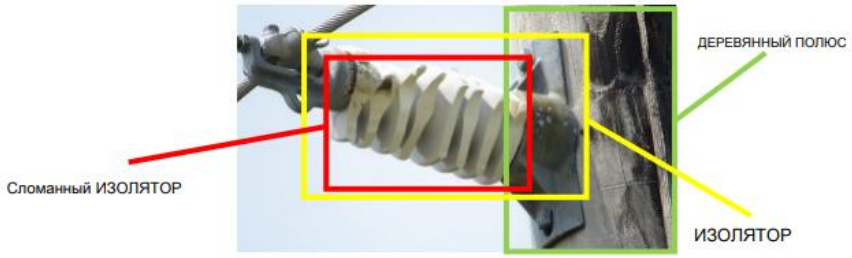


Рис. 4.Визуальное представление ограничивающих рамок
распознавания изображений Deep Learning (Глубокое обучение) [6]

Одна из определяющих особенностей глубокого обучения заключается в том, что машина никогда не перестает учиться. Информация, которую он собирает, и выводы, которые он из них делает, носят совокупный характер. По мере того, как выполняется больше проектов, и система получает больше данных, происходит более надежное обучение и обучение, и более поздние проекты будут требовать все меньше и меньше обучения, если они похожи на уже завершенные. Таким образом, можно найти хорошее применение огромному количеству данных, которые в настоящее время собираются и часто хранятся неиспользованными.

Источники

1. Харви К. Искусственный интеллект против машинного обучения [Электронный ресурс]. URL: https://www.datamation.com/data-center/artificial-intelligence-vs.-machinelearning-whats-the-difference.html (дата обращения: 28.03.2021).

2. Марр Б. В чем разница между искусственным интеллектом и мАшинным обучением? [Электронный ресурс]. URL: https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2016/12/06/what-is-the-difference-betweenartificial-intelligence-and-machine-learning/#41abf772742b (дата обращения: 28.03.2021).

3. Коупленд М. В чем разница между искусственным интеллектом, машинным обучением и глубоким обучением? [Электронный ресурс]. URL: https://blogs.nvidia.com/blog/2016/07/29/whats-difference-artificial-intelligence-machinelearning-deep-learning-ai/ (дата обращения: 28.03.2021).

4. Garbade M.J. Устранение путаницы: ИИ против машинного обучения против различий в глубоком обучении [Электронный ресурс]. URL: https://towardsdatascience.com/clearing-the-confusion-ai-vs-machine-learning-vs-deeplearning-differences-fcje69b21d5eb (дата обращения: 28.03.2021).

5. Lotus Labs. Разъяснение ИИ, машинного обучения, глубокого обучения, науки о данных с помощью диаграмм Венна [Электронный ресурс]. URL: https://lotuslabs.medium.com/clarifying-ai-machine-learning-deep-learning-data-science-with-venn-diagrams-c94198faa063 (дата обращения: 28.03.2021).

6. Robert Jenssen. Интеллектуальный мониторинг и проверка компонентов линии электропередачи с использованием БПЛА и глубокого обучения [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/330327990_Intelligent_Monitoring_and_Inspection_of_Power_Line_Components_Powered_by_UAVs_and_Deep_Learning (дата обращения: 28.03.2021).

Секция 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

УДК 621-311.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ОТДЕЛЬНОЙ ТЕРРИТОРИИ

М.Ф. Агзамов[1], М.Н. Симонова[2], Э.Ф. Хакимзянов[3], Р.Р. Гибадуллин[4], Р.А. Галиев[5]
[1,2,3,4,5]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2,3]ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань
[3]ФГБОУ ВО «КНИТУ–КАИ», г. Казань
[1]agzamovmf@energo-razvitie.ru

Обоснована необходимость предварительного исследования различных сценариев модернизации схемы электроснабжения отдельной территории, рассмотрены методы выбора оптимального и экономически выгодного плана развития системы электроснабжения потребителей поселков, удаленных от центра питания, с помощью программного комплекса PSS Sincal. Результаты исследования показали, что предложенные варианты модернизации в сетях 0,4 кВ позволяют повысить надёжность электроснабжения потребителей и качество поставляемой электроэнергии, оптимизировать режим электроснабжения, повысить пропускную способность и уменьшить пиковую нагрузку сети.

Ключевые слова: моделирование систем электроснабжения, цифровой двойник, качество электрической энергии, программный комплекс, модернизация электрических сетей 0,4 кВ, PSS Sincal.

Распределительные сети, характеризующиеся большой протяженностью, разветвленностью и сложностью построения, неизбежно влекут за собой снижение надежности электроснабжения, пропускной способности сети, а также ухудшение качества электроэнергии. Используемые на сегодняшний день методы для улучшения состояния сетей не имеют возможности формировать технически обоснованные энергоэффективные инвестиционные программы развития и модернизации электрической сети.

Программный комплекс PSS Sincal с помощью математической модели энергорайона позволяет анализировать режимы работы и выявлять уязвимые места в энергосистеме при проектировании, антиципировать различные сценарии развития электрической сети для обеспечения требуемого уровня качества электроэнергии, отвечающей экономическим интересам поставщиков и потребителей.

Цель статьи – показать возможности моделирования различных вариантов модернизации электроснабжения в отдельной территории. Объектом исследования служат потребители, использующие электроприемники второй или третьей категории надежности с неравномерной суточной нагрузкой для коммунально-бытовых и непроизводственных нужд.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– создание математической модели электрической сети в программном комплексе PSS Sincal с ее отображением как в виде однолинейной схемы, так и на площадке геоинформационной системы;

– проведение расчетов режимных параметров электрической сети с определением проблемных мест на основе дополнительного анализа перспективы роста нагрузок в программном комплексе PSS Sincal;

– определение ориентировочной стоимости оборудования для реализации каждого из вариантов модернизации схемы электроснабжения;

– выбор наиболее оптимального варианта построения схемы электроснабжения.

Для определения объема и целесообразности моделирования низковольтных сетей напряжением 0,4 кВ была выбрана электрическая сеть, прилегающая к комплектной трансформаторной подстанции (КТП), в которой, по результатам расчетов параметров режима отклонение уровня напряжения превышает регламентируемые значения [1].

Исходная схема электрической сети изображена на рис. 1.



Рис. 1. Поопорная схема электроснабжения участка,
построенная на географической карте

В результате произведенного расчета установившегося режима работы сети получили максимальное отклонение напряжения от номинального свыше 10 % [1], что показано на рис. 2 с помощью цветовой карты. Таким образом, данная схема не позволяет обеспечить потребителя электроэнергией требуемого качества, что предполагает необходимость модернизации электрической сети.

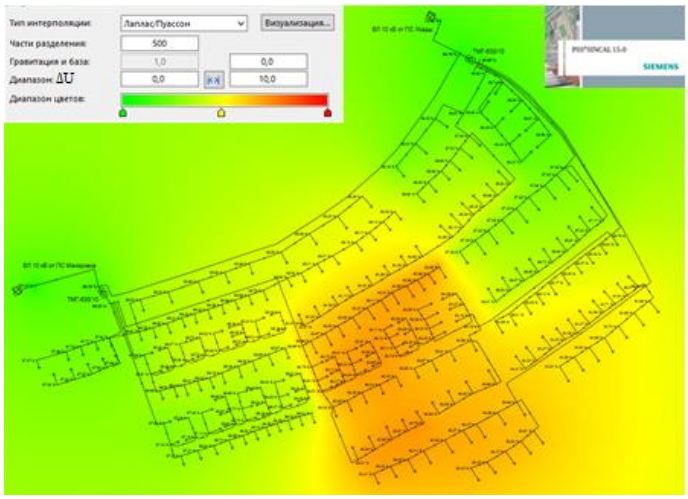


Рис. 2. Цветовая карта результатов расчета отклонений напряжения поопорной схемы электроснабжения участка

В связи с этим были приняты к рассмотрению следующие варианты повышения качества электроснабжения потребителей участка с дальнейшим изменением математической модели сети:

– модернизация сети с заменой провода;

– изменение местоположения и количества трансформаторных подстанций (ТП);

– модернизация сети с установкой систем накопления энергии;

– использование солнечной электростанции совместно с системой накопления электроэнергии;

– применение индивидуальных столбовых ТП;

– модернизация сети с применением вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ);

– установка регулируемых конденсаторных установок.

Проведение соответствующих расчетов полученных моделей показало, что в каждом из предложенных вариантов модернизации, значение отклонения напряжения на наиболее удаленных участках сети составило не более 5 %, что находится в пределах допустимого значения отклонения напряжения. Результаты расчетов, а также ориентировочная стоимость устанавливаемого в каждом из вариантов модернизации показаны в таблице [2].

Результаты расчетов ориентировочная стоимость оборудования модернизации электрической сети

Вариант модернизации	Отклонение напряжения от номинального ΔU, %	Ориентировочная стоимость решения, тыс. руб., без НДС
Модернизация сети заменой провода	4,75	7 500,00
Изменение местоположения и количества ТП	3,25	6 000,00
Использование солнечной электростанции совместно с системой накопления электроэнергии	1,50	6 500,00
Применение индивидуальных столбовых ТП	1,50	8 500,00
Модернизация сети с применением ВДТ	1,25	3 500,00
Установка регулируемых конденсаторных установок	5,00	1 000,00

Каждый из рассматриваемых вариантов системы электроснабжения имеет свои преимущества и недостатки.

В большинстве случаев, первоначальной причиной низкого напряжения у потребителей сельских сетей является провод маленького сечения. Модернизация электрической сети заменой провода соответствующей марки и необходимого сечения является наиболее распространенным способом, однако это решение требует бóльших капиталовложений и менее эффективно, поскольку из рассматриваемых вариантов реконструкции имеет большее отклонение напряжения.

Изменение местоположения и количества ТП является трудозатратным вариантом, так как полностью меняется схема электроснабжения и соответственно большинство энергообъектов подвергаются реконструкции. Этот способ актуален к применению с перспективой к росту нагрузки потребителей.

Использование системы накопления позволяет перекрывать пики нагрузок при отсутствии солнечной активности, когда мощность солнечной станции ограничена, а возможность подзарядки СНЭ от сети дает гарантию качественной электроэнергии круглый год. Для организации СЭС, например, мощностью 30 кВт необходима установка панелей в количестве 120 штук (1640×992×35 мм), что предполагает строительство объекта генерации на отдельной территории площадью около 280 кв. м.

Строительство столбовых ТП вблизи потребителей позволит снизить протяженность линий низкого класса напряжения и, тем самым, снизить потери при передаче электроэнергии, повысить надежность и качество электроэнергии, а также увеличить пропускную способность сети. Для её строительства не требуется подготавливать специальную площадку, это позволяет значительно снизить затраты на монтаж и ввод в эксплуатацию объекта. Недостатком такого варианта модернизации сети является близкое расположение высоковольтной линии к потребителям.

Применение ВДТ в сетях электроснабжения потребителей 0,4 кВ позволяет повысить и стабилизировать напряжения в сети, компенсировать несимметричные фазные напряжения, снизить опасные последствия при обрыве нулевого проводника, а также снизить объём и срочность капиталовложений.

Установка регулируемых конденсаторных установок позволяют снизить действия реактивной мощности, регулировать напряжение, повышать и поддержать на определенном нормативном уровне величины коэффициента мощности в трехфазных распределительных сетях [2]. Главное предназначение конденсаторных установок, является аккумуляция в конденсаторах реактивной мощности. Это действие помогает разгрузить электрическую сеть от перетоков реактивной мощности, происходит стабилизация напряжения, увеличивается доля активной мощности. Традиционное для России формирование потребительских распределительных сетей низкого напряжения с помощью воздушных линий с алюминиевым кабелем, имеющим индуктивное сопротивление почти на уровне активного, вносит свой вклад в падение сетевого напряжения из-за значительных перетоков реактивной мощности.

Исходя из полученных результатов, сведенных в табл. 1, а также анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых вариантов систем электроснабжения, наименьшее отклонение напряжения от номинального на наиболее удаленном участке электрической сети имеет решение с применением вольтодобавочного трансформатора и требует меньшее количество финансовых затрат.

В результате анализа рассмотренных вариантов организации электроснабжения, а также расчетов в программном комплексе PSS Sincal, наиболее эффективным является применение вольтодобавочных трансформаторов. При условии, когда установка ВДТ не достаточна, рассматриваются схемы с применением индивидуальных столбовых ТП, изменением местоположения и количества трансформаторов, установкой регулируемых конденсаторных установок или, при соответствующем обосновании, использование солнечной электростанции совместно с системой накопления электроэнергии, как альтернативного источника электроснабжения.

Программный комплекс PSS Sincal позволяет показать различные сценарии исполнения схем электроснабжения для обеспечения надлежащего качества электроэнергии у потребителей. Применение оптимального варианта модернизации рекомендуется после анализа математической модели схемы электроснабжения.

Источники

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 7 с.

2. Об утверждении укрупненных нормативов цены типовых технологических решений капитального строительства объектов электроэнергетики в части объектов электросетевого хозяйства [Электронный ресурс]: Приказ Министерства энергетики РФ от 17 декабря 2019 г. № 10. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 17.02.2021).

УДК 621.314

ЛАЗЕРНЫЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ОПРЕССОВКИ ОБМОТОК И МАГНИТОПРОВОДА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

В.Р. Басенко[1], М.Ф. Низамиев[2]

[1]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]vasiliybas123@mail.ru, [2]marat.nizamiev.90@mail.ru

Науч. рук. И.В. Ившин

Рассмотрен метод контроля уровня опрессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора по вибрационным характеристикам. Разработан лазерный контрольно-измерительный комплекс для апробации предложенного метода. Проведены экспериментальные исследования по контролю уровня опрессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора, определены информативные частотные диапазоны.

Ключевые слова: лазерный контрольно-измерительный комплекс, силовой трансформатор, параметры вибрации, контроль технического состояния, программное обеспечение LabVIEW, лазерный виброметр, коэффициент корреляции.

Основными элементами силового трансформатора являются магнитопровод и обмотки. Электрические и вибрационные методы позволяют контролировать техническое состояние обмоток и магнитопровода трансформатора. В отличие от электрических и других методов контроля, вибрационные методы имеют высокую точность и чувствительность к зарождающимся и развивающимся дефектам, обладают возможностью применения компьютерных технологий для обработки и анализа информации [1, 2].

Для реализации контроля силовых трансформаторов по вибрационным параметрам предлагается лазерный контрольно-измерительный комплекс (ЛКИК), который позволяет измерять виброскорость колебаний, полученных от контролируемого трансформатора в определенный временной промежуток, преобразовывать измеренный сигнал в цифровую форму, формировать амплитудный спектр с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ) [1].

Лазерный контрольно-измерительный комплекс (рис. 1) состоит из бесконтактного лазерного виброметра *1*, многофункционального модуля ввода-вывода *2*, персонального компьютера *3*, разработанного программного обеспечение в среде LabVIEW *4*.



Рис. 1. Схема ЛКИК: *1* – лазерный виброметр PDV-100; *2* – АЦП NI USB-6251; *3* – персональный компьютер; *4* – программное обеспечение LabVIEW; *5* – силовой трансформатор

С помощью разработанного ЛКИК проведены экспериментальные измерения параметров вибрации бака работающего силового трансформатора ТМН 6300 35/6 кВ. Измерения проводились в 6 точках трансформатора и соответствуют верхней и нижней границе его обмоток. Схема месторасположения данных точек показана на рис. 2 и соответствует методике контроля качества прессовки обмоток и стали трансформаторов по замерам вибрации [4].

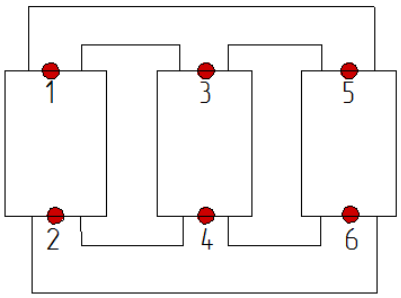


Рис. 2. Схема месторасположения точек измерений на баке трансформатора относительно его обмоток

Результаты измерений всех 6 точек обработаны в программном обеспечении разработанного ЛКИК. На временном интервале от 0 до 0,5 с сформированы амплитудные спектры виброскорости для фаз *A*, *B*, *C* в верхних и нижних точках. На рис. 3 представлен амплитудный спектр верхней точки фазы *A*.

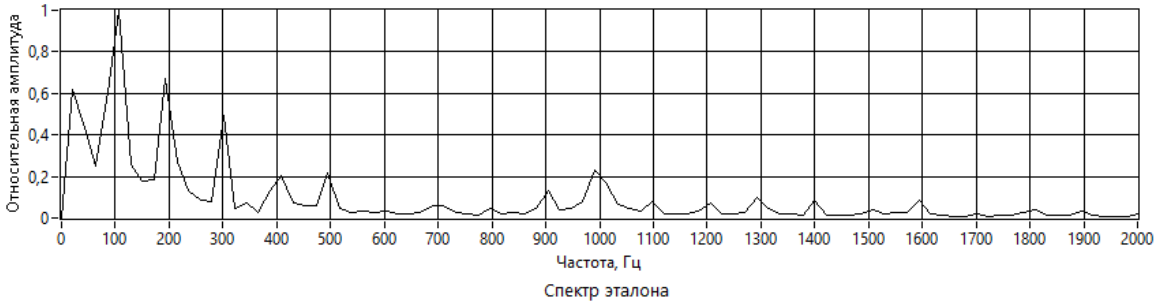


Рис. 3. Амплитудный спектр вибрации бака трансформатора верхней точки фазы *A*

По результатам анализ работ А.Н. Тюрина, А.В. Гавриленко, А.П. Долина [4], можно сделать вывод, что спектры вибрации бака трансформатора включают в себя от двух до десяти информативных частот. Трансформатор, находящийся в хорошем техническом состоянии, будет содержать в себе три амплитудных пика на частотах 100, 300 и 500 Гц. Пик на частоте 100 Гц появляется в результате магнитострикции в магнитопроводе и воздействия электродинамических сил на обмотку. Пики вибрационного спектра на частотах 300 и 500 Гц появляются вследствие воздействия насыщения ферромагнитного сердечника трансформатора [4].

В зоне частот, меньших 100 Гц, сосредоточены в основном вибрации, вызванные собственными резонансными колебаниями элементов конструкции бака. Вибрации с частотами выше 1000 Гц, сильно затухают в масле, поэтому полезная для контроля технического состояния информация в этой зоне, как и в зоне частот, менее 100 Гц, отсутствует [4].

Присутствие в амплитудном спектре пиков на других частотах в диапазоне от 100 Гц до 1000 Гц не поддается систематизации. Это связано с различием между конструкциями трансформаторов, различной жесткостью корпуса бака, разницей токовых параметров сторон ВН и НН, наличием РПН и т. д. [5].

Для установления взаимосвязи (корреляции) проведен анализ измеренных сигналов в разработанном программном обеспечении в среде графического программирования LabVIEW 13.0.

В качестве эталонного амплитудного спектра принят спектр, сформированный из спектров сигналов, полученных в 6 точках (см. рис. 2). Внешний вид эталонного спектра представлен на рис. 4.

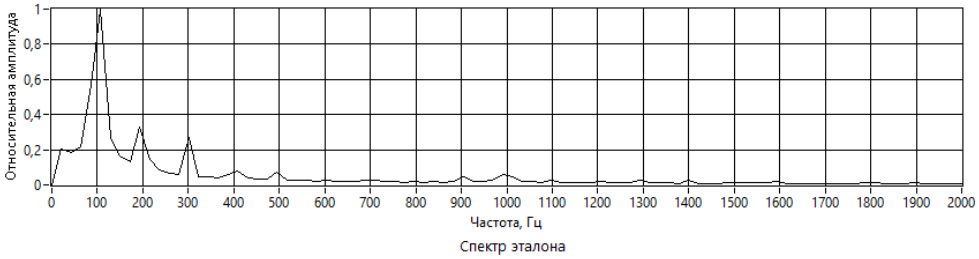


Рис. 4. Эталонный амплитудный спектр

Произведено сравнение 6 спектров виброскорости с эталонным в информативном диапазоне частот от 100 Гц до 1000 Гц с использованием характеристики сравнения «коэффициент корреляции»:

$$r = \frac{\sum a_i a_{si} - \left(\sum a_i \sum a_{si}\right)/n}{\sqrt{\left(\sum a_i^2 - \left(\sum a_i\right)^2/n\right)\left(\sum a_{si}^2 - \left(\sum a_{si}\right)^2/n\right)}},$$

где a_i – амплитуда на i-й частоте текущего спектра; a_{si} – амплитуда на i-й частоте эталонного спектра; n – количество частот в спектре, сравниваемых с эталоном.

Результаты сравнения приведены на рис. 5.

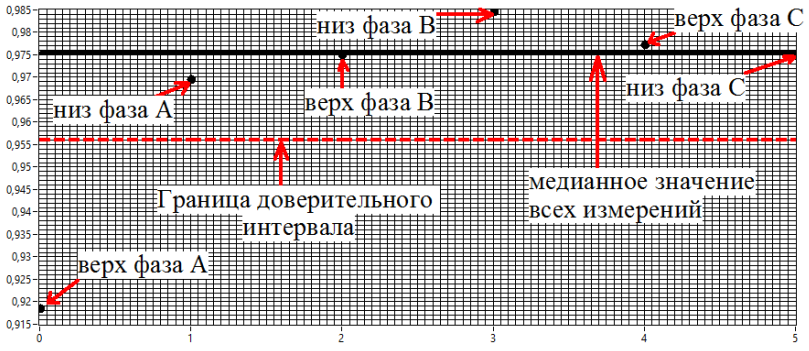


Рис. 5. Сравнение коэффициентов корреляции амплитудных спектров в каждой точке измерений с эталонным спектром

Значения целевой функции «коэффициент корреляции» для всех точек, кроме верхней точки фазы *A*, находится выше минимального значения доверительного интервала $r = 0{,}956$, построенного с уровнем доверительной вероятности 0,95, что говорит о допустимом уровне опрессовки обмоток трансформатора. Значение коэффициента корреляции верхней точки фазы *A* $r = 0{,}919$, ниже границы доверительного интервала, что говорит о возможной распрессовки верхней части обмотки фазы *A*.

Таким образом, в результате проделанной работы:

– разработан ЛКИК для бесконтактного вибрационного контроля уровня опрессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора;

– разработано программное обеспечение ЛКИК на основе программной среды LabVIEW для обработки и анализа вибрационных сигналов силового трансформатора.

Источники

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. Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния электротехнического оборудования / М.Ф. Низамиев [и др.] // Электрика. 2015. № 6. С. 18–25.

3. Программный комплекс для экспресс-контроля корпуса турбокомпрессора газового двигателя КАМАЗ / М.Ф. Низамиев [и др.] // Исследование, конструирование и технология изготовления компрессорных машин: матер. докл. X Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов. Казань, 2014. С. 94–95.

4. Гавриленко А.В., Долин А.П. Система контроля качества опрессовки обмоток и стали трансформаторов по замерам вибрации, контроль состояния маслонасосов: руководство по эксплуатации. Пермь, 2015. 60 с.

5. Басенко В.Р., Низамиев М.Ф. Анализ вибрационных сигналов силового трансформатора с применением лазерного измерительно-диагностического комплекса // Энергия – 2020: матер. 15-й Всерос. (7-й Междунар.) науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. 2020. Т. 3. С. 26.

УДК: 637.124: 631.3

КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ПРОГРАММЕ MATLAB НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Н.Н. Богачевский[1], А.К. Гущина[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]laleg981@mail.ru, [2]nastasia15111998@mail.ru
Науч. рук. Н.В. Денисова

Построена модель системы электроснабжения металлургического завода в программе MATLAB, описана методика исследования, опирающаяся на пакет программ MATLAB, обзор всех блоков библиотеки Simulink/SimPowerSystems, из которых собирается модель электроснабжения и отражен анализ графиков мощностей, токов, напряжений, до и после подключения конденсаторных батарей.

Ключевые слова: Компенсация реактивной мощности, MATLAB, Simulink/ SimPowerSystems.

Модель системы электроснабжения металлургического завода (рис. 1) включает в себя: *1* – источник напряжением 10 кВ (Source); *6* – два блока 3ph Transformer 10/0.4 кВ, мощностью 8 МВА; *7* – 3ph RL Load, группы активно-индуктивной нагрузки на каждой секции шин; *8* – 3ph C Load компенсирующей установки (КУ) и двух условных секций шин. Для сбора данных используются: *3* – блоки Three-Phase V-I Measurement (трехфазный измерительный блок для мгновенного трехфазного напряжения и тока в цепи); *2* – Power 3ph, Instantaneous (вычислитель мгновенной трехфазной реактивной и активной мощности); *5* – осциллограф. Для реализации трехфазного высоковольтного выключателя и автоматического выключателя используется блок *2* – Breaker, где открытие и закрытие управляется таймером [1].

В принципиальных схемах для электроприемников 1-й категории используются две секции шин с секционным выключателем для взаимного резервирования, в представленной модели системы электроснабжения данное условие не реализовано по причине отсутствия функциональной необходимости для обеспечения работы схемы. Блок Powergui является графическим скриптом для вывода графического интерфейса при использовании пакетов Simulink или SimPowerSystems. Не имеет ни входов, ни выходов. В блок поступают все данные о модели и о результатах моделирования [2].

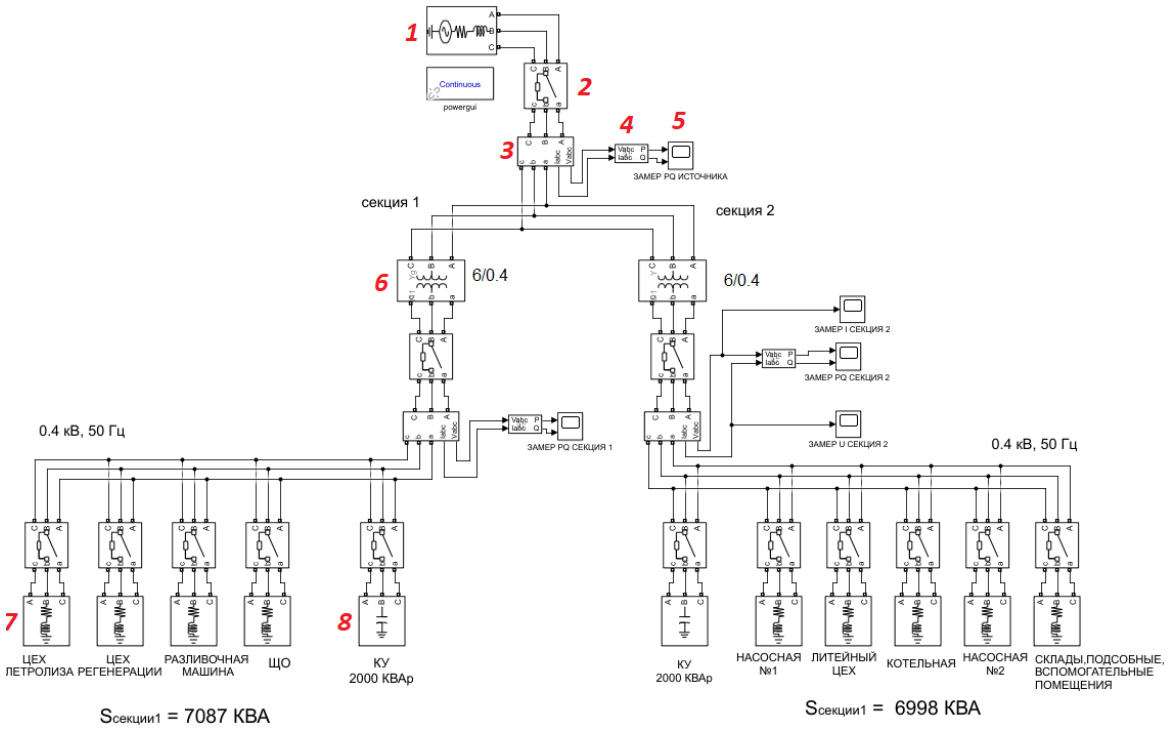
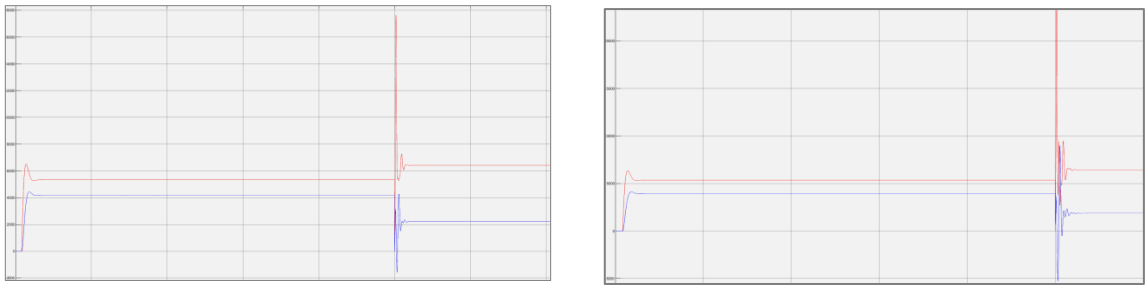


Рис. 1. Модель системы электроснабжения металлургического завода

Численные значения напряжений, активных и реактивных мощностей взяты из моей ВКР. Моделирование начинается с заданием значения напряжения в блоке Source. В блоках Breaker выставляются одинаковые значения таймера, включения всех нагрузок, за исключением двух блоков подведенных к блоку 3ph C Load т.е. к блоку КУ [3]. Для этих блоков устанавливаются более позднее значения таймера для более наглядного результата изменения мощности до и после компенсации. В блоке Load RLC и Transformer выставляем полученные нагрузки в ходе расчета электроснабжения значения. В Блок 3ph C Load выставляем полученное значение емкости [4].

Запускаем программу и оцениваем данные полученные в окне осциллографа. Из графика, представленного на рис. 2, видно, что в установившемся режиме активная мощность составляет 5,64 МВт, а реактивная – 4,12 МВАр. Полная мощность составляет 6,99 МВА, что совпадает с расчетным значением. После подключения КУ в устранившемся режиме значение активной мощности на графике выросло до 6,23 МВт, а реактивная снизилась до 2,1 МВАр при практически неизменной полной мощности [5]. Провода/кабели разгружены от реактивной составляющей тока, пропускная способность линии увеличена, что говорит нам о работоспособности модели. Значения мощностей на 1 секции шин представлены

на рис. 3. Генератор до компенсации генерирует больше реактивной мощности, чем активной, после компенсации наоборот. Значения генерируемой мощности на источнике представлены на рис. 4.



а *б*

Рис. 2. Значения *P* и *Q* до и после компенсации на 2 секции шин (*а*) и на 1 секции шин (*б*)

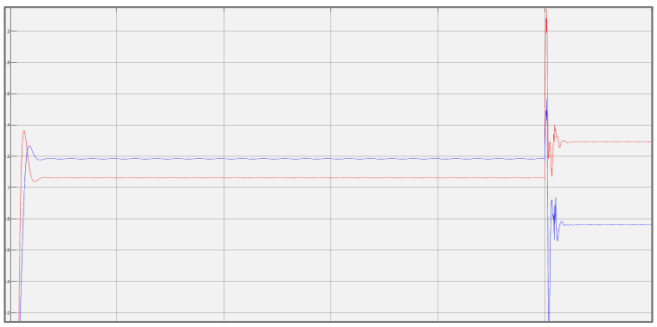


Рис. 4. Значение генерируемой мощности на источнике

Вследствие подключения КУ произошел бросок мощности при зарядке конденсаторных батарей, который составил около 18 МВт. Внешний вид переходного процесса представлен на рис. 5. После компенсации значение напряжение увеличилась на 15 В, а ток уменьшился на 1 А. Изменения токов и напряжений вследствие броска мощности и после компенсации представлены на рис. 6–9.

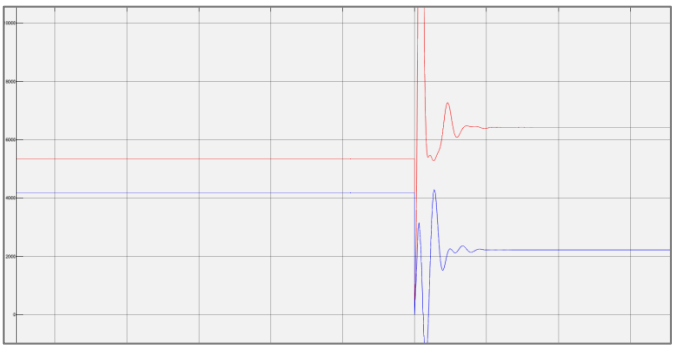


Рис. 5. Внешний вид переходного процесса при подключения КУ

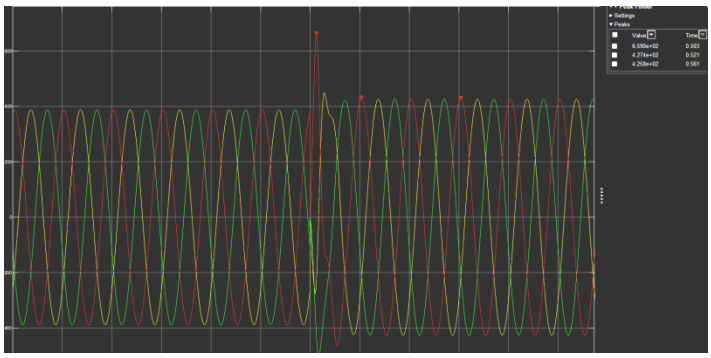


Рис. 6. Внешний вид напряжения до и после подключения КУ

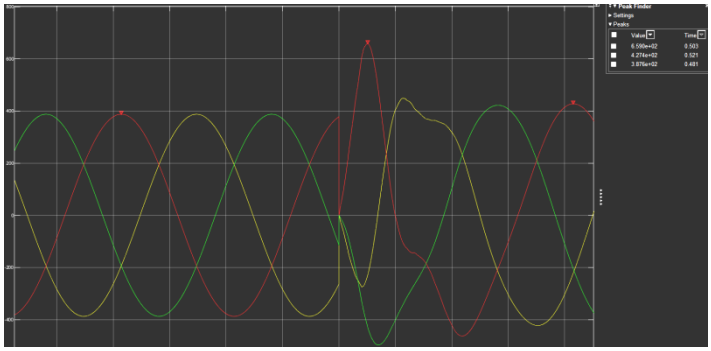


Рис. 7. Детальный вид напряжения до и после подключения КУ

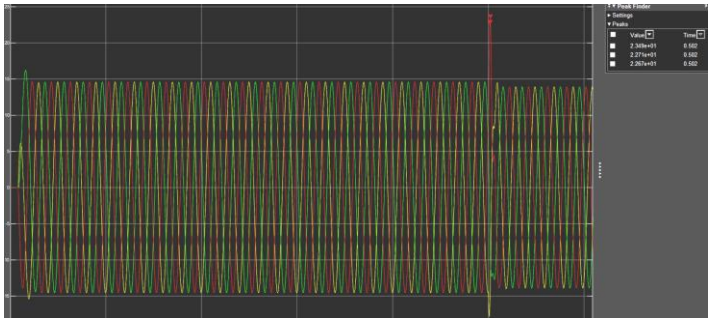


Рис. 8. Внешний вид тока до и после подключения КУ

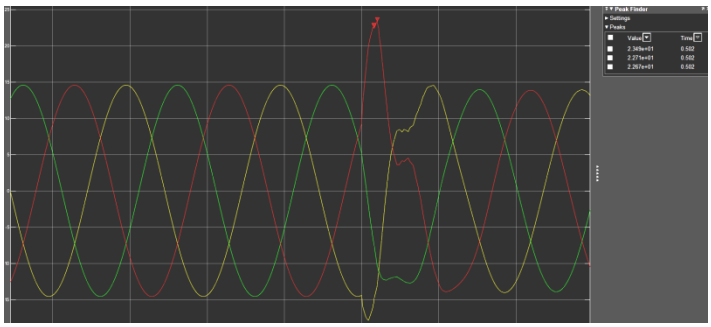


Рис.9. Детальный вид тока до и после подключения КУ

Источники

1. Семенова М.Н., Заголило С.А. Моделирование системы электроснабжения главной вентиляторной установки рудника при компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 3-8. URL: http://eduherald.ru/ru/article/view?id=18766 (дата обращения: 01.03.2021).

2. Бастрон А.В., Коровайкин Н.В., Костюченко Л.П. Компенсация реактивной мощности в автономной системе электроснабжения летней дойки от микроГЭС // Ползуновкий вестник. 2011. № 2/1. С. 66–70.

3. Михайлов В.В., Позднов М.В. Математическое моделирование параллельного компенсатора мощности // Технические науки в России и за рубежом: матер. II Междунар. науч. конф. М., 2012. С. 69–74.

4. Радионов А.А., Маклаков А.С. Компенсация реактивной мощности в сети с помощью активного выпрямителя напряжения [Электронный ресурс]. URL: http://esik.magtu.ru/doc/2013-21/226-231.pdf (дата обращения: 04.02.2021).

5. «Активная, реактивная и полная (кажущаяся) мощности» [Электронный ресурс]. URL: https://khomovelectro.ru/articles/aktivnaya-reaktivnaya-i-polnaya-kazhushchayasya-moshchnosti.html (дата обращения: 04.02.2021).

УДК 621.311

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА НА ПАРАМЕТРЫ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Р.У. Галеева[1], К.Ю. Беляков[2]
[1] ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]raisa_gal.52@mail.ru, [2]belyakov.kamil@mail.ru

Влияние множества факторов на параметры двухцепных воздушных линий неоднозначно. Поэтому идентификация параметров воздушных линий в схемах замещения применительно к фактическим условиям функционирования линии позволит повысить точность выбора уставок релейной защиты в аварийных режимах. В тезисе приведена оценка влияния такого фактора как влажность грунта по трассе на параметры схемы замещения многопроводных линий электропередач, позволившая выявить наиболее изменяющиеся параметры.

Ключевые слова: двухцепная воздушная линия, многопроводная схема замещения, матрица сопротивлений, взаимоиндукция, удельное сопротивление грунта, влажность.

Приоритетным направлением развития электроэнергетики является переход к цифровым активно-адаптивным сетям с распределенной интеллектуальной системой автоматизации и управления, которая требует выбора параметров устройств релейной защиты и автоматики (РЗиА) адаптированных к различным факторам неопределенности [1]. К одному из таких факторов можно отнести влажность грунта по трассе, которая оказывает влияние на параметры двухцепных воздушных линий (ДВЛ). Расчетные уставки РЗиА, выставленные на устройствах микропроцессорных реле без учета фактических условий функционирования ДВЛ, не всегда являются корректными и могут привести к ложному ее срабатыванию.

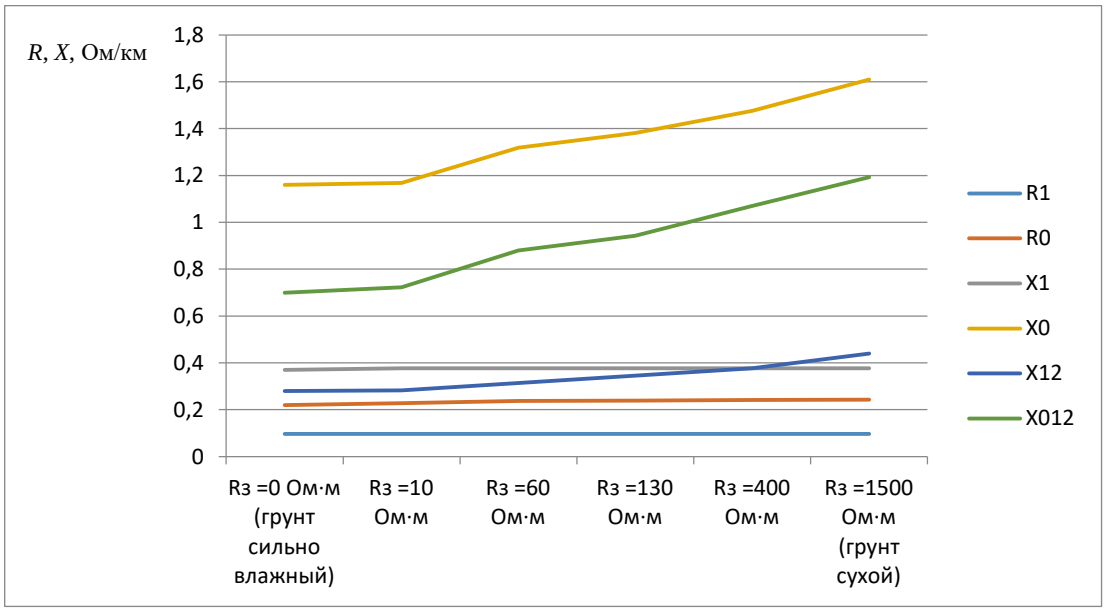
Параметры ДВЛ используются алгоритмами многих устройств релейной защиты и автоматики, правильное их определение необходимо для обеспечения корректного функционирования систем РЗиА. При определении продольных и поперечных параметров ДВЛ часто используют усредненные данные, которые принимаются неизменными. При этом РЗиА могут функционировать некорректно, если их уставки не отражают реального состояния контролируемой линии. Параметры ДВЛ при учете геометрии сети в многопроводных схемах замещения (МСЗ) требует ввода удельного сопротивления грунта $R_з$ [2]. Одним из значимых факторов, влияющего на величину $R_з$, является влажность [2]. Максимальная влажность почвы соответствует минимальному омическому сопротивлению грунта, что является критическим фактором при проектировании систем заземления и РЗиА [3]. В работе проведен анализ влияния влажности грунта на параметры МСЗ воздушной линии и периодическую составляющую тока короткого замыкания (ТКЗ).

В качестве тестируемой модели была рассмотрена сеть с ДВЛ со следующими параметрами: частота 50 Гц; длина 25 км, провод марки АС-300/39; напряжение 110 кВ; тип опоры П220-2; расположение проводов в виде шестиугольной «бочки». Для анализа использовались сопротивления для одного типа грунта (песок) $R_з$ при различной влажности: сильно увлажненный грунтовыми водами $R_{з1}$ = 10…60 Ом·м; умеренно увлажненный $R_{з2}$ = 60…130 Ом·м; влажный $R_{з3}$ = 130…400 Ом·м; слегка влажный R_4 = 400…1 500 Ом·м; сухой $R_{з5}$ = 1500…4200 Ом·м; супесь $R_{з6}$ = 150 Ом·м.

Моделирование тестируемой ДВЛ проводилось в программном комплексе Matlab Simulink с использованием встроенной утилиты Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters методом фазных координат (МФК). Электромагнитная составляющая МСЗ была сформирована в виде матрицы Z активно-индуктивных собственных и взаимных сопротивлений, а электростатическая – в виде матрицы собственных и взаимных емкостных составляющих B [4].

Для формирования матричного уравнения состояния аварийного режима ДВЛ использовалось табличное представление полной МСЗ. Проведен анализ полученных экспериментальных результатов.

Данные результатов моделирования позволяют сделать выводы о степени и характере влияния степени влажности грунта. Наиболее существенные вариации претерпевают собственные, взаимные индуктивные сопротивления нулевой последовательности X_0, X_{012} (13,8 %) и сопротивление взаимоиндукции прямой последовательности между фазами B и A, B и C: $X_{12} = X_{BA} = X_{BC}$ (см. рисунок).



Зависимость параметров ДВЛ 220 кВ от влажности грунта по трассе:
$R1$, $R0$ – активные сопротивления прямой и нулевой последовательности;
$X1$, $X0$ – реактивные сопротивления прямой и нулевой последовательности;
$X12$, $X012$ – сопротивления взаимоиндукции прямой и нулевой последовательностей

С уменьшением влажности грунта по трассе ДВЛ при расположении проводов - шестиугольное «бочкой» наиболее существенно изменяется сопротивление нулевой последовательности. Увеличение его составило 57,1 %; сопротивление взаимоиндукции увеличилось на 38,2 %.

Изменения этих параметров существенно и ими нельзя пренебрегать. Однако следует заметить, что при трехфазном КЗ в ДВЛ влияние влажности грунта незначительно, по сравнению с влиянием геометрических характеристик многопроводной линии.

Источники

1. Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. М., 2016. 320 с.

2. Галеева Р.У., Назаров А.В., Хасаншин А.А. Влияние электромагнитных связей между проводами двухцепной воздушной линии и поверхностью земли на переходные режимы // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, № 1. С. 67–76.

3. Авдеюк Д. Н. Влияние климатических факторов на изменение параметров линии электропередачи // Молодой ученый. 2019. № 48. С. 32–35.

4. Галеева Р.У., Беляков К.Ю. Исследование влияния фазировки многопроводных линий электропередач на симметричный аварийный режим // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2020. Т. 1. С. 167–174.

УДК 621.398

ДИАПАЗОНЫ ВАРИАЦИИ ТОКА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В ВОЗДУШНОЙ СЕТИ 10 КВ С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЦЕПЕЙ

Р.У. Галеева[1], А.И. Муллагалиев[2] , Г.Д. Давлитова[3]
[1] ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]raisa_gal.52@mail.ru, [2]mullagaliev960@gmail.com, [3]davlitovagulzira0209@gmail.com

Однофазные замыкания на землю в распределительных сетях 10 кВ являются расчетным режимом при проектировании систем релейной защиты реклоузеров. Выбор расчетной модели соответствующей фактической сети позволит избежать ложного срабатывания токовых защит нулевой последовательности. В работе проведена оценка вида расположения цепей в распределительной сети на ток однофазного замыкания на землю.

Ключевые слова: ток замыкания на землю, схема расположения цепей, среднегеометрическое расстояние, реклоузер, воздушная линия

Применение реклоузеров в сельских и районных распределительных сетях с воздушными линиями (ВЛ) 10 кВ в настоящее время находит все большее применение, что позволяет оптимизировать работу оперативно-диспетчерского персонала, создать управляемые распределительные сети нового поколения. В вакуумном реклоузере PBA/TEL реализовано программное обеспечение TELUS, дающее возможность пользователю изменять токовые уставки защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) [1]. Благодаря этому реклоузер может использоваться как для выполнения простых защитных функций, так и сложных алгоритмов автоматизации распределительных сетей 10 кВ.

С другой стороны особенностью сельских распределительных сетей с ВЛ является их значительная длина, отсутствие транспозиции проводов, большие сопротивления, малые расстояния между фазными проводами, различное расположение фазных проводов на опоре. Эти факторы приводят к несимметрии параметров и при малых токах ОЗЗ в сетях с изолированной нейтралью в сети появлению тока нулевой последовательности. Величина аварийного тока определяется суммарной ёмкостью линии, которая в свою очередь зависит от конфигурации сети [2, 3]. Для определения влияния параметров контура нулевой последовательности на рабочие сигналы токовых защит от ОЗЗ, применяемых в электрических сетях 10 кВ с изолированной нейтралью необходимо установить диапазоны их вариации.

Емкостная проводимость трехфазной воздушной линии определяется по формуле [4]:

$$b_0 = \omega C_0 = \frac{7{,}58}{\lg \frac{2a_{\text{ср}}}{d}} 10^{-6},\ 1/\text{Ом} \cdot \text{км},$$

где C_0 – фазная рабочая емкость линии; ω — угловая частота переменного тока; $a_{\text{ср}}$ – среднее геометрическое расстояние между осями проводов, см; d – наружный диаметр проводов, принимаемый по таблицам ГОСТ на провода, см.

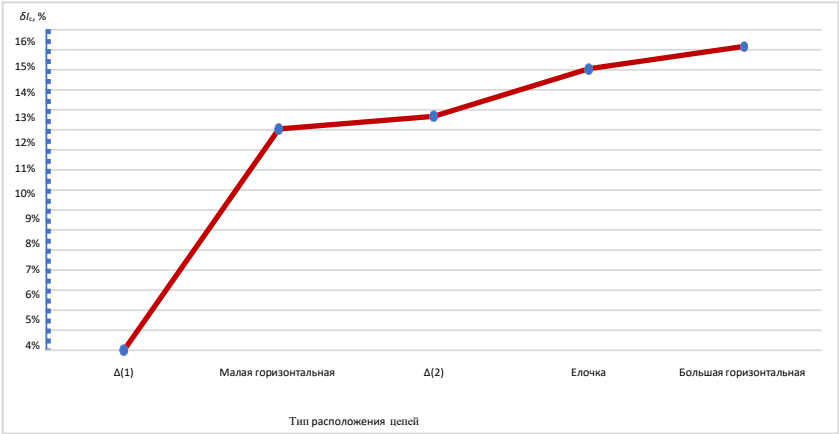
В качестве тестируемой модели была рассмотрена современная воздушная сеть 10 кВ, выполненная проводом АС-70, длиной 5 км с различным расположением проводов: по вершинам равностороннего треугольника (Δ); горизонтальным и в виде «елочки» на одностоечных промежуточных опорах типа Пс10-13, ПС10ПИ и ПС10П при различных расстояниях между фазами [5].

Целью исследования является анализ влияния геометрических параметров ВЛ на значение тока ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью 10 кВ. Результаты расчетов приведены в таблице.

На рисунке показана зависимость тока ОЗЗ в именованных единицах от схем расположения проводов на опоре.

Итоговые результаты расчета тока ОЗЗ при различных схемах расположения проводов на опоре

Расположение проводов	Расстояние между фазами, мм			Среднегеометрическое расстояние, мм	Удельная фазная емкость	Ток ОЗЗ
	a_{AB}	a_{AC}	a_{BC}	$a_{ср}$	C_0, мкф/км	$I_{ОЗЗ}$, мА
Δ(1)	400	400	400	400,00	0,00546	85,69
Малое горизонтальное	550	550	1 100	692,96	0,00485	76,22
Δ(2)	580	580	1 100	717,93	0,00482	75,68
«Елочка»	500	1000	1 120	824,26	0,00469	73,65
Большое горизонтальное	700	700	1 400	881,94	0,00463	72,70



Зависимость вариации токов ОЗЗ в зависимости от схем расположения проводов на опоре, %

Проведенные исследования с использованием модели ВЛ по геометрическим характеристикам показали, что вариации тока ОЗЗ в ВЛ с изолированной нейтралью составляют более 16 %, что является значительной величиной при их малых именованных значениях в классе напряжений 10 кВ. Учет геометрических характеристик ВЛ позволит повысить чувствительность токовых защит от ОЗЗ.

Источники

1. Реклоузер вакуумный серии PBA/TEL. Российская группа компаний Таврида Электрик. Техническое описание. Изменение № 6. ТШАГ 674153.101 ТО, Москва. 2016.

2. Галеева Р.У., Беляков К.Ю. Исследование влияния фазировки многопроводных линий электропередач на симметричный аварийный режим // Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. Казань, 2020. Т. 1. С. 167–174.

3. СТО ДИВГ-059-2017. Релейная защита распределительных сетей 6–10 кВ. Расчет уставок: метод. указания. СПб., 2017. 74 с.

4. «Схемы замещения воздушных линий электропередач» [Электронный ресурс]. URL: https://extxe.com/21732/shemy-zameshhenija-vozdushnyh-linij-jelektroperedachi/ (дата обращения: 11.02.2021).

5. Опоры стальные [Электронный ресурс]: каталог. URL: https://www.elsi.ru/stalnye-opory-lep/opory-dlya-vl-10-kv/ (дата обращения: 11.02.2021).

УДК 621.311.42

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 35/6(10) кВ

А.Р. Галяутдинова[1], О.В. Владимиров[2], М.Ф. Низамиев[3], И.К. Усманов[4]
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]Alsu296@ya.ru, [2]ovladimirov2011@yandex.ru, [3]marat.nizamiev.90@mail.ru
Науч. рук. И.В. Ившин

Разработана структурная схема комплекса для измерения и экспресс-анализа трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ. Проведение экспресс-анализа технического состояния трансформаторной подстанции позволит перейти к организации технического обслуживания и ремонта основного энергетического и электротехнического оборудования трансформаторной подстанции по фактическому состоянию.

Ключевые слова: техническое состояние, мониторинг, оборудование, экспресс-анализ, диагностика, неисправность, ремонт, трансформаторная подстанция.

Современное электротехническое оборудование имеет достаточно высокие показатели надежности. В процессе эксплуатации под воздействием различных режимов работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается эксплуатационная надежность и увеличивается вероятность возникновения отказов. Разработка и внедрение системы мониторинга и экспресс-анализа технического состояния оборудования подстанций, которая обеспечит процесс удаленного наблюдения действующего оборудования, прогнозирования изменения технического состояния на основе собранных данных, является актуальной задачей [1].

Систему экспресс-анализа основного оборудования подстанции предлагается рассмотреть на основе действующей трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ. По результатам анализа нормативных документов, определяющих нормы, границы и диапазоны изменения параметров, для реализации мониторинга и экспресс-анализа технического состояния ПС был определен примерный перечень диагностических параметров. Для проведения экспресс-анализа технического состояния силовых трансформаторов выбраны такие параметры, как анализ частичных разрядов; регистрация температурных режимов работы [2]; контроль влагосодержания в масле бака; контроль вибрационных характеристик [3]; хроматографический анализ газов Экспресс-анализ технического состояния выключателей предлагается проводить с использованием следующих параметров: контроль работы привода выключателя; анализ разновременности работы главных контактов по фазам; контроль технологических параметров выключателя; контроль температуры вводов. Для реализации мониторинга состояния ОПН были определены следующие параметры: анализ спектрального состава тока утечки; регистрация и суммирование энергии импульсов, прошедших через ОПН. Для определения технического состояния разъединителей выбран параметр – контроль температуры. Наиболее эффективно экспресс-анализ в высоковольтных кабельных линиях осуществляется при использовании метода оперативной регистрации и анализа частичных разрядов в изоляции. По результатам анализа всех диагностических параметров формируется итоговое заключение, определяющее текущее техническое состояние всего оборудования.

С целью регистрации диагностических параметров, описанных выше, определен перечень оборудования и датчиков для мониторинга технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ (см. таблицу).

Для приема, хранения и первичной обработки диагностической информации, полученной от датчиков и КИП системы мониторинга на трансформаторной подстанции 35 кВ выбраны отечественные универсальные контроллеры Wiren Board 6 с 2 модулями расширения RS485-ISO. Количество портов и поддерживаемых интерфейсов, удобный веб-интерфейс позволяют использовать его как центральный контроллер совместно с беспроводными и проводными устройствами других производителей. Передача обработанной диагностической информации с ША ВСС на автоматизированные рабочие места осуществляется через установленный на трансформаторной подстанции шкаф ШФК-МТ. Для этого организуется канал связи между ША и ШФК-МТ на основе интерфейса Ethernet [4].

Предварительный перечень оборудования

Наименование оборудования	Кол-во
TDM-S	1
WDM - приемный блок сигналов беспроводных датчиков	1
ОПН-Датчик-2	3
RST6514R: считыватель пассивные датчики температуры	 3 7
Датчики вибрации ИВД-3Ц-3	6
Сигнализатор уровня газа INTELLIX GLA 100	1
BDM – главный блок BDM/CB BDM/PD	1 1 1
CDM-15	1
Контроллер Wiren Board 6 Модуль расширения RS485-ISO	1 1

С целью реализации системы мониторинга организована передача основной диагностической информации и информации самодиагностики системы из трансформаторной подстанции на web-сервер КГЭУ (рис. 1, 2).

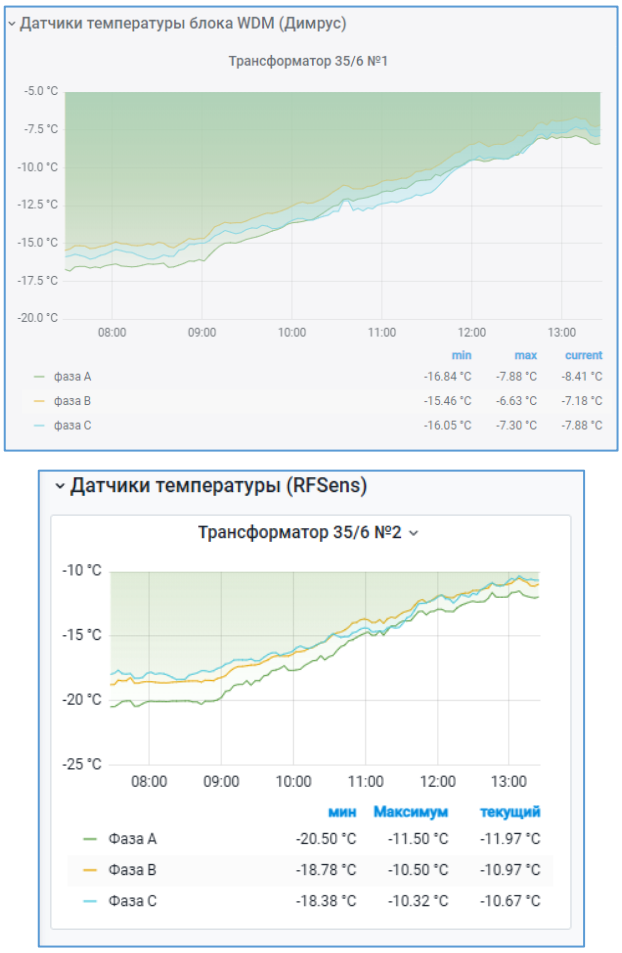


Рис. 1. Датчики температуры, установленные на трансформаторах № 1 и № 2

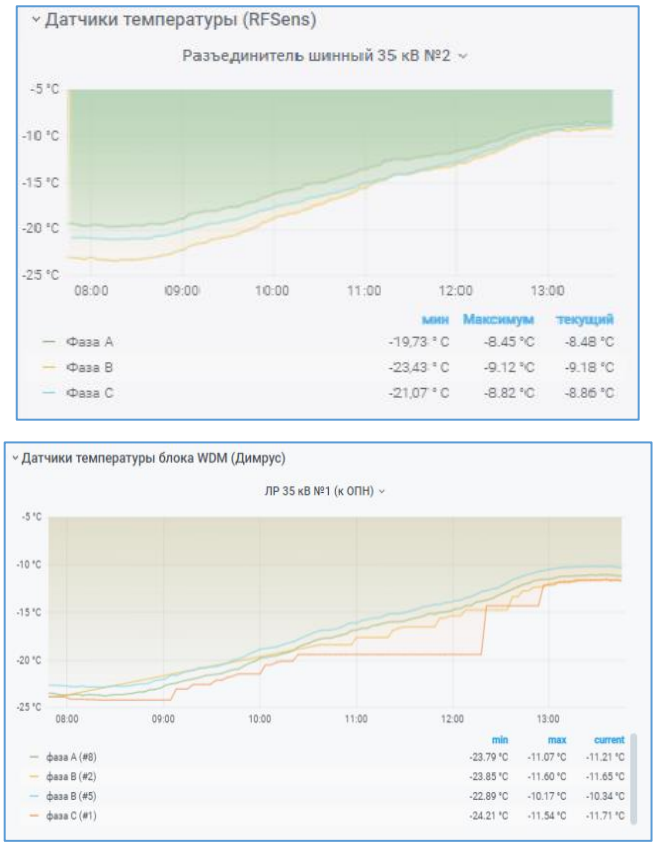


Рис. 2. Показания с датчиков разъединителей

На рис. 3 представлена структурная схема комплекса для регистрации параметров и проведения экспресс-анализа технического состояния трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ.

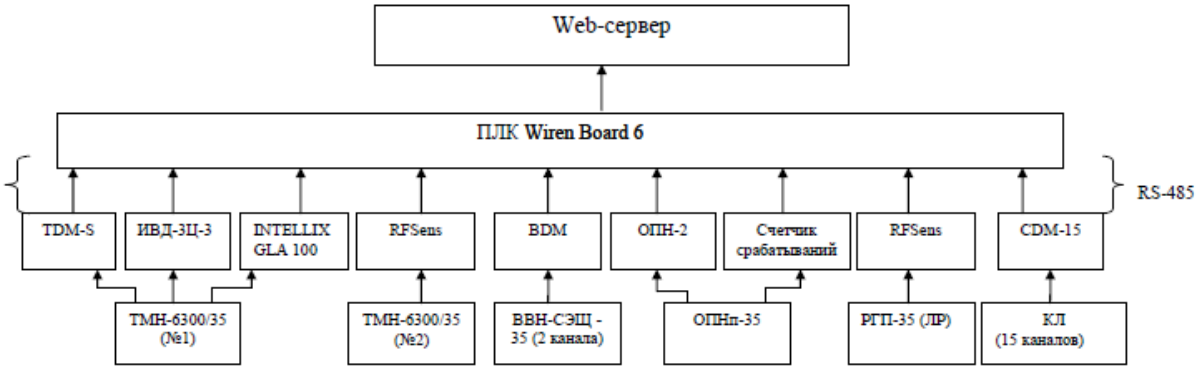


Рис. 3. Структурная схема комплекса для измерения и экспресс-анализа

Таким образом, внедрение системы мониторинга и экспресс-анализа технического состояния оборудования подстанции, позволяют проводить дистанционное обследование оборудования в процессе эксплуатации

и установить связи между различными параметрами, оценить техническое состояние трансформаторной подстанции комплексно, основываясь на полученных данных со всех КИП.

Источники

1. Оценка работоспособности трансформаторной подстанции по результатам экспресс-мониторинга ее элементов / И.В. Ившин [и др.] // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Нац. науч.-практ. конф. Казань, 2020. Т. 2. С. 33–35.

2. Исследование работоспособности и качества функционирования трансформаторного оборудования электротехнических систем / А.Р. Денисова [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 3. С. 23–35.

3. Vibration Method for Monitoring the Technical Condition of Support-Rod Insulators Using Non-Contact Laser Vibrometry Method / I.V. Ivshin [et al.] // Proc. of the 14th International Scientific Technical Conference on Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE). Novosibirsk, 2018. Vol. 1, Is. 5. Pp. 320–325.

4. Automated Diagnostic System for Power Transformers using a QR Code / N.V. Rozhentcova [et al.] // International Journal of Technology. 2020. Is. 11 (8). Pp. 1519–1527.

УДК 622.276

УТИЛИЗАЦИЯ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА

А.К. Гущина[1], Н.Н. Богачевский[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]nastasia15111998@mail.ru, [2]laleg981@mail.ru

Науч. рук. Н.В. Денисова

Раскрыта актуальная на данный момент времени проблема экологического характера связанная с загрязнением окружающей среды посредством выброса отравляющих веществ при сжигании ПНГ. Представлены способы полезного использования данного ресурса.

Ключевые слова: Попутный нефтяной газ (ПНГ), газопоршневая электростанция (ГПЭС), полезное использование, выработка энергии.

Как известно, в процессе добычи продуктов нефти и газа из недр извлекаются не только углеводородные примеси и не только жидкие углеводородные компоненты, но и попутный нефтяной газ (ПНГ). ПНГ – это газ, растворенный в нефти. Он состоит из тяжёлых компонентов: этана, пропана, бутана и других, и более легких углеводородов, прежде всего из метана [1]. Для того, чтобы нефть соответствовала товарным стандартам необходимо отделить от нее ПНГ. Утилизация попутного газа требует создания дорогостоящего оборудования, поэтому долгое время эту проблему решали самым дешевым способом – за счет сжигания ПНГ в факелах на месторождениях, что наносило серьезный ущерб окружающей среде. Среди основных способов полезной утилизации ПНГ – разделение его на компоненты: сухой отбензиненный газ и широкую фракцию легких углеводородов (ШФЛУ) – ценное сырье для нефтехимии [2]. Принцип такого разделения показан на рис. 1.

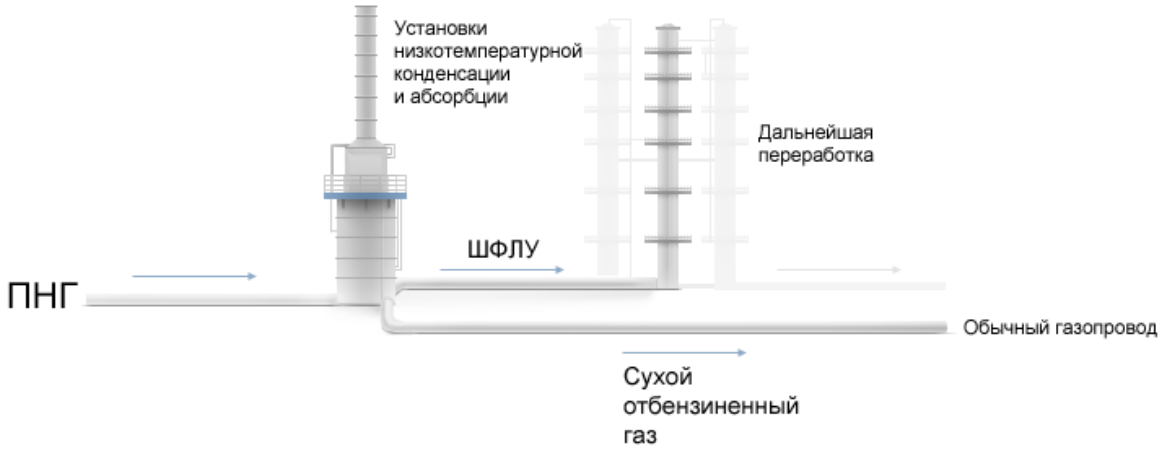


Рис. 1. Разделение ПНГ на компоненты

Очищенный и специально подготовленный ПНГ может закачиваться обратно в нефтеносный пласт при помощи компрессорных станций. При этом происходит откладывание решения проблемы ПНГ на будущее до появления ресурсов или технологических решений, которые позволят эффективно перерабатывать ПНГ. Этот метод условно можно охарактеризовать как экологически нейтральный. Небольшие объемы ПНГ (порядка 5 % от природного газа) могут быть закачаны в газотранспортную систему (ГТС) для последующей продажи потребителям в составе природного газа. Кроме того, попутный нефтяной газ активно используется как топливо для газопоршневых электростанций, обеспечивающих энергией промыслы. Примеры полезного использования ПНГ представлены на рис. 2.

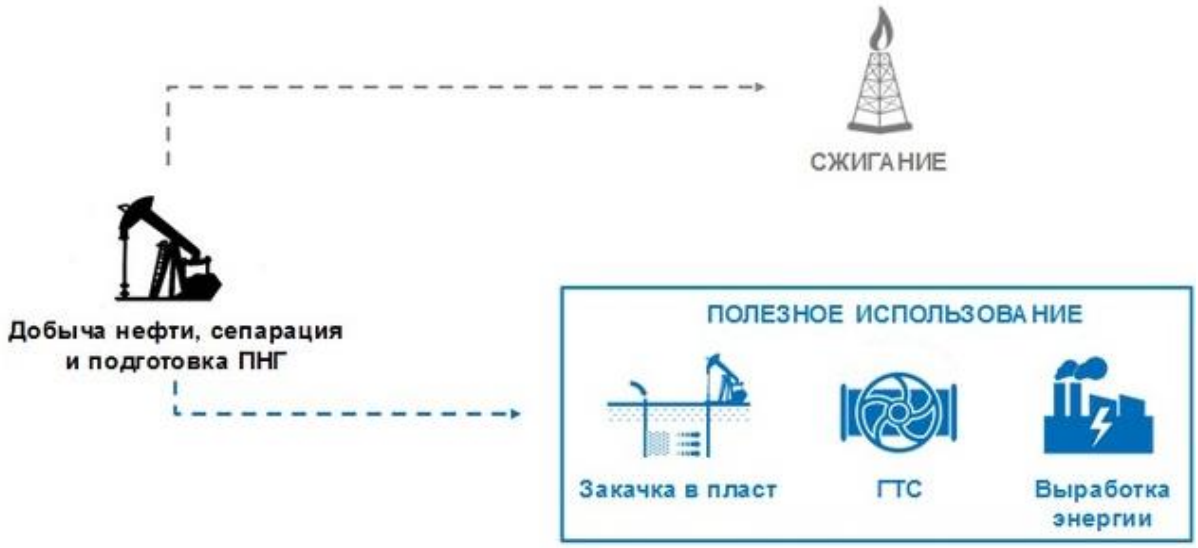


Рис. 2. Технологии утилизации ПНГ

За актуальностью проблемы утилизации попутного нефтяного газа стоят как социальные, так и экономические причины: с одной стороны, сжигание ПНГ в факелах дает около 1 % всех мировых выбросов парникового углекислого газа, с другой – это безвозвратные потери ценных невозобновляемых ресурсов. При этом нефтяные компании не только теряют возможную прибыль, но и платят многомиллионные штрафы за загрязнение окружающей среды [3].

Для решения сразу нескольких проблем предлагают использовать попутный нефтяной газ в автономных электростанциях. Автономные газопоршневые электростанции можно рекомендовать для применения в самых различных отраслях экономики: для частных владений, в ЖКХ, строительстве, на промышленных предприятиях, в индустриальных парках, на мусорных полигонах, в аграрном секторе, тепличных хозяйствах и нефтегазовой промышленности. Работа котла контролируется электрозависимой котловой автоматикой [4]. Так как ПНГ имеет очень коррозионно-агрессивную, кислую, сероводородную среду, и трубы из обычных металлов и сплавов будут подвержены частому разъеданию и выходу из строя, предлагается заменить классические стальные трубы на трубы из материалов устойчивых к таким условиям, например, сталь 09Г2С [5].

Таким образом, газопоршневая электростанция (ГПЭС) может заменить к примеру угольную электростанцию, которая наносит непоправимый вред окружающей среде, а также утилизировать отходы от процесса сепарации нефти, которые в свою очередь при сжигании отравляют биосферу.

Источники

1. Грачева Е.И., Денисова Н.В., Иванов В.О. Энергосбережение: моногр. Казань: Изд-во КГЭУ, 2012. 295 с.

2. Тетельмин В.В., Язев В.А., Совольянов А.А. Попутный нефтяной газ. Технологии добычи, стратегии использования: учеб. пособие. Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2013. 208 с.

3. Еремкин А.И., Квашнин Ю.И., Юнкеров Ю.И. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: учеб. пособие / под ред. А.И. Еремкина. М.: АСВ, 2000. 176 с.

4. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера: учебно-справочное пособие / под ред. В.Ф. Панина. М.: ИД «Ноосфера», 2001. 284 с.

5. Алиев В.К., Крятова Г.А., Руденко В.В. Рациональное использование попутного нефтяного газа. М.: Инфра-Инженерия, 2002. 124 с.

УДК 621-313.3

ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВОГО ПРОБОЯ

Ю.Н. Ерашова[1], А.И. Вассунова[2], И.И. Ившин[3], А.Н. Тюрин[4]

[1,2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[4]АО «ТАТЭЛЕКТРОМОНТАЖ», г. Казань

[1]yuliya.kostina@mail.ru, [2]anastasiya.v.2001@cmail.com, [3]gruppirovki@bk.ru,

[4]turinal@rambler.ru

Обоснована необходимость применения устройства защиты от дугового пробоя (УЗДП) в электрических сетях до 1 кВ. Рассмотрены методы испытаний на эффективность срабатывания таких устройств на дуговые пробои под конкретные условия сети и рекомендовано наиболее оптимальное оборудование.

Ключевые слова: дуговой пробой, УЗДП, генератор дуги.

С 1 июля 2018 г. на территории Российской Федерации введен в действие стандарт ГОСТ IEC 62606-2016 «Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования» [1]. Стандарт распространяется на защитные устройства от дугового пробоя (УЗДП) бытового и аналогичного назначения, применяемые в цепях переменного тока.

Традиционно в домашних сетях для защиты применяются автоматические выключатели (АВ) и устройства защитного отключения (УЗО). Первые для защиты от перегрузки сети, токов короткого замыкания, а вторые для защиты людей от поражения электрическим током, предотвращения возгораний и пожаров, возникающих вследствие разрушения защитной изоляции проводника [2]. Однако эти устройства неспособны различить отдельные, периодически возникающие искрения и дуговой пробой в электропроводке, так как они не вызывают увеличения тока или его утечки на землю. А ведь дуговой пробой может вызвать в конечном итоге возгорание изоляции и последующий за этим пожар. Вот в этом случае и приходит на помощь третья ступень защиты – УЗДП.

На сегодняшний день в России имеются производители, выпускающие устройства защиты от дугового пробоя: «ЭКОЛАЙТ» (г. Москва), «Электроавтомат» (г. Алатырь), «Меандр» (г. Санкт-Петербург) и др. Несмотря на наличие возможности приобрести УЗДП в свободной продаже на сегодняшний день не разработаны требования, необходимые при проектировании: места установки УЗДП в щитах; количество УЗДП в щитах; характер нагрузки защищаемой УЗДП; предельная мощность защищаемой нагрузки УЗДП; наибольшая удаленность защищаемой нагрузки от УЗДП. Также отсутствуют требования по обслуживанию данного типа устройств в процессе эксплуатации. Для решения этих проблем необходимо провести ряд испытаний под конкретные параметры сети, чтобы понять действительно ли в текущей энергосистеме может иметь место случай, когда УЗДП не будет срабатывать должным образом [3].

Согласно стандарту ГОСТ IEC 62606-2016 «Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования» [1] возможно проведение испытаний при наличии дугового разряда как в воздушной среде (воздушный дуговой пробой – аналог плохого контакта проводников), так и путем проведения дугового разряда теплового характера (специальное предварительное повреждение кабелей высоковольтными импульсами и дальнейшее их включение в цепь 220 В, что в итоге приводит к ее тепловому дуговому пробою и возгоранию при включении в цепь таких проводов). Целесообразнее использовать воздушный дуговой пробой, так как тепловой пробой проводов сложен в подготовке. Таким образом, имеем дуговой пробой при включении в сеть 220 В специального генератора электрической дуги, позволяющего генерировать электрическую дугу в электроустановках. Известен генератор дуги для проведения эмиссионного спектрального анализа вещества

в режиме дуги постоянного тока [4]. Недостатком известного генератора дуги является то, что он работает только в режиме дуги постоянного тока. Это исключает возможность использования генератора для генерирования электрической дуги в электроустановках переменного тока, с последующим применением его для диагностирования аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков.

В настоящее время разработана модель генератора электрической дуги (рис. 1), в котором устранены недостатки прототипа [5].

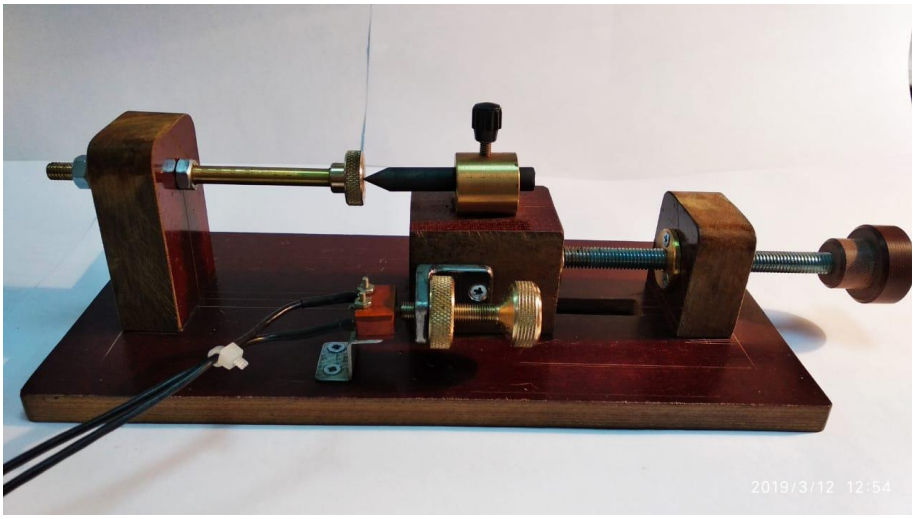


Рис. 1. Генератор электрической дуги

Техническим результатом является генератор электрической дуги, позволяющий генерировать электрическую дугу в электроустановках переменного тока, с последующим применением его для диагностики аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков. Технический результат достигается тем, генератор электрической дуги содержит основание, на котором крепится неподвижный элемент с латунным электродом и съемной насадкой; по основанию перемещается суппорт под воздействием регулировочного привода; на суппорте расположен латунный контактный элемент с вставленным в него угольно-графитовым электродом.

Строение генератора показано на рис. 2. Генератор электрической дуги содержит основание *1*, на котором крепится неподвижный элемент *2* с латунным электродом *3* и съемной насадкой *4*. По основанию *1* перемещается суппорт *5* под воздействием регулировочного привода *8*. На суппорте *5* расположен латунный контактный элемент *6* с вставленным в него угольно-графитовым электродом *7*. Такая конструкция была предложена в [5].

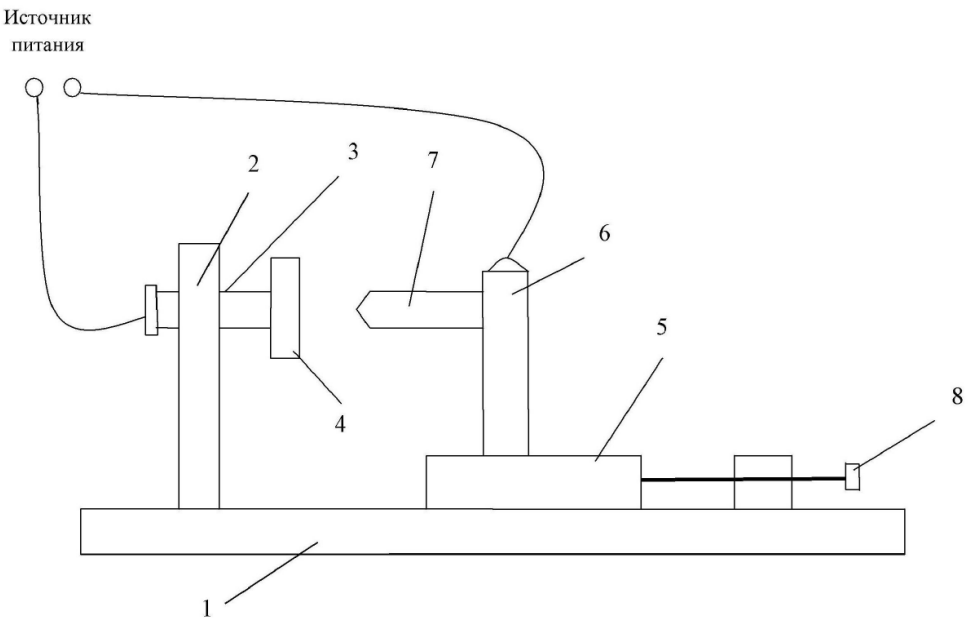


Рис. 2 Строение генератора электрической дуги: *1* – основание; *2* – неподвижный элемент; *3* – латунный электрод; *4* – насадка электрода; *5* – суппорт; *6* – контактный элемент; *7* – угольно-графитовый электрод; *8* – регулировочный привод

Генератор электрической дуги работает следующим образом. В исходном положении регулировочный привод находится в положении, при котором угольно-графитовый электрод *7* примыкает непосредственно к насадке неподвижного электрода *4*. Генератор электрической дуги подключен к источнику переменного напряжения и нагрузке. При разведении электродов с помощью регулировочного привода между подвижным и неподвижным электродом возникает устойчивая электрическая дуга, под воздействием которой происходит проверка аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков.

Преимущество предлагаемого генератора электрической дуги состоит в том, что появляется возможность его использования для генерирования электрической дуги в электроустановках переменного тока с последующим применением его для диагностирования аппаратов защиты от дугового пробоя и искровых промежутков, также генератор можно использовать для исследования процессов протекания электрической дуги в электрических сетях до 1 кВ.

Источники

1. ГОСТ IEC 62606-2016. Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2017. 124 с.

2. Основы государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. Указом Президента Рос. Федерации от 1 января 2018 г. № 2. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 19.02.2021).

3. Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VI Нац. науч.-практ. конф.: в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. ред.) [и др.]. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2020. Т. 1. 453 с.

4. Генератор дуги: пат. 2313079 Рос. Федерация № 2005140182/28; заявл. 23.12.2005; опубл. 20.12.2007, Бюл. № 35.

5. Генератор электрической дуги: п.м. 199462 Рос. Федерация № 2020116974; заявл. 22.05.2020; опубл. 02.09.2020, Бюл. № 25.

УДК 681.518.3

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ SCADA-СИСТЕМ

А.Х. Калайджян[1], А.Н. Цветков[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]230997TEMA@mail.ru, [2]tsvetkov9@mail.ru

Поставлена проблема организации диспетчеризации в системах электроснабжения, и в качестве решения проблемы рассматривается SCADA-система. Описаны структура SCADA-систем, преимущества внедрения SCADA. В основной части статьи представлен обзор современных SCADA-систем. В заключении сделаны выводы о проблемах внедрения и перспективах развития SCADA-систем.

Ключевые слова: диспетчеризация, SCADA-система, MasterSCADA 4D, InTouch.

На сегодняшний день система диспетчеризации на большинстве предприятий развита слабо. Зачастую контроль состояния оборудования осуществляется вручную, что приводит к усталости персонала и неполноте контроля. Оборудование подстанции или предприятия нуждается в постоянном контроле для своевременного реагирования до возникновения аварийной ситуации.

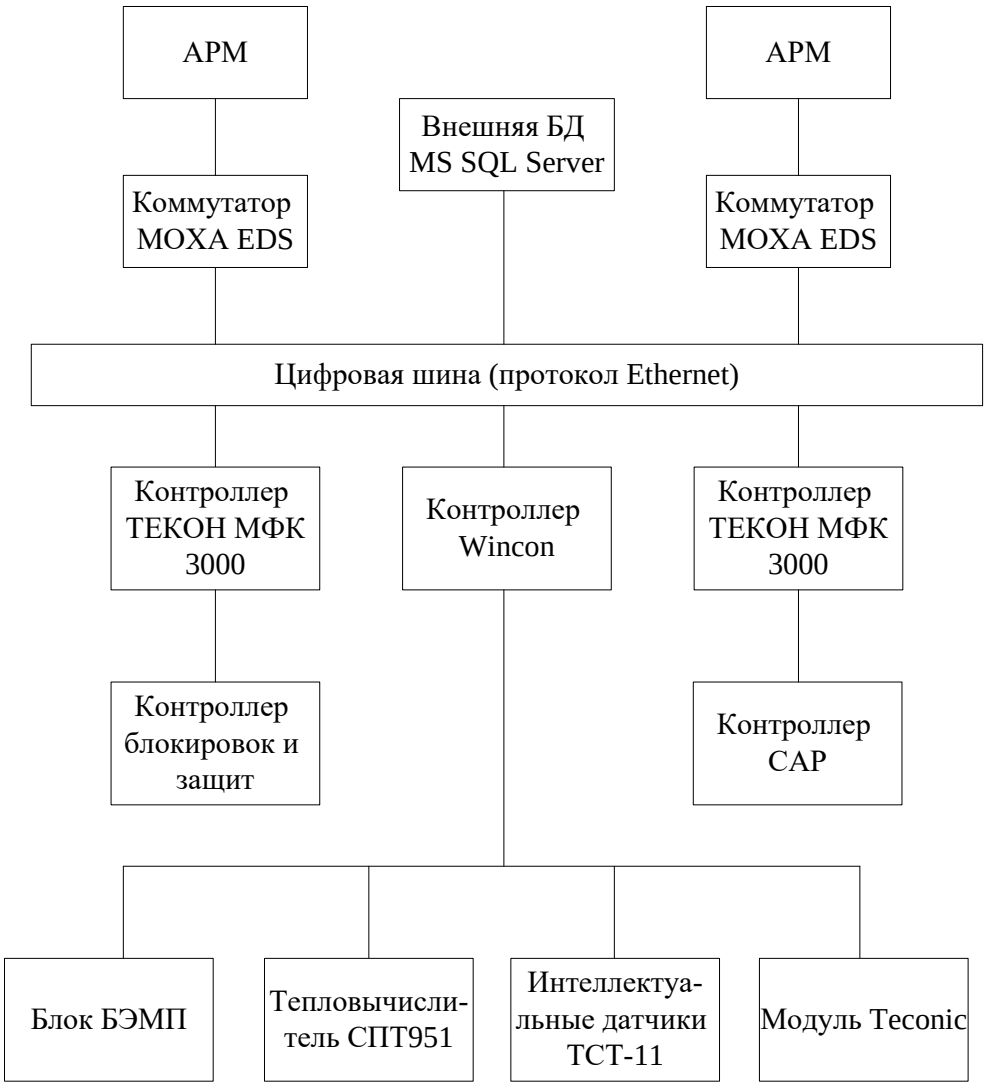
Для автоматизированного мониторинга и управления оборудованием применяют SCADA-системы. SCADA-система позволяет решить проблемы нынешних систем диспетчеризации, таких как: сложность сбора, обработки, хранения информации; необходимость постоянного контроля

состояния оборудования. Автоматизация процесса сбора, обработки и хранения информации и предоставление информации в удобном виде облегчает работу диспетчера. Мониторинг состояния оборудования даёт возможность своевременно реагировать на возникшую аварийную ситуацию и спрогнозировать выход из строя оборудования [1].

Существует множество готовых решений, применяемых на промышленных предприятиях. Рассмотрим некоторые из них.

MasterSCADA 4D – продукт нового поколения SCADA-систем. Он обладает широким набором инструментов для создания крупных распределенных систем с использованием технологии Интернет-вещей (IoT) [2].

Данная SCADA-система применяется на Иркутской ТЭЦ-6, для управления котлоагрегатом. Структурная схема управления представлена на рисунке.



Структурная схема АСУТП котлоагрегата

Автоматизированная система позволяет управлять оборудованием котлоагрегата с поддержанием заданных параметров в любых режимах эксплуатации, проводить диагностику и самодиагностику оборудования в режиме реального времени, проводить безопасное отключение оборудования при возникновении аварийной ситуации, передавать данные от низкого уровня SCADA к верхнему.

Благодаря внедрению MasterSCADA 4D повысилась эффективность работы котлоагрегата за счет сокращения времени простоев оборудования и оптимального регулирования технологических процессов. Также отмечены снижения расходов на производство и эксплуатацию топлива, достигнуто снижение выброса вредных веществ.

Отличительной особенностью **SCADA-системы InTouch** являются возможность создания библиотек алгоритмов и их многопоточное функционирование. Данная SCADA-система обеспечивает работу с более чем 120 000 сигналов и параметров, имеет архитектуру клиент-сервер, обладает высокой скоростью работы благодаря механизму, регулирующему скорость опроса входных сигналов.

Основными преимуществами внедрения SCADA-системы InTouch являются: повышение качества и объема выпускаемой продукции, автоматическая генерация отчетов о состоянии оборудования, малые сроки внедрения за счет простоты освоения средств разработки, совместимость с любыми действующими на предприятиями аппаратами (за счет огромной базы серверов ввода-вывода – более 600). Экономическая эффективность от внедрения данной SCADA-системы составляет 30–70 % [3].

SCADA-система InTouch нашла широкое применение в энергетике и автомобилестроении, добыче и переработки нефти и газа.

Заключение

Проблемами внедрения SCADA являются дороговизна, необходимость замены оборудования на совместимое с новой SCADA, сложность работы с человеко-машинным интерфейсом (HMI). Однако, на данный момент существуют готовые программные комплексы, в которых частично эти проблемы были устранены.

Перспектива развития современных SCADA-систем направлена на расширение доступности информации технологическому персоналу о состоянии оборудования, расширение совместимости с действующим оборудованием, усиление качества и скорости передачи сигналов.

Источники

1. Варламов И.Г. SCADA нового поколения. Эволюция технологий – революция системостроения // Автоматизация и IT в энергетике. 2016. № 2 (79). С. 28–32.

2. MasterSCADA 4D [Электронный ресурс]. URL: http://masterscada.ru/masterscada4d (дата обращения: 07.03.2021).

3. InTouch – Wonderware Russia [Электронный ресурс]. URL: https://www.wonderware.ru (дата обращения: 07.03.2021).

УДК 621.311

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ

Р.И. Кашафутдинова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
regina-kash@yandex.ru
Науч. рук. Е.И. Грачева

Рассмотрен алгоритм структурного моделирования аппаратов защиты электрических сетей. Предложен алгоритм оценки величины сопротивления контактов и контактных соединений и потерь электроэнергии низковольтных аппаратов

Ключевые слова: низковольтные электрические аппараты, функциональные параметры, технические параметры, сопротивление контактов, потери электроэнергии.

Как известно, в паспортных данных серийных аппаратов приводятся не все технические параметры. Так, информация о сопротивлении контактных систем либо отсутствует, либо носит весьма приближенный характер. Отсюда и возникает задача необходимости исследования закономерностей изменения сопротивлений контактов различных групп аппаратов.

На изучении протекающих на соприкасающихся поверхностях химических, механических, тепловых и электрических процессах основывается наука об электрическом контакте [1].

Анализ функциональных взаимосвязей сопротивления и технических параметров, их систематизация дают возможность обосновать правомерность принятия некоторых критериев, определяющих показатели

работоспособности контактных систем низковольтных электрических аппаратов. В качестве такого критерия может быть представлена характерная зависимость потерь электроэнергии от величины сопротивления контактов и контактных систем.

Из-за большой протяженности и разветвленности цеховых сетей низкого напряжения с множеством последовательных узлов с контактными соединениями доля сопротивлений низковольтных электрических аппаратов в общем сопротивлении цеховой сети достаточно высока. Поэтому следует учитывать сопротивление контактных соединений коммутационных аппаратов при определении потерь электроэнергии в цеховых сетях напряжением до 1000В [2].

Оценка величины сопротивления контактов и контактных соединений и потерь электроэнергии низковольтных аппаратов может производиться по следующему алгоритму:

1. Определение радиуса контактной площадки. Одной из важнейших характеристик замкнутых электрических контактов является величина токопроводящей площадки между ними.

Электрическая проводимость между двумя контактными элементами образуется в результате действия механического усилия $P_к$, называемого контактным, которое прижимает эти элементы друг к другу. Металлический контакт осуществляется не по всей поверхности, а лишь в немногих точках. Имеющаяся на поверхности металла пленка, образованная теми или иными химическими соединениями и обладающая высоким электрическим сопротивлением, в одних случаях может быть продавлена под действием механических усилий, в других случаях может быть пробита под влиянием разности электрических потенциалов.

В случае пластической или упруго-пластической деформации, наблюдаемой в реальных контактах, радиус контактной площадки f определяется с помощью понятия контактной твердости H_B введенной P. Хольмом. Она численно равна среднему давлению в контактных выступах, которое примерно втрое превышает давление, соответствующее началу пластической деформации.

В этом случае:

$$f = \sqrt{\frac{P_к}{\pi \xi H_B}}, \qquad (1)$$

где ξ – коэффициент сжимаемости, учитывающий степень обработки контактной поверхности, от которой зависят ее упруго-пластические свойства; $P_к$ – контактное усилие электрического аппарата, кг; H_B – контактная твердость материала контакта, кг/м^2.

При хорошей полировке контактов, когда деформация имеет почти упругий характер, значение ξ может быть уменьшено до 0,02. Так как аналитически вывести коэффициент ξ весьма сложно, воспользуемся его средним значением для аппаратов на десятки и сотни ампер: $\xi = 1$ [3].

2. Расчёт сопротивления контактов. Расчет произведем на основе известного из теоретических основ электротехники положения о том, что связь между сопротивлением стягивания контакта R_c и емкостью C проводниковых элементов одинаковой конфигурации, образующих контакт, определяется соотношением:

$$R_C = \rho / 4\pi C, \tag{2}$$

где ρ – удельное сопротивление проводника.

При длинной области стягивания $C = f / \pi$.

3. Оценка зависимости величины потерь мощности низковольтного аппарата от пропускаемой мощности через него. Мощность, передаваемая одним полюсом аппарата, определяется по выражению:

$$P = UI \cos\varphi, \tag{3}$$

где U – напряжение сети, кВ; I – ток, проходящий через аппарат, А.

К примеру, потери мощности в одном полюсе автомата определяются как

$$\Delta P = I_{\text{ав}}^2 k_{\text{з}}^2 R_{\text{ав}}, \tag{4}$$

где $I_{\text{ав}}$ – ток, проходящий через автомат; $k_{\text{з}}^2$ – квадрат коэффициента загрузки автомата; $R_{\text{ав}}$ – сопротивление силовой цепи автомата.

Зная потери мощности в одном полюсе автомата, можно определить потери во всем аппарате [4]. Доля этих потерь невелика по сравнению с пропускаемой мощностью – 0,12…0,15 %. Но пока электроэнергия доходит до электроприемника, она проходит несколько узлов коммутаций, и доля потерь от передаваемой мощности возрастает до 1…1,5 %, что является существенным при оценке потерь электроэнергии в цеховых сетях. Поэтому при оценке потерь электроэнергии в цеховых сетях следует учитывать потери в коммутационной аппаратуре.

Таким образом, распределения указанных параметров, как показывает их статистическое исследование, описываются нормальными законами. Следовательно, и функция (скорость изменения сопротивления

контактов) от аргументов, распределенных по нормальному закону, может быть принята также распределенной по аналогичному закону. Это упрощает задачу моделирования законов изменения функциональных параметров низковольтных аппаратов.

Источники

1. Аполлонский С.М., Куклев Ю.В. Надежность и эффективность электрических аппаратов: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2011. 448 с.

2. Хольм Р. Электрические контакты / пер. с англ.; под ред. Д.Э. Брускина. М.: Энергия, 1978. 456 с.

3. Шевченко В.В., Грачева Е.И. Определение сопротивлений контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов // Промышленная энергетика. 2002. № 1. С. 42–43.

4. Грачева Е.И., Наумов О.В., Садыков Р.Р. Обработка статической информации с целью выявления законов изменения параметров оборудования цеховых сетей // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. № 2. С. 34–43.

УДК 004.42:621.31

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Д.Ю. Крошечкина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
kroshechkina.d@mail.ru
Науч. рук. З.М. Шакурова

Представлен проект по разработке автоматизированной системы учета электроэнергии на промышленном предприятии, а также рассмотрены функции, особенности, структура системы и экономическая эффективность от ее внедрения.

Ключевые слова: электроэнергия, автоматизированная система, учет электроэнергии, автоматизация, счетчик электроэнергии, контроль потребления.

В настоящее время большое количество промышленных предприятий стремятся облегчить контроль потребления электроэнергии. Для этого существуют автоматизированные системы коммерческого

и технического учета электроэнергии. Они способны более эффективно планировать энергоресурсы и использовать электрическую энергию рационально. Именно это может привести к снижению потребления энергетических ресурсов.

Автоматизированная система учета электроэнергии – это система учета, которая обеспечивает дистанционный сбор информации с интеллектуальных приборов учета, передачу этой информации на верхний уровень, с последующей ее обработкой. Создание такой системы позволяет автоматизировать учет, и добиться его максимальной точности. Также система учета электроэнергии дает возможность получать ценную информацию аналитического характера, необходимую для разработки действенных решений по энергосбережению [1].

Автоматизированные системы учета электроэнергии позволяют:

– обеспечивать сбор данных с приборов учета без участия человека;

– накапливать и хранить информацию о потреблении электроэнергии;

– составлять отчеты о потреблении за выбранный промежуток времени;

– анализировать полученную информацию;

– контролировать не только потребление, но и нагрузку сети и ее параметры в целом;

– определять несанкционированные подключения.

Главным этапом по разработке автоматизированной системы является расчет себестоимости разработки математической модели системы. Он включает в себя расчет затрат на оборудование и заработную плату исполнителям разработки, которая рассчитывается исходя из перечня работ, их трудоемкость для руководителя и исполнителя.

На рисунке представлена трехуровневая система учета электроэнергии для промышленного предприятия «Татэлектромонтаж».

Нижний уровень – информационно-измерительный комплекс (ИИК). Он включает в себя приборы измерения, учета, в том числе счетчики электроэнергии, производящие мониторинг потребления. На данном уровне производится измерение и передача данных на средний уровень.

В качестве приборов учета для цехов промышленного предприятия «Татэлектромонтаж» выбраны счетчики электрической энергии типа Меркурий 243 ARTM. Выбор приборов осуществлялся, исходя из следующих характеристик:

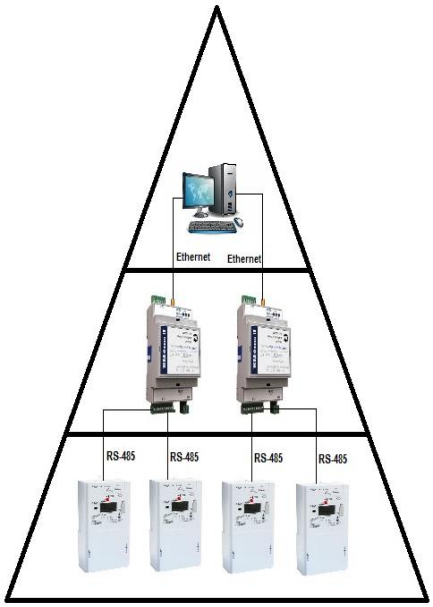
– по принципу работы и типу устройства;

– по количеству фаз;

– по классу точности;

– по напряжению;

– по количеству тарифов.



Трехуровневая АСКУЭ

Выбор счетчиков для каждого цеха представлены в табл. 1.

Таблица 1

Выбор счетчиков электроэнергии

№	Наименование цеха	Счетчик электрической энергии
1	Цех производства опор освещения	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
2	Малярное отделение	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
3	Цех производства прожекторных мачт	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
4	Сварочный цех	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
5	Цех производства строительных металлоконструкций	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
6	Цех производства башен радио и сотовой связи	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
7	Парк прессового оборудования	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1
8	Цех производства внутриквартальных торшеров	Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1

С помощью интерфейса RS-485 от нижнего уровня поступает информация о потреблении электроэнергии среднему уровню.

Средний уровень – информационно-вычислительный комплекс. На данном уровне используются контроллеры и устройства сбора и передачи данных (УСПД), которые осуществляют сбор и передачу информации от нижнего уровня верхнему.

В качестве УСПД используется СИКОН ТС65. Данное устройство выбирается исходя из количества подключения устройств учета. В нашем случае для учета электроэнергии используется 8 счетчиков. К одному устройству СИКОН ТС65 возможно подключение 8 приборов учета, следовательно, для сбора данных со всех точек учета необходимо 1 устройства СИКОН ТС65.

От среднего уровня данные передаются по локальной сети Ethernet верхнему уровню.

Верхний уровень – информационно-вычислительный комплекс. Он представляет собой автоматизированные рабочие места операторов, программные обеспечения, в которых отображаются все данные о потреблении, показатели качества электроэнергии, несанкционированные подключения и т. д.

На промышленном предприятии «Татэлектромонтаж» данные о потреблении электрической энергии буду отражаться в программном обеспечении «Пирамида 2.0».

В табл. 2 представлены расходы на оборудование.

Таблица 2

Расходы на оборудование

№	Наименование	Кол-во, ед.	Цена одной единицы, руб.	Сумма, руб.
1	Счетчик электрической энергии Меркурий 234 ARTM(2)-02 (D)POBR.G1, шт.	8	15 726,85	125 814,8
3	Кабель симметричный для промышленного интерфейса RS-485 Сегмент КИ-485-Энг(А)-HF 2×2×0,6 м	800	133	106 400
4	Устройство сбора и передачи данных СИКОН ТС65, шт.	1	11 387	1 1387
5	Кабель для сетей Industrial Ethernet, 2×2×24 AWG, многопроволочные жилы, м	10	147	1 470
6	Автоматизированное рабочее место, включая: компьютерный стол, шт. стул, шт. компьютер в сборе на базе Intel Celeron, шт.	 1 1 1	 2 920 2 599 47 830	5 3349
7	Программное обеспечение «Пирамида 2.0»	1	120 000	120 000
			Итого:	418 420,8

Трудоемкость проведенной работы для исполнителя и руководителя определяется согласно стандартной методике по сумме трудоемкости этапов работ, оцениваемых по фактическим затратам труда соответствующих исполнителей, исходя из чего рассчитывается основная заработная плата непосредственных исполнителей разработки рассчитывается на основании следующих данных:

– трудоемкость выполнения работ $Т_р$ и $Т_{исп}$;

– дневная ставка руководителя проекта $Д_р$ = 2 936,7 руб.;

– дневная ставка инженера $Д_{исп}$ = 1 815,3 руб.;

– процент отчислений на социальные нужды $H_{соц}$ = 30 %;

– процент дополнительной заработной платы $H_{доп}$ = 14 %;

– процент накладных расходов – 34 %.

Основная заработная плата исполнителей ($C_з$) рассчитывается по формуле:

$$C_з = Т_р \cdot Д_р + Т_{исп} \cdot Д_{исп},$$

где $Т_р$, $Т_{исп}$ – соответственно, трудоемкость выполнения работ по реализации данной разработки руководителем проекта и исполнителем, чел.-дн.

$$C_з = 7 \cdot 2\ 936,7 + 37 \cdot 1\ 815,3 = 87\ 723 \text{ руб.}$$

К пункту «Дополнительная заработная плата» относятся выплаты, за отпуска, выплаты премий, вознаграждения и т. п.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$C_{з.доп} = C_з \cdot H_{доп} = 87\ 723 \cdot 0,14 = 12\ 281,22 \text{ руб.}$$

К пункту «Отчисления на социальные нужды» относятся отчисления на социальное страхование, пенсионное обеспечение, отчисления на медицинское страхование и в фонд социального страхования.

Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$C_{с.н} = (C_з + C_{з.доп}) \cdot 0,3 = (87\ 723 + 12\ 281,22) \cdot 0,3 = 30\ 001,27 \text{ руб.},$$

К пункту «Накладные расходы» относятся расходы на управление и хозяйственное обслуживание. Накладные расходы рассчитываются по формуле:

$$НР = (C_з + C_{з.доп}) \cdot 0,34 = (87\ 723 + 12\ 281,22) \cdot 0,34 = 34\ 001,44 \text{ руб.},$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется себестоимости разработки в целом (табл. 3).

Таблица 3

Себестоимость разработки

Затраты		Сумма, руб.
Материалы		41 8420,8
Основная заработная плата		87 723
Дополнительная заработная плата		12 281,22
Отчисления на социальные нужды		30 001,266
Накладные расходы		34 001,44
	Итого:	582 427,77

АСКУЭ промышленных предприятий позволяют обеспечить максимальную точность учета и прозрачность расчетов с поставщиками электроэнергии. Кроме того, внедрение АСКУЭ открывает широкие возможности экономии электроэнергии. Благодаря этому такие системы, как правило, окупают себя в течение года [1].

Выбор оптимального тарифа, сокращение затрат на обработку данных и формирование отчетов, повышение точности учета значительно влияют на экономический эффект от внедрения АСКУЭ. Важнейшие экономические эффекты – это снижение участия человека в производственных процессах и значительная экономия денежных средств на электроэнергию.

Применение автоматизированной системы учета электроэнергии позволяет свести к минимуму участие человека в сборе и обработке данных, обеспечивает более достоверный, точный, оперативный и гибкий учет электроэнергии, способный адаптироваться к различным тарифным системам учета, как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя.

Источники

1. Создание АСКУЭ [Электронный ресурс]. URL: http://www.ackye.ru/activities/sozdanie-askue/ (дата обращения: 09.03.21).

УДК 628.931

ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ И ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ DIALUX EVO

М.А. Крылов[1], Н.В. Денисова[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]krylovmaxim2015@yandex.ru, [2]natali.denisova@bk.ru

Кратко описаны технологии, применяемые при создании освещения в домах, на предприятиях, используемые в наружном и архитектурном освещении. Рассмотрены возможности проектирования систем освещения, используя DIALux EVO.

Ключевые слова: освещение, технологии, интеллектуальные системы, DIALux.

Освещение является важной частью нормального существования людей, ведь наибольшую информацию об окружающем мире человек получает посредством зрения.

Грамотное и правильное освещение -– необходимое условие комфортного пребывания человека в помещении и вне его. Поэтому важно уметь проектировать системы освещения. Помимо проектирования обычного, стандартного освещения актуальным является еще и проектирование систем интеллектуального освещения [1].

При создании интеллектуальных систем освещения используются различные технологии в зависимости от поставленной задачи. Так, у компании «Световые технологии» в распоряжении имеется ряд технологий, от самых простых и доступных, которые хорошо подходят для решения несложных задач и для использования в небольших проектах, до сложнейших систем, способных охватить множество параллельных задач и объёмы целых зданий и даже городов [2].

Для небольших проектов и отдельных задач хорошо подходят решения с использованием обычных реле. Это простые, надежные, недорогие и эффективные решения, которые удовлетворяют большинству запросов и всегда востребованы.

Управление большими группами осветительных установок с широким спектром возможностей и в то же время простотой внедрения может осуществляться с помощью современного цифрового протокола DALI.

Для декоративного RGB и RGBW освещения как внутри, так и вне помещений, а также разнообразной архитектурной подсветки применяется технология использования протокола DMX512.

Отличным решением для совмещения в единую систему освещения других подсистем зданий типа HVAC, AV, СКУД является шинная система на базе стандартного протокола KNX.

Одним из интересных решений является использование технологии Power Line Communication (PLC). Это технология, в которой передача команд управления осуществляются по тому же кабелю, через который идет питание 220-230V.

Наиболее перспективной и современной технологией для создания интеллектуальной системы освещения является беспроводная технология дальнего действия LoraWAN на основе базовых станций. Она способна охватить целые районы города, трассы, парковые массивы.

Для проектирования интеллектуальных систем освещения с применением подобных технологий используются современные программные комплексы, одним из таких является DIALux EVO. Для создания, расчета и визуализации вариантов «умного» освещения можно использовать различные возможности программы [3].

Например, в вечернее или ночное время может не требоваться максимальная яркость и работа всех светильников. В DIALux EVO можно спроектировать и просчитать такие варианты освещения с помощью создания сценариев освещения, объединения светильников по группам и выставления в них требуемой яркости. Помимо этого, в данном программном комплексе можно учесть и влияние естественной освещенности.

Повышение комфорта освещения может быть связано с изменением яркости светильников, изменением цветовой температуры света, локализацией освещения либо его рассеиванием. Все это может применяться, например, в декоративном освещении. Данные возможности также реализованы в DIALux EVO.

В современном мире, когда энергосбережению и комфорту освещения придается большое значение, многие предприятия внедряют автоматические системы управления освещением, которые позволяют организовать максимально комфортное освещение, наладить контроль над оборудованием в каждый момент времени, снизить потребление электроэнергии [4].

Поэтому применение интеллектуальных систем освещения является актуальной и востребованной частью проектирования систем электроснабжения.

Источники

1. Осветительные установки промышленных предприятий: учеб. пособие / Н.В. Денисова [и др.]. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. 206 с.

2. Антипова А.Н., Волох Я.В. Разработка технологии создания систем интеллектуального освещения // Молодой ученый. 2018. № 25, ч. 2. С. 104–106.

3. Денисова Н.В., Гиниятуллина А.Р. Особенности моделирования осветительной установки зданий в различных САПР // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. IV Нац. науч.-практ. конф. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) [и др.]. Казань, 2018. Т. 1. С. 443–445.

4. Гаврилов Д.С., Денисова Н.В. Сравнение программ для расчета освещенности с возможностью 3D-моделирования // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21, № 5. С. 191–194.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ АРАМИДНОГО МАТЕРИАЛА В ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Д.А. Крылова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
krylova.diana@inbox.ru
Науч. рук. Е.И. Грачева

Выявлены достоинства и недостатки трансформаторов типа ТСН и ТСНЗ. Рассчитана экономия от применения изоляции «Номекс» в сухих силовых трансформаторах.

Ключевые слова: арамидные материалы, изоляция «Номекс», геофолевая литая изоляция, гибридная изоляция, сухие трансформаторы.

Применение гибридной изоляции при производстве трансформаторов позволяет существенно повысить надежность и срок службы трансформаторов [1].

В гибридной изоляции применяются слои арамидной и целлюлозной бумаг, причем арамидная изоляция заменяет целлюлозную в наиболее нагретых частях обмоток. Такое исполнение объясняется тем, что изоляция

отвода из обычной бумаги стареет в 2 раза быстрее по сравнению с изоляцией из высокотемпературных арамидных материалов. Стоимость трансформатора повышается незначительно за счет применения дорогостоящей высокотемпературной изоляции в очень ограниченных объемах. Арамидная изоляция выполняется на основе синтетических материалов. Примером такой изоляции является «Номекс».

Преимущества сухих трансформаторов типа ТСН, ТСНЗ с обмотками, изготовленными из проводов с изоляцией «Номекс», по сравнению с масляными трансформаторами, трансформаторами, залитыми эпоксидным компаундом заключаются в: пожаро- и взрывобезопасности; ремонтопригодности; уменьшении потерь холостого хода и короткого замыкания на 10 %; отсутствии вредных веществ и легкой вторичной переработке при утилизации; возможности повышать запас прочности благодаря превосходным диэлектрическим импульсным характеристикам; увеличении на 25 % испытательных норм приложенным напряжениям и импульсным перенапряжениям; отсутствии побочных продуктов разложения; возможности выдерживать нормальные и аварийные нагрузки в более широком диапазоне благодаря пренебрежимо малому старению изоляции при повышенных температурах; сохранении прочности диэлектрической изоляции при работе в условиях аварийных пиковых нагрузок; доступной стоимости в производстве [2].

Недостатком «Номекса» является плохая переносимость динамических нагрузок, которые образуются в трансформаторных обмотках. Это ведет к деформации витков обмоток [3].

Рассмотрим сухие силовые трансформаторы ТСЗГЛ-100/10/0,4 и ТСНЗ-100/10/0,4.

Из таблицы видно, что потерь холостого хода и короткого замыкания у трансформатора с изоляцией «Номекс» меньше, чем у трансформатора с литой геофолевой изоляцией.

Технические характеристики силовых трансформаторов ТСЗГЛ и ТСНЗ

Тип трансформатора	ТСЗГЛ-100	ТСНЗ-100
Напряжение, кВ	6–10/0,4	6–10/0,4
Мощность, кВА	100	100
Потери холостого хода, Вт	480	400
Потери короткого замыкания, Вт	1850	1720
Напряжение короткого замыкания, %	4	4
Основные схемы и группы соединения обмоток (ВН/НН)	Д/Ун-11 У/Ун-0	Д/Ун-11 У/Ун-0

Определим экономию электроэнергии за счет применения арамидной изоляции «Номекс». Потери активной мощности в двухобмоточных трансформаторах определяются:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{х.х}} + \Delta P_{\text{к.з}} k_{\text{з}}^2,$$

где $\Delta P_{\text{х.х}}$ – потери холостого хода трансформатора; $\Delta P_{\text{к.з}}$ – потери короткого замыкания трансформатора; $k_{\text{з}}$ – коэффициент загрузки трансформатора [4].

При нормальном режиме коэффициент загрузки равен 0,9. Следовательно, снижение потерь холостого хода позволяет сохранить за час работы трансформатора 80 Вт, а снижение потерь короткого замыкания – $130 \cdot 0{,}9^2 = 105{,}3$ Вт.

Значит, потери активной мощности в двухобмоточных трансформаторах за час работы уменьшатся на 185,3 Вт, а за год экономия составит $185{,}3 \cdot 8\,760 = 1\,623{,}228$ кВт.

Учитывая, что тариф составляет 7 руб. за киловатт, экономия составит примерно $1\,623{,}228 \cdot 7 \approx 11\,363$ руб. в год.

Таким образом можно сделать вывод, что использование арамидной изоляции вместо классической, имеет ряд преимуществ, достаточных для рассмотрения вопроса о более широком внедрении трансформаторов с изоляцией данного типа.

Источники

1. Костинский С.С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 1-2. С. 14–32.

2. ТСН, ТСНЗ 25-630 – Кентауский трансформаторный завод [Электронный ресурс]. URL: https://silovoytransformator.ru/6-10-kv/tsn-tsnz-25-630-kentauskiy-transformatornyy-zavod.htm (дата обращения: 07.03.2021).

3. Грачева Е.И., Наумов О.В. Некоторые особенности электрических трансформаторов: учеб. М.: Русайнс, 2016. 184 с.

4. Грачева Е.И., Наумов О.В., Садыков Р.Р. Анализ надежности функционирования оборудования цеховых сетей // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 2. С. 46–50.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИСТЕМАХ ВНУТРИЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Д.Ю. Лямзина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sng55555@mail.ru
Науч. рук. Е.И. Грачёва

Исследуются основные особенности компоновки электрооборудования цеховых сетей внутризаводского электроснабжения с определением показателей группы цеховых потребителей, присоединенных к одному центру питания, влияющие на выбор структуры схем участков цеховых сетей. Представлены наиболее значительные факторы роста потерь мощности холостого хода в процессе эксплуатации. Проведено технико-экономическое сопоставление вариантов схем внутризаводского электроснабжения при установленных двух трансформаторах меньшей мощности вместо одного и расчетным путем доказана целесообразность такой замены для повышения эффективности функционирования оборудования и определен расчетный срок окупаемости капитала вложений.

Ключевые слова: трансформатор, экономия электроэнергии, коэффициент загрузки, эффективность эксплуатации, раздельное питание, технико-экономические параметры.

В настоящее время приобретает важное значение постановка задачи незначительной загрузки электроустановок внутризаводского электроснабжения [1].

Снижение загрузки цеховых трансформаторов ведет к увеличению потребления реактивной мощности, следовательно, энергетическому персоналу требуется контролировать эксплуатационные характеристики трансформаторов с рациональной загрузкой - с целью снижения требуемой реактивной мощности, а также для уменьшения потерь активной мощности холостого хода [2].

Наиболее значительными факторами роста потерь мощности холостого хода трансформаторов принято считать следующие:

1) старение стальных конструкций вследствие нагревания магнитопроводов;

2) механические причины воздействий на стальные конструкции (вибрационные и другие);

3) старение магнитопровода, вследствие чего межлистовая изоляция нарушается и повреждается;

4) нарушение изоляционных материалов шпилек;

5) усадка стальных конструкций в магнитопроводе, ввиду чего ослабляется его прессовка, а также ослабляется опрессовка стыковых конструкций;

6) старение и нарушение целостности материалов стыковых прокладок [3].

В настоящее время в системах электроснабжения существует тенденция увеличения уровня потерь электроэнергии, поэтому уменьшение потерь в трансформаторах даже на несколько процентов даст значительный экономический эффект [4] .

Для получения рациональных режимов эксплуатации трансформаторов недогруженные цеховые трансформаторы заменяют на трансформаторы, рассчитанные на меньшую номинальную мощность, переключают потребителей, питающихся от малозагруженных трансформаторов на установленные рядом с нагрузкой трансформаторы, а также отключают трансформаторы на период эксплуатации в режиме холостого хода [5].

Проведем технико-экономическое сопоставление вариантов схем электроснабжения при установленных двух трансформаторах меньшей мощности вместо одного для определения целесообразности такой замены (рис. 1 и 2).

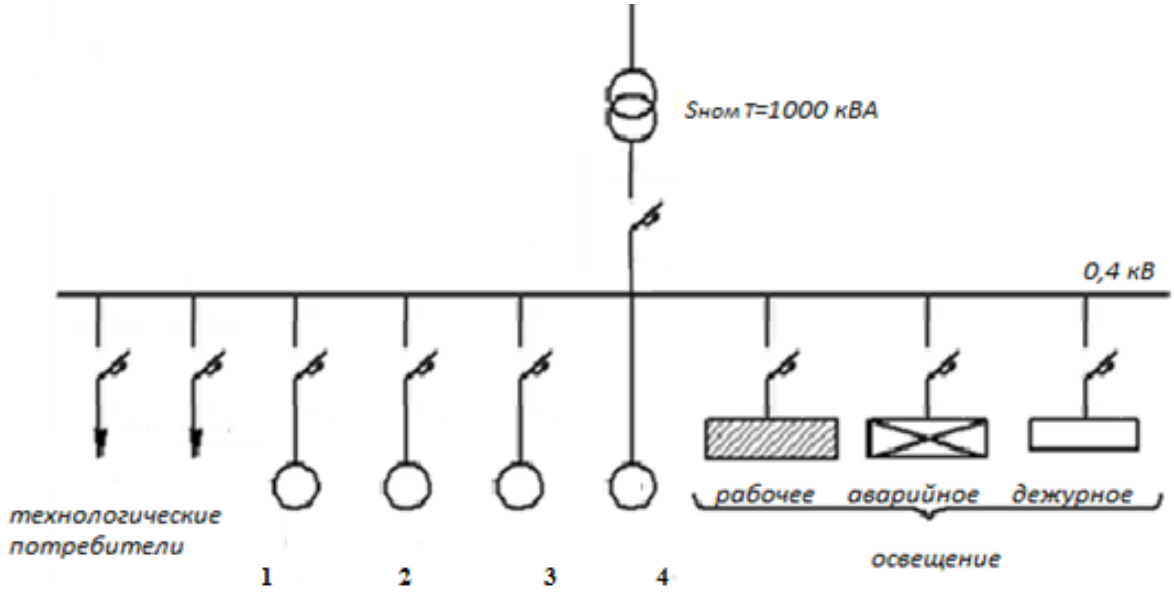


Рис. 1. Схема электроснабжения при установке одного трансформатора с $S_{номТ}$ = 1000 кВ·А: *1* – вентиляторы; *2* – компрессоры; *3* – насосы; *4* – сварочное электрооборудование

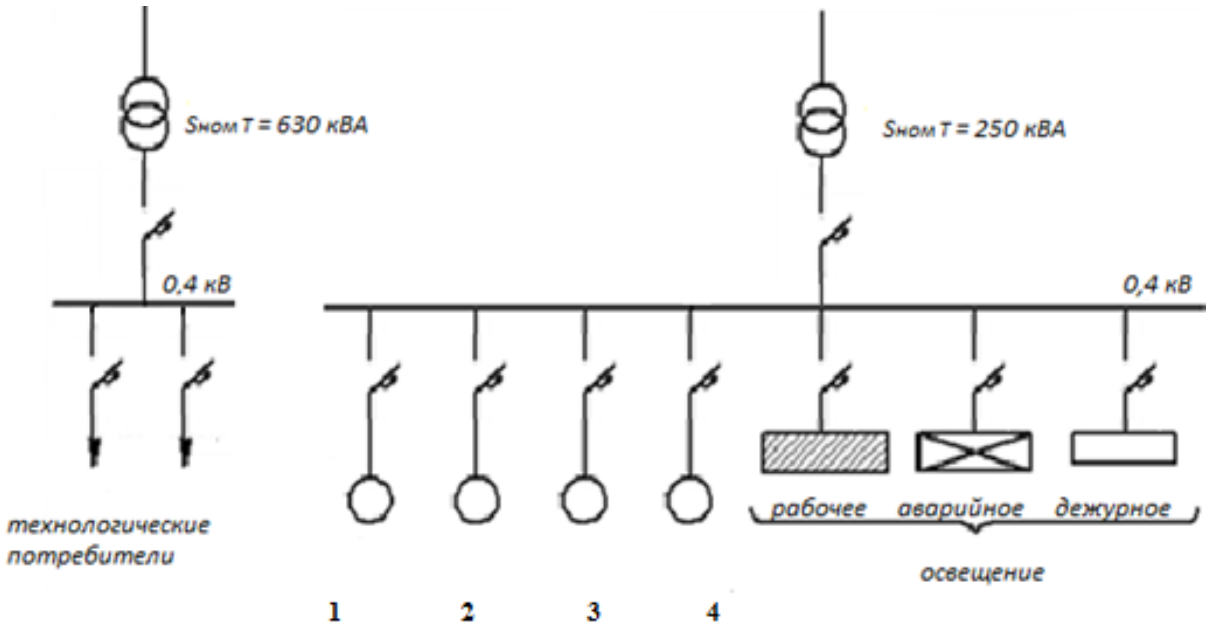


Рис. 2. Схема электроснабжения при установке двух трансформаторов с $S_{\text{ном}Т} = 630$ кВ·А и $S_{\text{ном }Т} = 250$ кВ·А

Определим потери электроэнергии в цеховых трансформаторах для этих схем.

Рассчитаем потери мощности в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{х.х}} + \Delta P_{\text{к.з}} \cdot k_{\text{з}}^2, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{х.х}}$ – потери мощности холостого хода трансформатора; $\Delta P_{\text{к.з}}$ – потери мощности короткого замыкания трансформатора; $k_{\text{з}}$ – коэффициент загрузки.

Исходя из выражения (1), возможно вычислить суммарные потери активной и реактивной электроэнергии:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{рабоч}} \cdot T_{\text{рабоч}} + \Delta P_{\text{нерабоч}} \cdot T_{\text{нерабоч}}, \quad (2)$$

$$\Delta V = \Delta Q_{\text{рабоч}} \cdot T_{\text{рабоч}} + \Delta Q_{\text{нерабоч}} \cdot T_{\text{нерабоч}}, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{рабоч}}$, $\Delta P_{\text{нерабоч}}$ – потери активной мощности за рабочие и нерабочие интервалы времени; $\Delta Q_{\text{рабоч}}$, $\Delta Q_{\text{нерабоч}}$ – потери реактивной мощности за рабочие и нерабочие интервалы времени; $T_{\text{рабоч}}$, $T_{\text{нерабоч}}$ – рабочие и нерабочие интервалы времени.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Общие потери электроэнергии в трансформаторах

Вариант	$S_{номТ}$, кВ·А	$S_р$, кВ·А	$k_з^2$	$I_т$, А	$\Delta P_{рабоч}$, кВт	$\Delta P_{нерабоч}$, кВт
1	1000	700	0,5	1843	30	5
2	630	539	0,7	1419	24	-
	250	160	0,4	432	7	1

Вариант	$\Delta Q_{рабоч}$, кВар	$\Delta Q_{нерабоч}$, кВар	ΔW, кВт·ч	ΔV, кВар·ч	tgφ
1	56,95	31,43	1987,2	6439,7	0,09
2	37,89	-	1076,50	1705,06	0,07
	10,3	5,99	529,90	1203,98	0,07

Результаты исследований показали, что для схемы раздельного питания потребителей от двух трансформаторов, экономия электроэнергии за рабочий интервал времени в одну неделю составит 380,8 кВт·ч и 3530,7кВ·Ар·ч.

Проведенные исследования показали, что для повышения эффективности эксплуатации систем внутризаводского электроснабжения целесообразно производить замену одного трансформатора, питающего цеховую технологическую и круглосуточную нагрузку потребителей на два трансформатора с меньшей суммарной номинальной мощностью с учетом их оптимальной загрузки. Предлагаемые мероприятия позволяют снизить суммарные потери электроэнергии и уменьшить эксплуатационные издержки. При этом срок окупаемости разработанных мероприятий по экономии электроэнергии для рассматриваемого примера составил 3,7 месяца.

Источники

1. Конюхова Е.А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учеб. пособие. М.: Русайнс, 2017. 160 с.

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

3. Грачева Е.И., Наумов О.В. Потери электроэнергии и эффективность функционирования оборудования цеховых сетей: моногр. М.: Русайнс, 2017. 168 с.

4. Lasso H., Ascanio C., Guglia M. A model for calculating technical losses in the secondaryenergy distribution network // IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition. Latin America, 2006. Pp.1–6.

5. Скоморохов П.И. Оценка безотказности систем электроснабжения с продолжительным режимом работы // Молодежь и XXI век: матер. V Междунар. молод. науч. конф. Курск, 2015. Т. 3. С. 237–240.

УДК 621-316.3

ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ В СИСТЕМЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А.А. Майоров
ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань
mayorov19977@mail.ru
Науч. рук. М.Ф. Низамиев

Разработан метод, позволявший снизить потери электроэнергии на трансформаторах в нерабочее время и позволяющий увеличить надежность схемы. Это достигается путём раздельного питания потребителей с равномерным графиком нагрузки и технологической нагрузки. Так же разработана методика для выбора схемы с раздельным питанием для промышленных предприятий.

Ключевые слова: повышение надежности, потери электроэнергии, электроснабжение, промышленные предприятия.

Электрическая энергия, один из самых важных видов энергии. Сегодня без нее невозможно представить жизнь и деятельность современного человека. От ее количества (выработки) зависит не только комфортные условия существования человека, но и развитие всех сфер производства, науки и техники. В настоящее время, остро стал вопрос об экономии электроэнергии и рациональном использование природных ресурсов. Особенно актуальна эта проблема становится на фоне увеличении стоимости электроэнергии, так и вредными выбросами при сжигании природных ресурсов.

В настоящее время на территории Российской Федерации около 70 % генерируемой электроэнергии идет на питание промышленных предприятий. На современных промышленных предприятиях используется

оборудование, которое более чувствительно качеству электроэнергии, а существующая система электроснабжения зачастую не может обеспечить необходимые качества электроснабжения для потребителей. Это связано с тем, что система электроснабжения многих промышленных предприятий уже долгое время никто не обновлял, многие промышленные предприятия работают на старом оборудование еще прошлых столетий, вследствие, этого возрастают потери электроэнергии в системе электроснабжения промышленных предприятий. Система электроснабжения для промышленных предприятий проектировалась с расчетом на работу в 2-3 смены, а в настоящее время промышленные предприятия переходят на односменный график работы. Вследствие, того что система электроснабжения не готова к переходу к односменному графику работы и возникают большие потери электроэнергии в системе электроснабжения современных промышленных предприятий.

Наиболее эффективным методом по экономии электроэнергии на промышленных предприятиях является использование для внешних расчетов автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии. Такой способ дает экономию ЭЭ около 5–10 %. Но такой способ экономии электроэнергии не дает достичь желаемого результата [1].

Вследствие перехода промышленных предприятий на односменных график работы необходимо отключить неработающие силовые трансформаторы в нерабочее время. При малых нагрузках трансформатора возникают дополнительные потери ЭЭ в промежуток времени между нерабочими сменами на промышленных предприятий. В связи с быстрым ростом цен на электроэнергию экономия электроэнергии в нерабочее время оборудования встает еще острее [2].

Необходимо разделить питание технологической нагрузки и потребителей с равномерным графиком нагрузки, т. е. необходимо их питать от разных трансформаторов. Такой способ питания, рассматривался еще в 50-60-х гг., но в то время пришли к выводу, что это экономически не целесообразно, так как в то время цены на электричество были очень маленькие, а стоимость оборудования было очень большое [3]. Согласно проведенным расчетам такой способ поможет сэкономить примерно 15–30 % электроэнергии.

Повышение надежности электроснабжения достигается путем резервирования питания. При выходе из строя трансформатора питающей равномерную нагрузку можно будет запитать этих потребителей от трансформаторов питающих технологическую нагрузку. Таким образом, надежность схем с раздельным питанием возрастет по сравнению с обычными схемами [4].

Ввиду предложенных решений была разработана методика выбора рациональной системы электроснабжения, которая позволит разработать систему электроснабжения, удовлетворяющую требованиям надежности, качества электроэнергии и минимума потерь. Для упрощения расчетов потерь электроэнергии в различных схемах электроснабжения была разработана программа, которая позволит производит расчеты потери на много быстрее и точнее. Данная программа была разработана на ЭВМ.

Разработаны рекомендации по возможности применения тех или иных схем с раздельным питанием в зависимости от особенностей промышленных предприятий (расположения цехов, режима работы, назначение ПП и др.), которые позволяют точнее и быстрее определить конфигурацию и структуру системы электроснабжения для дальнейшего ее технико-экономического обоснования к применению

Источники

1. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях. М.: Энергоиздат, 1981. 216 с.

2. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. 400 с.

3. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектно-расчетные сведения / под общ. ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. М.: Энергия, 1973. 2 кн.

4. Федорова А.А. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. М.: Энергоатомиздат, 1986. 2 т.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

П.П. Муханова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
muhanova-polina@mail.ru
Науч. рук. Е.И. Грачёва

Цель исследования – определить технические характеристики и критерии выбора параметров эффективности функционирования низковольтных электрических аппаратов различных фирм-производителей. Определены зависимости изменения потерь мощности на полюс от номинального тока – аппроксимирующие функции, имеющие наименьшее среднеквадратическое отклонение.

Ключевые слова: автоматический выключатель, потери мощности на полюс, среднее квадратическое отклонение, аппроксимирующая функция.

Характерной особенностью автоматических выключателей является возможность длительного нахождения их контактов в замкнутом состоянии, к тому же в условиях действия агрессивных сред, влаги, повышенной температуры и т.д., что обусловливает жесткие требования к стабильности и уровню переходного сопротивления контактных соединений [1]. При этом необходимо наличие информации о значении величины потерь активной мощности в аппаратах, поскольку, из-за большой протяженности и разветвленности заводских сетей низкого напряжения с множеством последовательных узлов с контактными соединениями, доля потерь последних в общей величине потерь мощности и электроэнергии достаточно высока. Поэтому при определении потерь электроэнергии в низковольтных заводских сетях следует учитывать потери в контактных системах коммутационных аппаратов. Мощность, потребляемая собственно аппаратом при его функционировании и рассеиваемая в нем, должна быть минимальной.

В зависимости от номинального тока аппарата его потери мощности будут различными [2]. По каталожным данным построим зависимости потерь мощности ΔP от номинального тока I (рис. 1) для автоматических выключателей (5 5 36000, C60H-DC, S201M, BA47-063Про).

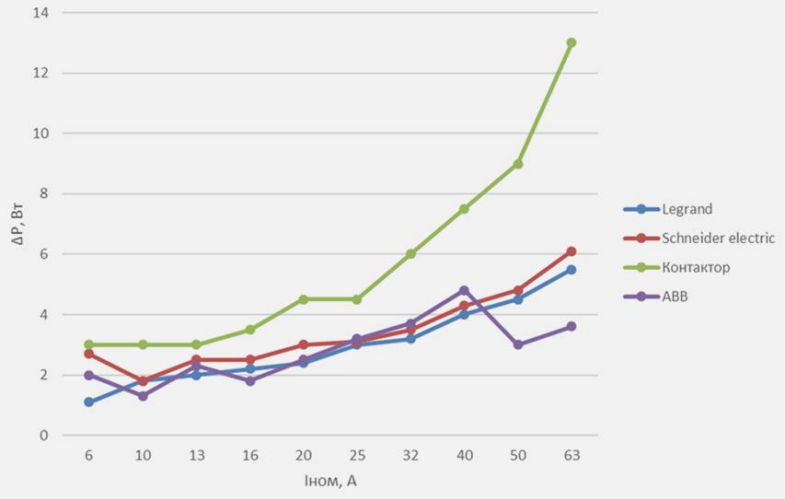


Рис. 1. Зависимости потерь мощности от номинального тока для автоматических выключателей различных фирм производителей

Поскольку в справочной литературе отсутствует информация о потерях мощности большинства низковольтных аппаратов (а те данные, что приводятся, носят весьма приближённый характер), возникает проблема исследования законов изменения потерь мощности контактных соединений низковольтных аппаратов экспериментальными и расчётными методами [3].

Произведём аппроксимацию зависимостей потерь мощности от номинального тока аппарата (рис. 2).

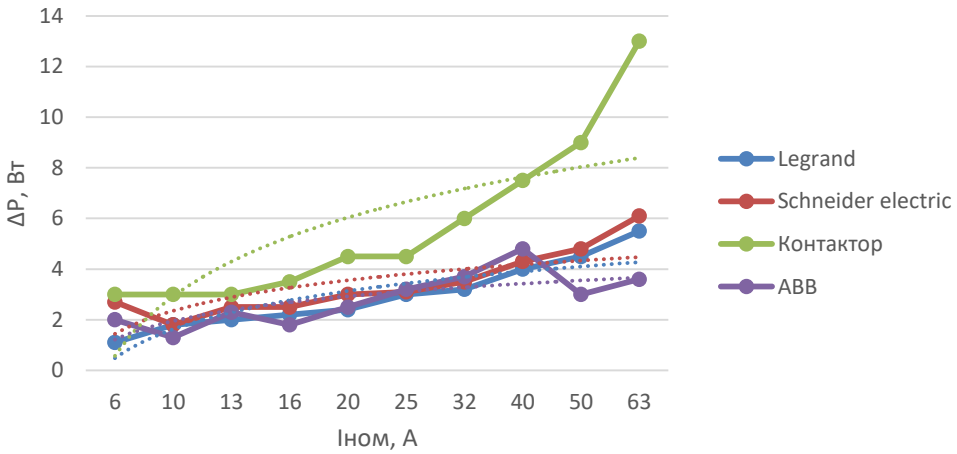


Рис. 2. Графики логарифмической аппроксимирующей функции зависимостей потерь мощности от номинального тока для автоматических выключателей C60H-DC, S201M, BA47-063Про, ТХ^{3}6000

Для того чтобы выбрать наиболее точную формулу, необходимо произвести расчёт среднеквадратического отклонения по выражению:

$$S = \sqrt{\sum (f(I) - \Delta P)^2}\,, \qquad (1)$$

где $f(I)$ – значение найденной функции при определенном номинальном токе; ΔP – каталожное значение потерь мощности.

Результаты сведены в таблицу.

Среднеквадратическое отклонение функций для автоматического выключателя

Аппроксимирующая функция	Среднеквадратическое отклонение S
Legrand	
$f_{1ТХ^3}(I) = 1{,}1418e^{0{,}1558I}$	21094,27928
$f_{2ТХ^3}(I) = 0{,}437I + 0{,}5667$	36,58666
$f_{3ТХ^3}(I) = 1{,}6479ln(I) + 0{,}481$	**8,28027**
$f_{4ТХ^3}(I) = 0{,}0318I^2 + 0{,}087I + 1{,}2667$	165,0477
$f_{5ТХ^3}(I) = 1{,}0324I^{0{,}6342}$	17,38295

Окончание таблицы

Аппроксимирующая функция	Среднеквадратическое отклонение S
Schneider electric	
$f_{1C60H-DC}(I) = 1,7766e^{0,1088I}$	1732,53
$f_{2C60H-DC}(I) = 0,3861I + 1,3067$	32,24192
$f_{3C60H-DC}(I) = 1,3191\ln(I) + 1,4375$	**6,85973**
$f_{4C60H-DC}(I) = 0,0636I^2 - 0,3139I + 2,7067$	290,9781
$f_{5C60H-DC}(I) = 1,8191I^{0,3806}$	8,69354
ABB	
$f_{1S201M}(I) = 1,4871e^{0,1044I}$	1103,819
$f_{2S201M}(I) = 0,2739I + 1,3133$	23,19608
$f_{3S201M}(I) = 1,0646\ln(I) + 1,212$	**5,66643**
$f_{4S201M}(I) = -0,0159I^2 + 0,4489I + 0,9633$	44,1098
$f_{5S201M}(I) = 1,4266I^{0,4078}$	8,17954
Контактор	
$f_{1BA47-063}(I) = 2,0334e^{0,1642I}$	63660,1506
$f_{2BA47-063Про}(I) = 0,9819I + 0,3$	81,90357
$f_{3BA47-063Про}(I) = 3,3949\ln(I) + 0,5722$	**17,59482**
$f_{4BA47-063}(I) = 0,1705I^2 - 0,8932I + 4,05$	775,8458
$f_{5BA47-063Про}(I) = 2,0438I^{0,5944}$	27,40549

Таким образом, определены зависимости изменения потерь мощности на полюс от номинального тока – это аппроксимирующие функции, имеющие наименьшее среднеквадратическое отклонение. При этом наиболее точной при аппроксимации является логарифмическая функция. Полученные результаты рекомендуется использовать для уточнения потерь электроэнергии в низковольтных цеховых сетях. Данные зависимости позволяют определить потери мощности автоматического выключателя ΔP на любой номинальный ток $I_{\text{ном}}$.

Источники

1. Грачёва Е.И. Анализ параметрической надёжности электрических контактов: монография. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2012. 144 с.

2. Шагидуллина А.В., Грачева Е.И. Сравнительное исследование эксплуатационных характеристик низковольтных аппартов [Электронный ресурс] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. № 1-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnoe-issledovanie-ekspluatatsionnyh-harakteristik-nizkovoltnyh-appartov (дата обращения: 11.01.2021).

3. Исследование параметров надежности низковольтных коммутационных аппаратов по эксплуатационным данным промышленных предприятий / Е.И. Грачева [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. № 1-2. С. 10–18.

УДК 004.41:621.314.222.8

АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ДЕФЕКТОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАСТВОРЕННЫХ В МАСЛЕ ГАЗОВ

С.Р. Паймухина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Stella77.7@mail.ru
Науч. рук. О.В. Владимиров

Определение технического состояния силовых трансформаторов, как фактор повышения эксплуатационной надежности в настоящее время имеет большую актуальность и значимость [1].

Ключевые слова: анализ, традиционные методы, техническое состояние трансформатора, дефект, концентрация газа.

Анализ растворенных в масле газов является одним из традиционных методов определения технического состояния трансформаторов, он признан одним из наилучших способов раннего обнаружения развивающихся неисправностей.

Лабораторные испытания масла проводятся с определенной периодичностью [2], что не позволяет оперативно реагировать на развивающийся дефект. Непрерывно контролировать концентрацию газов растворенных в трансформаторном масле позволяют стационарные газоанализаторы. Одним из таких приборов является газоанализатор Hydran 201 Ti.

Прибор улавливает 100 % водорода (основной опасный газ), а также чувствителен к угарному газу (возникает при перегреве бумаги), ацетилену (появляется при дуговых разрядах) и этилену (признак перегрева масла), позволяя контролировать основные причины отказов трансформаторов.

Определить вид и характер развивающегося дефекта можно по следующим критериям (см. таблицу):

– по концентрации растворенных в масле газов;

– по отношению концентраций пар газов.

Граничные концентрации растворенных в масле газов

	Концентрация газов, %			
	H_2	C_2H_4	C_2H_2	CO
Трансформаторы напряжением 110–500 кВ	0,01	0,01	0,001	$\frac{0,05}{0,06}$

Блок-схема алгоритма определения технического состояния силовых трансфор-маторов по анализу растворенных в масле газов с использованием газоанализатора Hydran 201 Ti представлена на рис. 1.

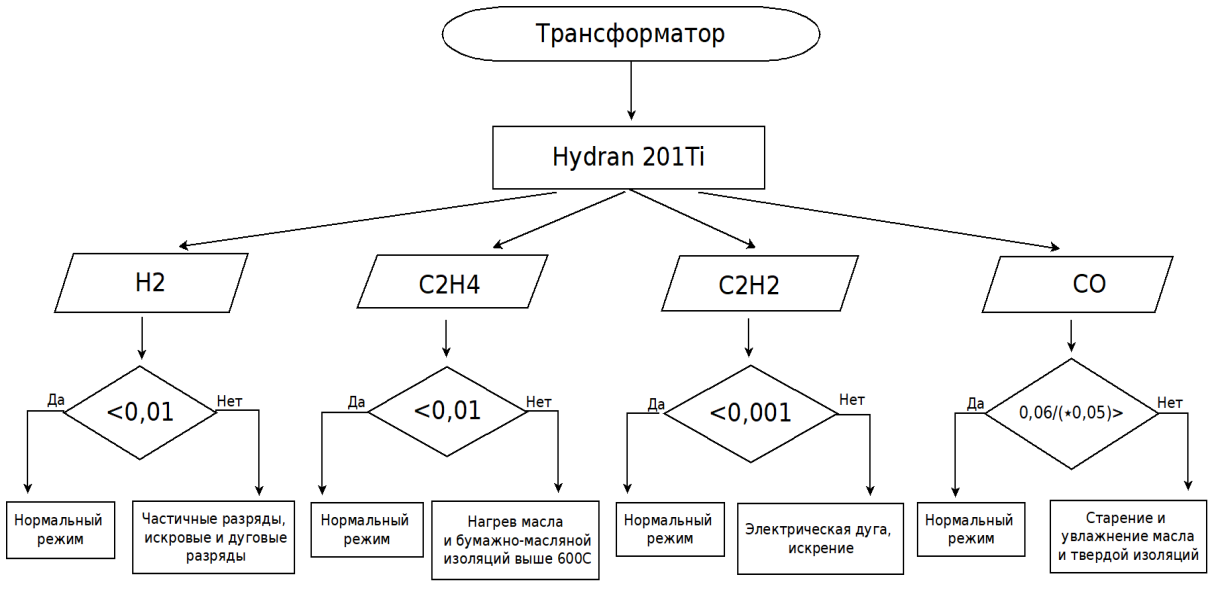


Рис. 1. Алгоритм определения развивающихся дефектов на основании показателя концентрации растворенных в масле газов

Если концентрация хотя бы одного газа была больше соответствующего граничного значения в 1,5 раза, то вид и характер развивающихся в трансформаторе повреждений определяется по отношению концентраций

газов [3]. Блок-схема алгоритма определения развивающихся дефектов на основании показателя отношение концентрации растворенных в масле газов представлена на рис. 2.

Если при этом концентрация CO < 0,05 %, то прогнозируется «перегрев масла», а если концентрация CO > 0,05 % – «перегрев твердой изоляции».

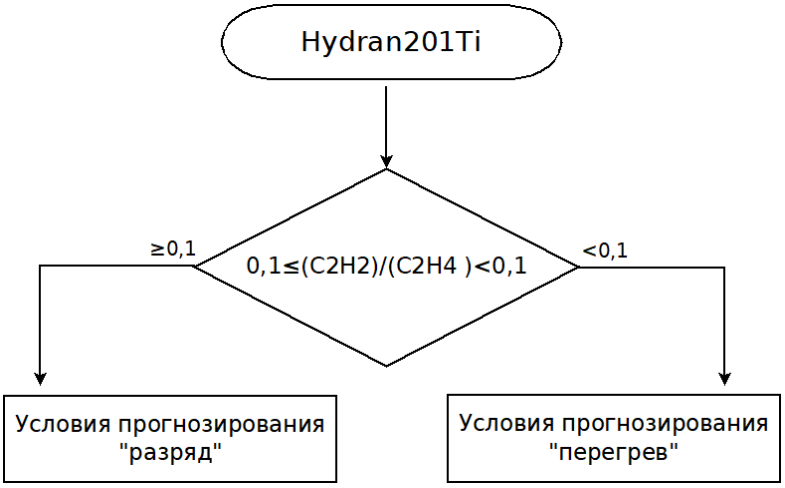


Рис. 2. Блок-схема алгоритм определения развивающихся дефектов на оснований показателя отношение концентраций растворенных в масле газов

Таким образом, разработанные алгоритмы определения дефектов высоковольтных трансформаторов на основании анализа растворенных в масле газов, позволяют в режиме реального времени отслеживать изменения в техническом состоянии трансформаторов и обнаруживать дефекты на ранней стадии их развития.

Источники

1. Давиденко И.В. Оценка технического состояния силовых трансформаторов по результатам традиционных испытаний и измерений: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. 96 с.

2. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивабщихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. М., 2001. 42 с.

3. Осотов В.Н. Диагностика мощных силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. URL: https://forca.ru/stati/podstancii/diagnostika-moschnyh-silovyh-transformatorov.html (дата обращения: 07.02.2021).

УДК 621.31

КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭФФЕКТИВНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Р.И. Рамазанова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ramzareg@icloud.com
Науч. рук. А.Г. Логачева

При обслуживании воздушных линий электропередачи (ВЛ) большой длины возникают трудности диагностики их технического состояния: на традиционный обход всей ВЛ уходит много времени. Более того, при обходе обслуживающий персонал не всегда оснащён средствами диагностики, достаточными для обнаружения всех дефектов элементов ВЛ, также возникает угроза для жизни технического персонала. Поэтому вопрос упрощения традиционных методов, нахождение новых инновационных решений в сфере обслуживания и диагностики является актуальной темой.

Ключевые слова: диагностика ЛЭП, лазерное сканирование, роботизированные технологии, дистанционное зондирование, воздушные линии электропередач.

Развитие технологий дистанционного контроля может кардинально изменить эти принципы диагностики воздушных линий электропередачи, вытеснив традиционный метод обхода воздушной линии электропередачи. Уже сейчас с помощью спутниковых технологий можно проверить состояние растительности вдоль ВЛ, устройства дистанционного зондирования могут определить повреждение провода и наличие гололёда, а некоторые образцы робототехники позволяют не только диагностировать участок ВЛ, но и произвести несложный ремонт провода.

В данной работе мы рассмотрели лазерное сканирование ЛЭП, дистанционное зондирование с помощью квадрокоптеров, а также использование роботизированных механизмов, способных произвести первичный ремонт и диагностику линии как комплекс мероприятий по эффективной диагностике ЛЭП.

Лазерное сканирование производит сбор информации с высокой производительностью, оно предоставляет точные пространственные геоданные о параметрах и характеристиках состояния ЛЭП в электронном виде, с данным устройством исключается субъективность уже на этапе сбора информации и ее передачи. У лазерного сканирования есть недостаток: оно не позволяет в полной мере производить весь объем проверки конструктивных элементов

Принцип лазерного сканирования основан на лазерных сканерах. С помощью сканеров реализуется массив лазерных точек, благодаря которым уже определяются формы и распознается местоположение интересуемой нами линии. В результате обработки всех данных можно определить геометрические параметры технического состояния ЛЭП с учетов ее дефектов, а также в какой местности она находится, может быть построена модель [1].

Также одним из перспективных направлений в диагностике ЛЭП является разработка и создание многофункционального беспилотного летательного аппарата (БПЛА), например, квадрокоптера. Основное преимущество таких летальных аппаратов этого класса является то, что они могут свободно летать в трех плоскостях, также отсутствует необходимость в специализированных взлетно-посадочных площадках [2].

Квадрокоптер позволяет эффективно решать сложные практические задачи. Чаще всего они задействуются при следующих работах: плановый осмотр (облет линий электропередач, наблюдение и фотографирование, диагностика ЛЭП и охранной зоны, выявление их дефектов и нарушений); аварийно-восстановительные работы; измерение провиса проводов; тепловизионный контроль силовых элементов высоковольтных линий; контроль допустимой высоты деревьев в зоне прохождения высоковольтных линий с помощью лазерного сканирования; съемка новых маршрутов линий электропередач и прилегающей территории, а также создание цифровой модели рельефа местности; проектирование новых путей прокладки ЛЭП с использованием имеющихся опор ЛЭП и новых моделей проводов и еще ряд других выполняемых задач.

К преимуществам такого метода относятся: возможность съемки в сложных метеоусловиях; эффективный мониторинг (ЛЭП обследуется на всей протяженности, съемка производится с разных ракурсов, а полученные снимки имеют высокое и качественное разрешение) [2, 3].

Диагностика и техническое обслуживание линий электропередач уже пользуются преимуществами разработок в области мобильной робототехники. Роботизированные технологии оказывают влияние на безопасность обслуживающего персонала благодаря дистанционному доступу к находящимся под напряжением компонентам, а также проверке и оценке механической целостности поврежденного проводника на существующие дефекты, а также осуществляется несложный ремонт проводников, если это требуется. Использование роботов часто выгодно в снижении затрат, повышения эффективности, повышение безопасности и обеспечение доступа к конкретным схемам [4, 5].

Токийская модель робота – HiBot, которая создана в сотрудничестве с японским энергопоставщиком Kansai Electric Power. Данный робот нового поколения способен диагностировать сразу несколько кабелей одновременно. Разработанный робот Expliner способен перемещается по высоковольтным линиям электропередач. Может исследовать линию, которая состоит из четырёх кабелей, расположенных через каждые 30 м, удерживаемые опорами. Он успешно протестирован при напряжениях до 500 кВ. Expliner способен осматривать всю поверхность проводов. С помощью него можно вовремя обнаружить коррозию или другие повреждения, а также есть возможность разглядеть малейшие дефекты в диаметре кабеля, которые могут свидетельствовать о нарушении внутренней или внешней структуры линии. Вдобавок ко всему, у лазеров есть камера с высоким разрешением, которая способна фотографировать различные элементы опор и линий [5].

Таким образом, благодаря лазерному сканированию, дистанционному зондированию с помощью квадрокоптеров и роботизированных механизмов производится полный осмотр линий электропередач доступ к которым по земле получить практически невозможно. Данный комплекс по диагностике ЛЭП сможет обеспечить безопасность специалистов, сократить временные затраты на осмотр и несложный первичный ремонт, а также сделает обследования менее сложным и трудоемким.

Источники

1. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р.Лазерная локация земли и леса: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. 230 с.

2. Дракин И.И. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности. М.: Машиностроение, 1973. 224 с.

3. Широкова Т.А., Антипов А.В., Арбузов С.А. Опрделение изменений на местности с применением данных лидарной съемки // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 1, вып. 4. С. 38–45.

4. Винк Х.Д.А., Яздани И. Линия электропередач коммуникации: современное состояние и будущие тенденции // Communication. 2003. Т. 41. С. 34–40.

5. Обследование ЛЭП с помощью квадрокоптера [Электронный ресурс]. URL: https://slysky.ru/blog/lep-copter.html (дата обращения 01.03.2021).

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА ОБРЫВА ФАЗЫ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Н.Н. Туйтанова[1], Р.У. Галеева[2], А.Н. Турдукулов[3]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]t_nargiz_n98@mail.ru, [2]raisa_gal.52@mail.ru, [3]alym.turdukulov@mail.ru

Обрывы фаз в распределительных сетях 10 кВ являются одним из наиболее частых повреждений, приводящих к нарушению работы потребителей, созданию электро- и пожароопасных ситуаций. В тезисе приведена оценка обрыва фазы в воздушной линии напряжением 10 кВ на работу потребителей сети 0,4 кВ..

Ключевые слова: воздушная линия, обрыв фазы, приемная подстанция, моделирование, программный комплекс Matlab Simulink.

Обрывы проводов составляет 30–40 % всех аварийных режимов, которые приводят к нарушению электроснабжения потребителей, создают электро- и пожароопасные ситуации, представляет угрозу для людей и животных. Поэтому исследования обрывов фазных проводов ВЛ и их влияния на режим сети 0,4 кВ потребителей позволит своевременно выявлять аварийные ситуации, минимизировать перерывы в электроснабжении потребителей [1, 2].

В работе проведен анализ влияния обрыва фазы ВЛ сети 10 кВ, работающей с изолированной нейтралью, на режим работы сети 0,4 кВ с помощью программного комплекса Matlab Simulink с использованием встроенной утилиты Matlab Powergui Compute RLC Line Parameters [3]. Структурная схема модели разработана с помощью библиотеки Simscape Power Systems и приведена на рис. 1. Обрыв фазы *A* ВЛ моделируется с помощью блока Breaker, который нормально замкнут и отключает фазу *A* через 0,025 с после запуска модели. ВЛ напряжением 10 кВ длиной 80 км проводом АС-35 моделируется с помощью блока Three-Phase PI Section Line.

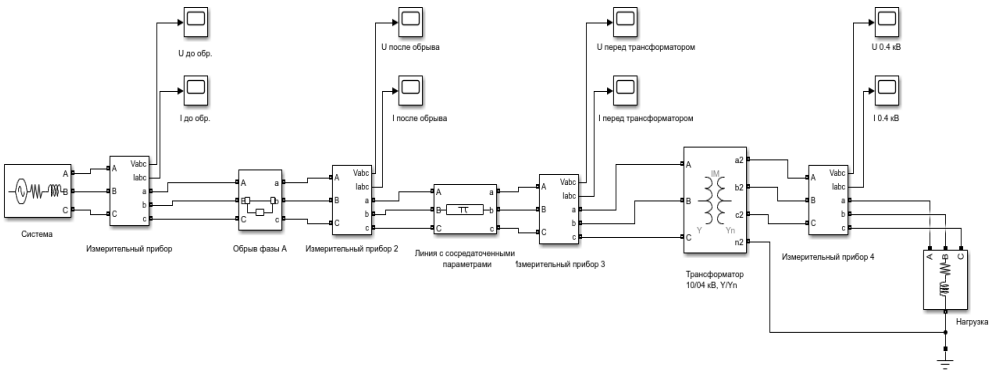


Рис. 1. Тестовая модель для оценки режима напряжений сети 0,4 кВ при обрыве фазы ВЛ 10 кВ

На приемной подстанции установлен трансформатор ТМ-1000 кВА напряжением 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» с симметричной нагрузкой по фазам. Осциллограммы линейных и фазных напряжений на стороне 0,4 кВ, полученные в ходе эксперимента с помощью блока Scope, представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

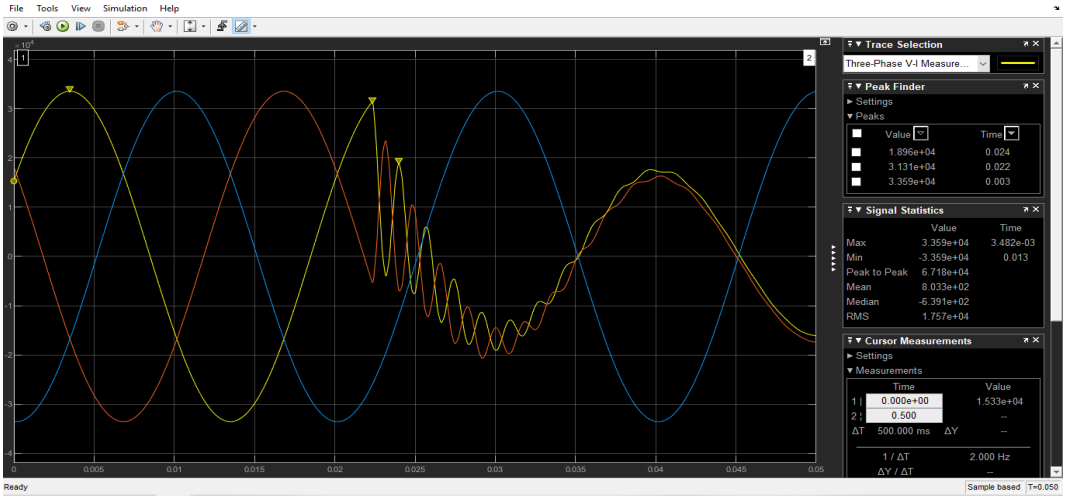


Рис. 2. Осциллограмма линейных напряжений на стороне 0,4 кВ подстанции при обрыве фазы А ВЛ 10 кВ со стороны питающей системы

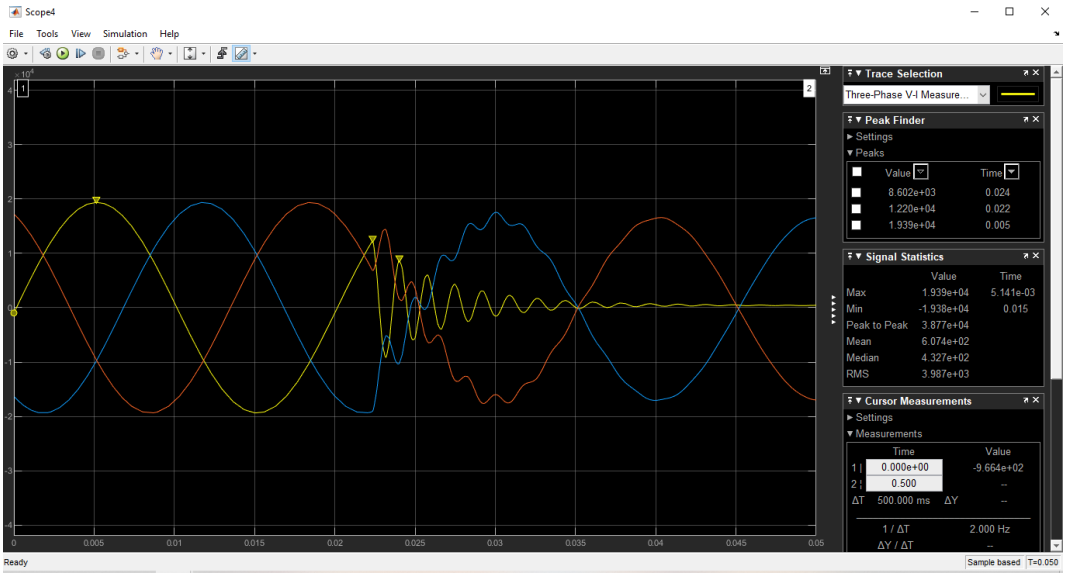


Рис. 3. Осциллограмма фазных напряжений на стороне 0,4 кВ подстанции при обрыве фазы А ВЛ 10 кВ со стороны питающей системы

Из осциллограмм видно, что при обрыве фазы А на ВЛ 10 кВ наблюдается сильный провал линейных напряжений U_{AB} и U_{AC} в сети 0,4 кВ с высокочастотными составляющими. Наблюдается «деформация» треугольника линейных напряжений U_{AB} и U_{AC} (см. рис. 2).

На оборванном проводе со стороны приемной подстанции (ПП) при схеме соединения «звезда-звезда с нулем» напряжение фазы *A* снижается до нуля, фаз *B* и *C* до $0{,}86U_{ф}$.

При схеме соединения обмоток трансформатора «треугольник-звезда с нулем» напряжение фазы А присутствует и может возрасти до фазного. Это зависит от группы соединения обмоток. Высокочастотные составляющие присутствуют во всех фазах, что может служить информацией для выявления данного вида несимметричного режима работы ВЛ, выбора соответствующей защиты.

Источники

1. Сазыкин В.Г. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие. Краснодар: КубГАУ, 2017. 255 с.

2. Галеева Р.У., Хасаншин А.А. Исследование влияния места обрыва фазы воздушной линии напряжением 10 кВ на длительность протекания переходного процесса в программе MATLAB SIMULINK // Тинчуринские Чтения – 2018: матер. Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2018. Т. 1. С. 216–217.

3. Дьяконов В.П., Пеньков А.А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике: справочник. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 816 с.

УДК 628.977.1

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ВЫСОКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В.Н. Хабибуллина[1], Н.В. Денисова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]venera-9797@mail.ru, [2]natali.denisova@bk.ru

Представлена модернизация промышленных систем освещения, путем выбора энергоэффективных осветительных установок, отвечающих высоким требованиям по качественным характеристикам.

Ключевые слова: светодиодный светильник, промышленная система освещения, энергоэффективность, безопасность, долговечность, пульсация, цветопередача.

Промышленные помещения отличаются большой площадью, на которой необходимо организовать удобные и качественные условия для труда всех сотрудников. Одним из наиболее важных факторов, влияющих на производительность персонала, является освещение рабочей площади. От организации освещения зависит не только производственный процесс, но и физическое состояние работников организаций и предприятий. Свет может быть, как естественным, так и искусственным. Если здание можно спроектировать так, чтобы в него попадало максимальное количество естественного света, эту особенность используют сполна при его проектировке.

К искусственным источникам предъявляются особые требования, которые утверждены на законодательном уровне. 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]. 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, т. е. 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].

Наиболее подходящими промышленными осветительными установками являются светодиодные светильники (LED). Они обладают рядом очень важных преимуществ:

1) достаточно долговечны. При постоянной эксплуатации в течение суток, эти светильники могут использоваться до 6 лет. Это максимально снижает частоту обслуживания и замены светильников;

2) LED-светильники потребляют намного меньше электрической энергии (по сравнению с традиционными источниками свет), это очень важно для промышленных предприятий, стремящихся приблизить свой индекс энергоэффективности к идеальному значению. Расходы на электроэнергию будут меньше, чем с любыми другими светильниками, а это означает, что часть сэкономленных средств можно будет потратить на другие нужды предприятия;

3) отсутствие мерцания у LED-светильников позволит работникам дольше не уставать. При мерцающем свете, внимание понемногу рассеивается, это может привести к травматизму и возможному простою в цехах производства. В лучшем случае существенно снизится темп работы, что неблагоприятно скажется на производственном процессе;

4) к важным преимуществам светодиодных светильников относятся высокий показатель коэффициента цветопередачи (более 85 Ra) и быстрое зажигание. Помимо вышесказанного, 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 корпус, устойчивый к повреждениям и царапинам, герметично соединённый с плафоном.

На большинство современных светильников устанавливают рассеиватель, который увеличивает расход светового потока, со временем рассеиватель загрязняется, что приводит к ухудшению интенсивности свечения. Для светодиодных осветительных приборов установка рассеивателя не всегда необходима. В производственных цехах это очень важно, так как высокий уровень пыли 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. Также важнейшей положительной характеристикой LED- светильников является их полноценная интеграция в интеллектуальных системах управления, которые позволяют достичь высокого уровня энергоэффективности осветительной сети.

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 объёме соответствуют всем требованиям. Среди многообразия этих светильников можно найти подходящие для цехов, складов, промышленных площадок и территорий заводов. Универсальность таких светильников заключается в их использовании в любых условиях, что выгодно, надежно и безопасно.

Источники

1. Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение – одна из важнейших проблем современной светотехники [Электронный ресурс]. URL: http:// www.energosovet.ru/stat708.html (дата обращения: 04.02.2021).
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: утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. № 18-78. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 04.02.2021).
4. ГОСТ Р 54350-2011. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2011. 38 с.

УДК 629.3.083.4

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Э.М. Хисматуллина[1], А.М.Копылов[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]hismat.97@mail.ru, [2]kopylov.scl@inbox.ru

Интеллектуальные системы автоматического управления освещением за последние годы значительно продвинулись. Это связано с несколькими факторами: всеобщая компьютеризация, развитие микроконтроллеров и средств их программирования, поиском способов экономии ресурсов, а также стремлением к большему удобству и комфорту.

Ключевые слова: Интеллектуальная система, искусственный интеллект, управление освещением.

С одной стороны, это связано с ростом цены на электроэнергию и необходимостью более эффективного управления доступными финансовыми средствами, с другой стороны, это связано с государственными мерами, направленными на повышение эффективности использования электроэнергии, в частности, регулируемые Федеральным законом 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности ...».

В настоящее время существует два основных направления технического прогресса в области электрического освещения: модернизация электрических осветительных приборов и совершенствование систем управления электрическим освещением. Первое направление связано с разработкой новых типов галогенных и люминесцентных ламп, а также белого светодиодного освещения [1].

Рассмотрим систему освещения в отдельной комнате с окном, которая обеспечивает необходимый уровень освещения с 6 до 22 ч. Колоколообразная кривая, показанная на рис. 1, представляет уровень естественного освещения. Из графика видно, что с 9 до 17 ч (зона *B*) в искусственном освещении нет необходимости. Кроме того, имеется избыток естественного света (показано пунктирными линиями). Его необходимо устранить, например, ограничив доступ естественного света в комнату. С 6 до 9 ч и с 17 до 22 ч нет естественного освещения, поэтому необходимо включить искусственное освещение (зона *A*). С 6 до 9 ч и с 17 до 22 ч дневного света не хватает, поэтому необходимо включить искусственное освещение (зона *A*). При этом есть возможность сэкономить электроэнергию, если освещение включается не на полную мощность, а только для компенсации имеющегося недостатка естественного света (см. участки с вертикальной штриховкой) [2].

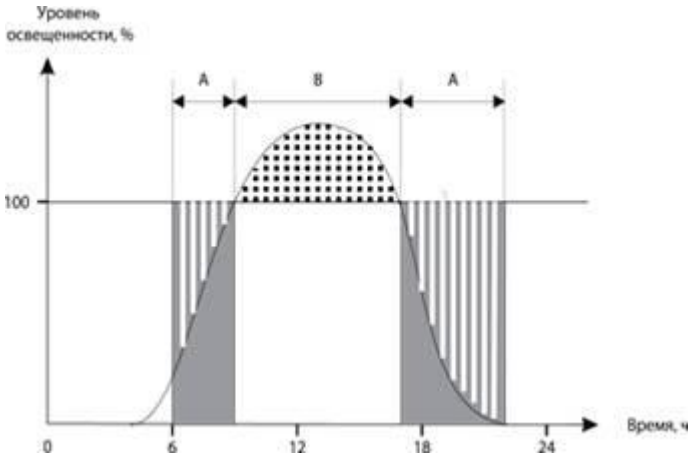


Рис. 1. Суточный цикл освещенности помещения

Следует понимать, что изображение, показанное на рис. 1, не является постоянным, так как оно подвержено изменениям в календаре и климате. Установив систему освещения в определенный режим, можно добиться желаемых характеристик освещения. Примером интеллектуальной комбинированной системы освещения является схема освещения, показанная на рис. 2. Использование датчика присутствия людей в помещении позволяет полностью выключить освещение в том случае, если людей нет в помещении. Несложно предположить, что за счет такого дополнительного функционала можно получить значительную экономию энергии [3].

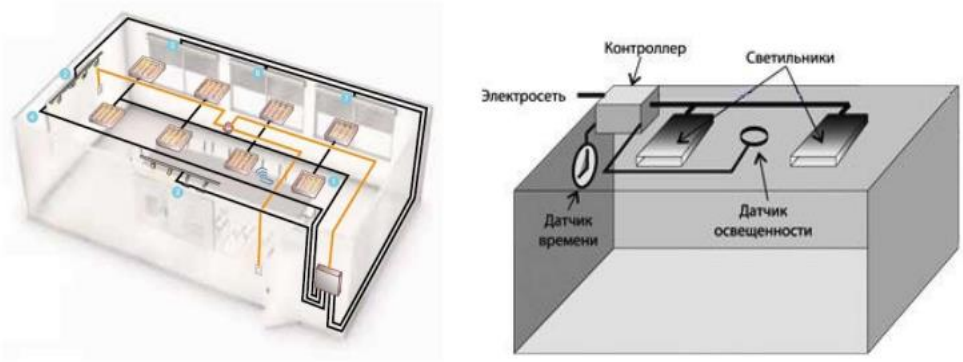


Рис. 2. Пример схемы интеллектуального управления освещением

Естественный свет направлен по прямой линии и не имеет пульсации, поэтому не причиняет вреда человеческому телу. Используя комбинированные системы освещения, можно достичь высокой экономии энергии и в то же время создать световую среду, благоприятную для деятельности человека.

Поскольку системы управления освещением можно использовать в любом помещении, эти системы будут востребованы в медицинских учреждениях, учебных заведениях, промышленных объектах, теплицах и т. д.

Источники

1. Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Unit Using the MC68HC908KX8 [Электронный ресурс]: Designer Reference Manual. URL: https://www.nxp.com/files-static/microcontrollers/doc/ref_manual/DRM004.pdf (дата обращения: 28.02.2021).

2. Шиков С.А., Ивлиев С.Н., Алексеев Е.Г. Интерфейсы управления освещением // XLIV Огаревские чтения: матер. науч. конф. / отв. за вып. П.В. Сенин. Саранск, 2016. С. 57–62.

3. Automation and control of lighting for public buildings [Электронный ресурс]. URL: https://science-education.ru/en/article/view?id=14107 (дата обращения: 01.03.2021).

4. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 01.03.2021).

5. Гладштейн М. Интеллектуальные системы автоматического управления электрическим освещением // Электронные компоненты. 2009. № 3.

6. Стружков П.В. Способы экономии электроэнергии на производстве и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции // Энергосовет. 2013. № 2 (27).

УДК 681.586.78

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ DANFOSS ECL COMFORT В СИСТЕМЕ ПОДОГРЕВА ВОДЫ

А.А. Цветкова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
tsvetkov9@mail.ru
Науч. рук. А.Н. Цветков

Описан пример замены традиционных систем подогрева воды бассейна с применением дискретных клапанов, управляемых по температуре выхода воды на систему полноценного регулирования с защитой от «перетопа» и соответственно более энергоэффективную.

Ключевые слова: регулятор, регулирующий клапан, поддержание температуры, автоматическое управление, бассейн.

Температура воды любой системы подвержена снижению по ряду причин, например в плавательном бассейне она снижается за счет теплопередачи через стенки чаши и за счет сильного испарения с поверхности. При этом скорость снижения зависит и от наружной температуры и от количества плавающих.

Традиционно температура воды поддерживается с помощью теплообменников и регуляторов, обеспечивающих требуемый уровень температуры на выходе из теплообменника, что ни каким образом

не коррелируется с температурой воды в бассейне. При этом измерение температуры подаваемой воды производится на выходе из теплообменника и она может сильно отличаться от воды в самом бассейне. Пример такой схемы показан на рис. 1. Здесь вода чаши бассейна (B) циркулирует с помощью насоса (*P*) через теплообменник. Применяемый при этом регулятор температуры измеряет температуру воды по датчику (*S*) и подает команду на открытие клапана (*V*), который работает только в двух режимах – открыт или закрыт. В это время через теплообменник начинает проходить теплоноситель, который нагревает воду и по достижении требуемой температуры клапан закрывается. Нужно отметить, что температура воды в чаше бассейна и на выходе из теплообменника может сильно отличаться.

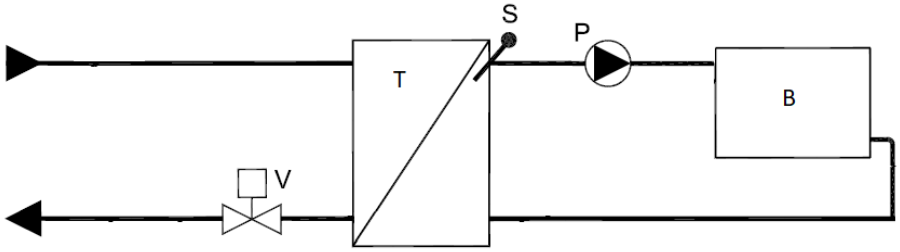


Рис. 1. Традиционная схема подогрева воды

Альтернативным решением для данной системы может быть применение регулятора ECL Comfort производства Danfoss в сочетании с регулирующим клапаном. При этом регулятор применяется по схеме, показанной на рис. 2.

В состав регулятора входит целый набор датчиков температуры (S), устанавливаемых на выходе из теплообменников и позволяющие поддерживать любой оптимальный режим подогрева воды. Так верхняя часть схемы обеспечивает требуемую температуру радиаторов отопления в зависимости от наружной температуры, а нижняя часть обеспечивает температуру горячей воды [1].

Регулятор, обеспечивающий поддержание температуры воды на выходе из теплообменника подключен к единой информационной сети управления плавательным бассейном и позволяет производить корректировку уставок.

Наиболее оптимальным будет применение регулятора с системой подогрева горячей воды, при этом оценка температуры воды осуществляется по датчику, установленному в возвращаемой из бассейна воды S13, а температуру поддерживаемой воды по датчику S4 [2].

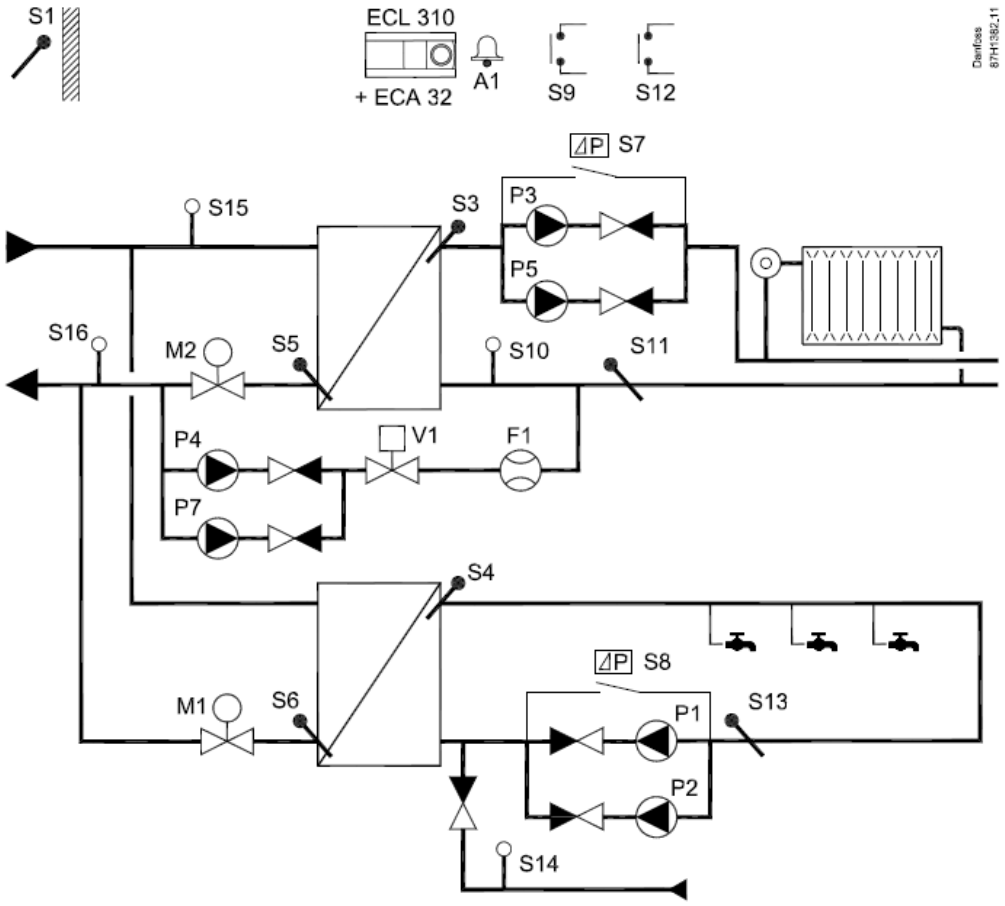


Рис. 2. Типовая схема работы регулятора ECL Comfort

Процесс регулирования заключается в измерении температуры воды в бассейне, сравнении ее с заданной температурой и вычислении требуемой температуры на выходе из теплообменника. При превышении температуры над заданной, система стремится охладить воду путем снижения температуры подаваемой воды и наоборот при снижении температуры система стремится подогреть воду путем увеличения температуры подаваемой воды.

Регулятор *M*1 практически постоянно находится в работе. Регулирование осуществляется плавно, а не скачками, благодаря чему достигается максимальная экономия энергии.

Источники

1. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Цветков А.Н. Синтез и реализация цифрового регулятора высокого порядка на программируемом логическом контроллере // Тр. IX Междунар. (XX Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу. 2016. С. 187–190.

2. Доан Нгок Ши, Цветков А.Н. Использование элементов системы электроснабжения в качестве датчиков параметров в системах автоматизированного управления // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. Альметьевск, 2019. С. 389–392.

УДК 681.586.78

АВТОМАТИЧЕСКИЙ НАГРЕВ ВОДЫ БАССЕЙНА С ПОМОЩЬЮ УЗЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.А. Цветкова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
tsvetkov9@mail.ru
Науч. рук. А.Н. Цветков

Описан регулятор, внедренный в систему поддержания температуры воды плавательного бассейна, благодаря которому существенно повышена точность регулирования и стабильность состояния бетонной чаши бассейна.

Ключевые слова: регулятор, поддержание температуры, автоматическое управление, бассейн.

Поддержание температуры бассейна обычно возлагается на одну из важнейших систем, обеспечивающих нормальное функционирование бассейна на систему подогрева воды. От уровня температуры воды зависит уровень комфорта посетителя и его тепловой режим при выполнении упражнений, связанных с длительными заплывами.

Традиционно температура воды поддерживается с помощью теплообменников и регуляторов, объединенных в единый узел, обеспечивающих требуемый уровень температуры воды, подаваемой в основной объем чаши, что ни каким образом не коррелируется с температурой воды в бассейне. При этом приходится постоянно менять режим работы регулятора теплообменника путем изменения уставки температуры воды на выходе. В итоге получается отклонение температуры воды в бассейне на 2–3 °С.

Современные требования спортсменов к температуре воды не позволяют проводить комфортные тренировки при таких отклонениях, что сразу же отражается в негативных отзывах о соотношении цены и качества

предоставляемых услуг. Возникновение таких негативных моментов повлекло за собой необходимость ввести элемент автоматизации поддержания температуры воды.

Регулятор, обеспечивающий поддержание температуры воды на выходе из теплообменника подключен к единой информационной сети управления плавательным бассейном и позволяет производить корректировку уставок. Наиболее оптимальным регулятором для данной системы является программный код, основанный на законах ПИД регулирования [1], т. е. в рассматриваеваемой системе применен цифровой регулятор.

Принцип непрерывной работы данного устройства заключается в подаче выходного сигнала о силе мощности, необходимой для поддержания регулируемого параметра. Аппарат использует сложную математическую формулу, в составе которой есть три коэффициента: пропорциональный, интегральный, дифференциальный.

Объем воды плавательного бассейна «Акварена», расположенного в г. Казань составляет 2 000 м^3, поэтому процесс регулирования является достаточно инерционным, реализованный в системе управления цифровой регулятор обеспечивает поддержание температуры бассейна с периодичностью обновления выходного сигнала в 30 мин, что является вполне достаточным при определенной величине коэффициентов [2].

Участок системы, задействованной в системе регулирования показан на рис. 1. Процесс регулирования температуры воды и вычисления управляющего воздействия показан на рис. 2.

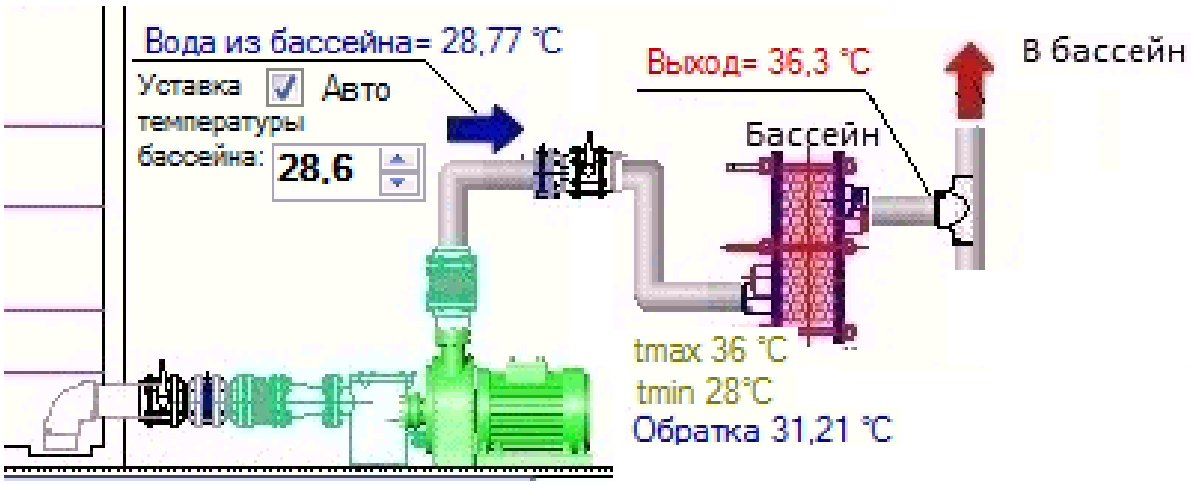


Рис. 1. Система регулирования температуры воды бассейна

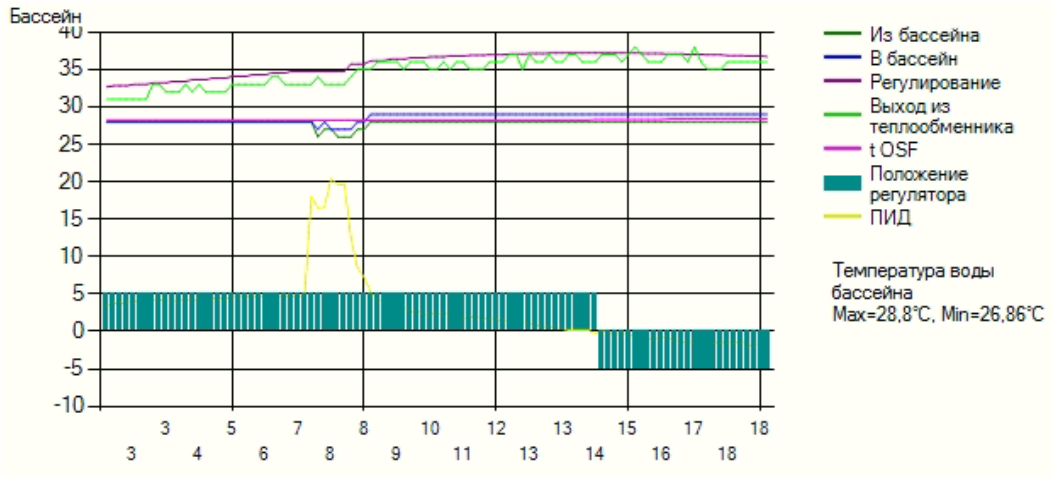


Рис. 2. Процесс работы ПИД-регулятора при нагреве и охлаждении воды

Процесс регулирования заключается в измерении температуры воды в бассейне, сравнении ее с заданной температурой и вычислении требуемой температуры на выходе из теплообменника. При превышении температуры над заданной, система стремится охладить воду путем снижения температуры подаваемой воды и наоборот при снижении температуры система стремится подогреть воду путем увеличения температуры подаваемой воды.

Процесс изменения температуры воды бассейна зависит от многих факторов, например, температура на улице, температура воздуха в бассейне, которая существенно влияет на объем испаряющейся с поверхности воды и на скорость остывания, поэтому регулятор практически постоянно находится в работе. Случаи, когда регулятор работает на одной и той же уставке температуры очень редкие. Но применение ПИД-регулятора позволяет стабилизовать процесс отклонения температуры от заданной в пределах 0,5 °С.

Источники

1. Малёв Н.А., Погодицкий О.В., Цветков А.Н. Синтез и реализация цифрового регулятора высокого порядка на программируемом логическом контроллере // Тр. IX Междунар. (XX Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу. 2016. С. 187–190.

2. Доан Нгок Ши, Цветков А.Н. Использование элементов системы электроснабжения в качестве датчиков параметров в системах автоматизированного управления // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. Альметьевск, 2019. С. 389–392.

УДК 621.311.4

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОМПЛЕКТНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА КРУН-6кВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

А.А. Шишов[1], В.К. Ваштиев[2], А.В. Радикова[3]
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, г. Ижевск
[1,2,3]otverta@mail.ru .
Науч. рук. Н.П. Кондратьева

Большинство действующих объектов электроснабжения на сегодняшний день находиться в эксплуатации больше 50 лет и нуждаются в реконструкции с применением боле нового и высококачественного оборудования. В данной статье приведен пример замены устаревшего оборудование на более новое с изменением схемы питания.

Ключевые слова: Комплектно распределительное устройство, трансформатор, вакуумный выключатель, собственные нужды.

Большинство действующих на данный момент объектов электроснабжения были запущены в эксплуатацию в период с 1961 г., с тех пор замена оборудования, а в частности собственных нужд 6кВ, на рассматриваемом объекте не производилась. Схема питания потребителей собственных нужд имеет ряд недостатков, существенно снижающих надежность, к которым можно отнести:

– осуществление питания одной секции от двух трансформаторов, присоединённых к разным источникам электроснабжения;

– объединение секций без возможности получения резервного питания от любого из трансформаторов;

– возможность полной потери питания потребителей собственных нужд.

Помимо очевидных недостатков схемы питания потребителей собственных нужд существует ряд проблем связанных с моральным и физическим износом существующего оборудования, которое находится в эксплуатации уже порядка пятидесяти лет. Исходя из этого, установленное оборудование не может конкурировать с более новыми моделями как в плане энергоэффективности, так и по надежности. На основании этого произведен расчет реконструкции сети собственных нужд [1]. При разработке схемы электроснабжения собственных нужд было представлено применение оборудования КРУ 6 кВ трех фирм-производителей:

1) ABB – ячейки 6 кВ типа «ZS1» с вакуумными выключателями VM1;

2) ЗАО «Высоковольтный союз» – ячейки 6 кВ типа «КУ10С» с вакуумными выключателями типа ВРС-6;

3) ГК «Таврида Электрик» – ячейки 6 кВ типа «Д-12Р» с вакуумными выключателями BB/TEL и VM1.

Несколько лучше показатели эффективности с применением оборудования 6 кВ производства ГК «Таврида Электрик» [2]. Коммутационное оборудование 13,8 кВ принято производства фирмы «ABB» и «Таврида Электрик», а реактор 13,8 кВ и трансформатор 13,8/6,3 кВ производства ЗАО «Росэнерготранс». Разъединитель в цепи питания трансформатора собственных нужд 13,8/6,3 кВ принят типа РВП(З)-20-8000У3 производства фирмы ЗАО «Энергия» (г. Великие Луки).

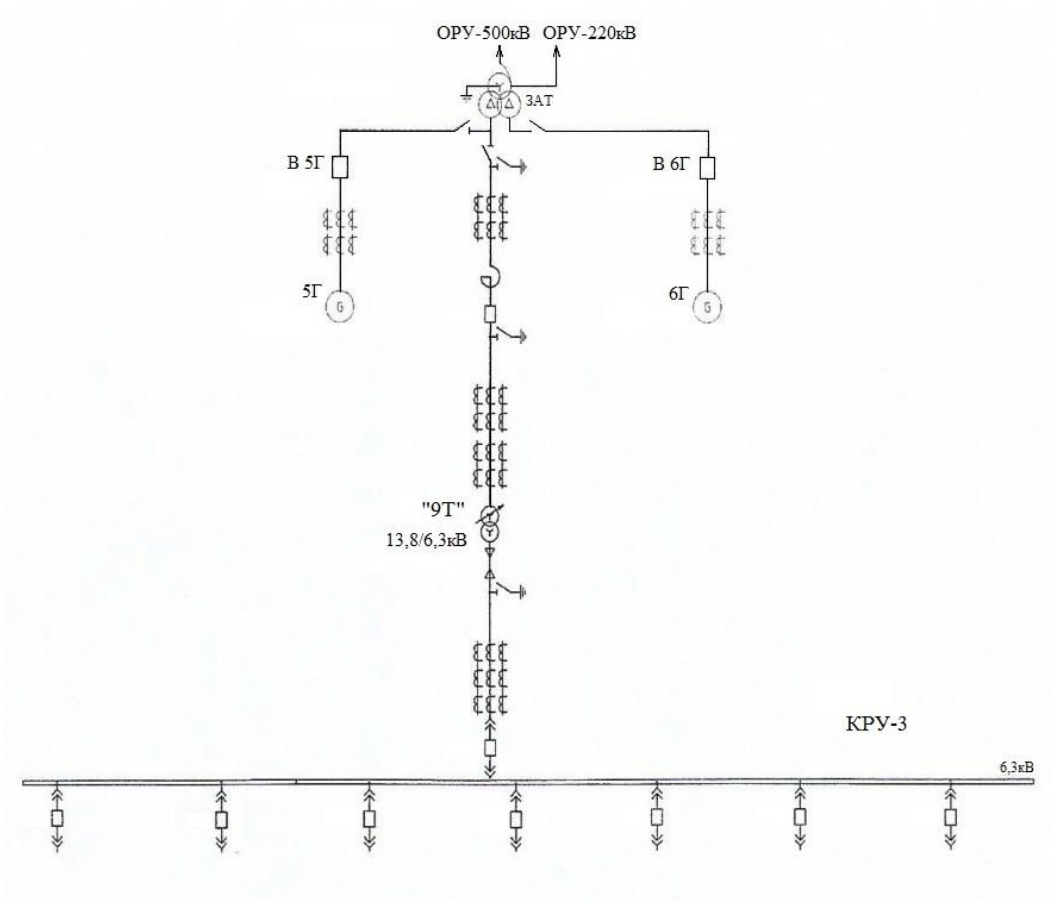


Схема КРУ-3

При рассмотрении технических характеристик построения и внедрения новой схемы собственных нужд на объекте электроснабжения, отмечаются следующие преимущества реконструкции:

1) наиболее надежная схема электроснабжения;

2) возможность более простой поэтапной реконструкции без отключюючения потребителей собственных нужд 6 кВ [3];

3) наиболее оптимальные компоновочные решения: размещение нового оборудования секции «КРУ-3» и оборудования цепи ее электроснабжения на свободных площадях главного корпуса;

4) лучшие показатели эффективности.

Источники

1. Тройников И.А., Кондратьева Н.П. Сети телемеханики напряжением более 4 кВ // Современному АПК – эффективные технологии: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию д-ра с.-х. наук, проф., з. д. н. РФ, поч. раб. ВПО РФ В.М. Макаровой. 2019. С. 143–149.

2. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В. Выбор кабельных линий 0,4 кВ для тепличных комбинатов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 2 (35). С. 17–25.

3. Повышение надежности эксплуатации электрооборудования и сетей 6–10 кВ при использовании цифровых технологий / Н.П. Кондратьева [и др.] // Актуальные вопросы энергетики АПК. 2021. С. 42–45.

Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

УДК 621.3.084.2

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И АГРЕГИРОВАНИЯ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ С ДАТЧИКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO

А.А. Абдуллов[1] , З.Р. Баймухаметов[2], А.А. Потанин[3], А.Д. Арсланов[4]
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]arturabdullov97@gmail.com, [2]zeromax7931@gmail.com,
[3]gornego.tes@gmail.com, [4]arslanovad97@gmail.com
Науч. рук. Д.А. Иванов

Информация о наличии или отсутствии сетевого переменного напряжения 220 В зачастую бывает полезной в некоторых приложениях, например, в устройствах домашней автоматики или приборах учета и регистрации напряжений. Для такой цели желателен несложный, недорогой и достаточно миниатюрный датчик, который бы сообщал управляющему устройству требуемую информацию о состоянии сетевого напряжения. Например, датчик на платформе Arduino.

Помимо всего необходимо автоматизировать процесс получения данных, их агрегации и хранения. Для безопасного и удобного хранения можно использовать базу данных временных рядов Prometheus. Так же стоит обратить внимание, что необходим удобный и понятный интерфейс. В решении данной задачи можно воспользоваться графическим интерфейсов Grafana.

Ключевые слова: датчик сетевого напряжения, система мониторинга, агрегация данных, хранение данных, Arduino, Prometheus, Grafana.

Цель проекта – создание безопасной, отказоустойчивой, бесплатной и простой в обслуживании системы мониторинга и агрегации данных, получаемых с датчика для измерения сетевого напряжения на базе Arduino. Конечный результат должен представлять собой базу данных временных рядов Prometheus, программный код для агрегации данных, удобный и простой интерфейс для интерпретации данных в виде графиков и таблиц.

Рассмотрим входные данные. В качестве тестового стенда для реализации проекта используется программируемое устройство Arduino Nano, трансформатор 220 В, диодный мост, 2 резистора с сопротивлением в 50 кОм, конденсатор с номиналом меньшем, чем выходное напряжение трансформатора. В скетче Arduino задержка delay = 1000. Выводятся данные в документ формата *.txt – текстовый блокнот.

В первую очередь необходимо создать реляционную базу данных, например, MSSQL, для хранения получаемых с датчика значений. Достаточно создать таблицу с первичным ключом попытки измерения напряжения, а в качестве вторичных ключей использовать время записи значения в таблицу и само значение напряжения сети:

Id	Voltage	InsertTime
1	0	2021-01-01 07:00:00
2	214	2021-01-01 07:00:01
3	214	2021-01-01 07:00:02

Следующим шагом необходимо перевести данные из текстового блокнота в формат *.SQL. Для этого используется функция **BULK INSERT**. Например,

```
BULK INSERT TestData.Voltage
FROM '\\user\data\voltage.txt'
```

Данные действия необходимы, так как Prometheus работает с парами «ключ – значение». Ключ описывает, что мы измеряем, а значение хранит фактическую величину формата **int**. Ключ в данном контексте будет являться метрикой [1].

Для вывода метрик в формате Prometheus нам необходимо подключить дополнительный плагин в виде **telegraf**. **Telegraf** – клиент, написанный на языке программирования Golang и работающий в виде сервисного фонового приложения. Telegraf устанавливается, либо с помощью команд **apt get install**, либо путем копирования репозитория с первоисточника на сервисе **github**. Затем подключается дополнительный плагин exec для возможности вывода метрик из ранее созданной базы данных MSSQL [2].

Следующим этапом будет создание SQL запроса и PowerShell скрипта для запуска этого самого SQL запроса. SQL запрос должен выводить данные в формате InfluxDB – формат *.json. Запросы представлены на рис. 1 и 2 [3].

```
1  USE #tempDataBase
2  SELECT CONCAT('voltage_result, check_number=', Id, ' value=', Voltage)
3    FROM TestData.Voltage
```

Рис. 1. Запрос SQL для формирования метрики

```
1  foreach ($f in Get-ChildItem -path "K:\Tools\Monitoring\SQL\Voltage" -Filter *.sql)
2  {
3  invoke-sqlcmd -ServerInstance test.server.com -Database tempDataBase -InputFile $f.fullname | foreach { $_.Column1 }
4  }
```

Рис. 2. PowerShell скрипт для запуска SQL запроса

Для автоматизации процесса сбора и записи метрик в базу данных необходимо изменить базовую конфигурацию **telegraf** и задать таймер на выполнение запроса для формирования метрики.

```
[[inputs.exec]]
   command = "powershell K:/Tools/Monitoring/VoltageState.ps1"
   data_format = "influx"
   interval = "1s"
```

Рис. 3. Конфиг telegraf для цикличного выполнения PowerShell скрипта

При помощи графического интерфейса Grafana мы можем визуализировать все в виде графиков и настроить оповещения в случае отсутствия напряжения, недоступности устройства для измерения напряжения (Arduino Nano), отсутствия метрик (значение **NULL** либо **No Data**).

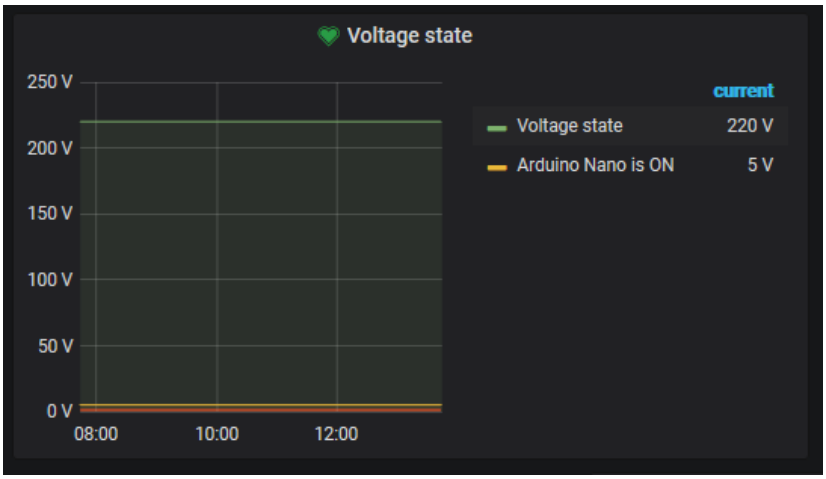


Рис. 4. Визуализация полученных данных в Grafana

Последним шагом будет автоматизировать процесс создания резервных копий базы данных с значениями, которые мы получаем с измерительного датчика, а также настройка репликации.

Для создания автоматического процесса создания резервных копий используется SQL Agent в виде задача с заранее заданным расписанием. Для отправки уведомлений в случае неуспешной попытки создания резервной копии используется встроенный плагин **DatabaseMail**.

В случае репликации настраиваются два дополнительных сервера с аналогичной базой данных для создания отказоустойчивого кластера. Посредствам голосования кворума SQL кластера выбирается мастер реплика и две вторичных реплики. В таком виде в случае отказа любого из SQL серверов данные не будут утеряны.

К преимуществам данной системы можно отнести ее отказоустойчивость, безопасность хранения данных, удобство пользования, бесплатное программное обеспечение. Также система мониторинга позволяет не терять данные в случае внештатных сбоев отдельных компонентов системы, настраивать оповещения пользователю для своевременного реагирования.

Источники

1. Абдуллин Н. Полное руководство по Prometheus в 2019 году [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/company/southbridge/blog/455290 (дата обращения: 25.01.2021).

2. Нэльсон Д. Инструкция по установке telegraf клиента [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/influxdata/telegraf/tree/release-1.10 (дата обращения: 25.01.2021).

3. Time Series, метрики и статистика: знакомство с InfluxDB [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/company/selectel/blog/245515 (дата обращения: 29.01.2021).

УДК 637.073.051

АВТОМАТИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ МОЛОКА И МОЙКА РЕЗЕРВУАРОВ НА ЗАВОДЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

О.А. Баишева[1], М.А. Саляхутдинов[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]baisheva22@mail.ru, [2]marats13@list.ru
Науч. рук. В.В. Орехов

Рассмотрена система автоматизации участка хранения и мойки резервуаров на заводе по производству молочной продукции. Описана схема производства продуктов на данном участке, обоснована необходимость применения автоматизированной системы управления технологического процесса (АСУТП), позволяющей достичь качественного роста эффективности и производительности предприятия.

Ключевые слова: автоматизация, эффективность, молочное производство, хранение молока, мойка резервуаров.

Молочное производство сопряжено с применением множества процессов, таких как пастеризация, деаэрация, сепарация и конечно хранение. При этом процесс хранения является одним из важнейших

производственных этапов, поскольку для нормальной работы необходимо поддерживать определенный запас молока в виду строгой зависимости от расхода молочного продукта и поступления молочного сырья.

Возрастающие объемы производства молокозаводов неизбежно требуют автоматизации технологических процессов и в первую очередь узла хранения и моечной станции, обеспечивающей необходимые санитарные и технологические условия производства на данном этапе.

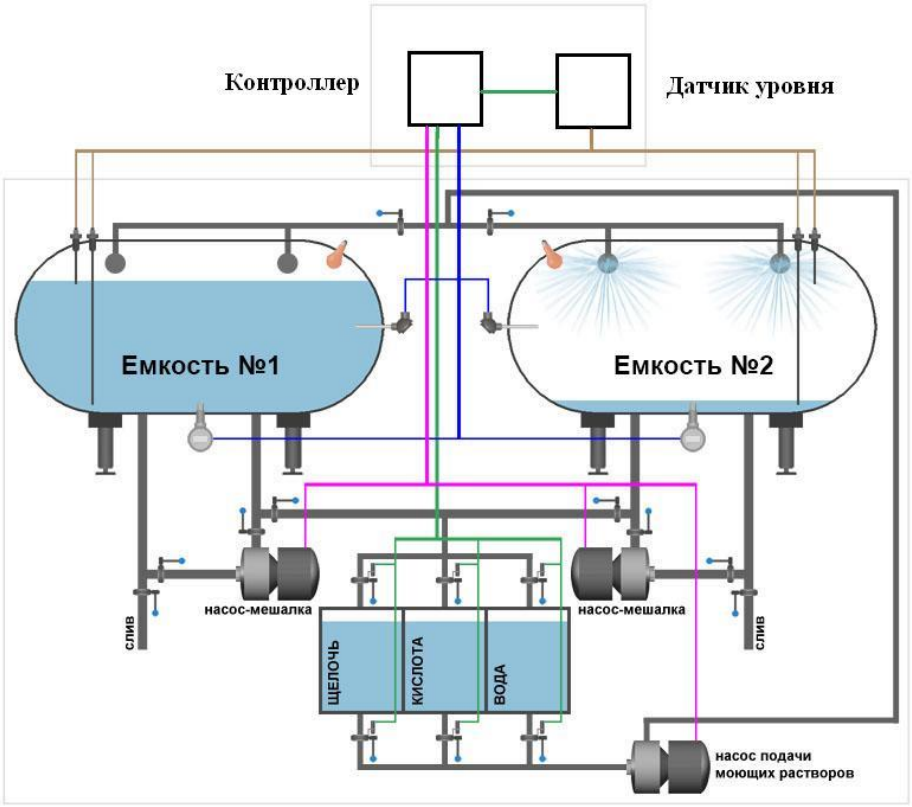
Хранение молочного продукта осуществляется в специализированных термосах, которые позволяют продолжительно, путем поддержания оптимального диапазона температур и своевременного перемешивания массы продукта, избежать его расслаивания и неравномерной консистенции.

Технологическая схема автоматизации участков хранения молокоперерабатывающих предприятий, представленная на рисунке, подразумевает оснащение резервуаров множеством датчиков [1]:

– датчиком кислотности (pH-метр) для мониторинга кислотности молочного продукта;

– датчиком уровня мембранного типа для определения уровня молочного продукта в емкости;

– датчиком температуры продукта – термометр сопротивления.



Функциональная схема АСУТП

Кроме того, к элементам, подлежащим автоматическому контролю можно отнести привод центробежного насоса, осуществляющий перемешивание молока, дополнительно возможно применить устройство частотного регулирования привода для более точного контроля режима перемешивания продукта. Так же следует обратить внимание на автоматический привод и контроль положения клапана на линии перемешивания, с помощью которого осуществляется регулировка интенсивности циркуляции продукта при его перемешивании.

Следующим не менее важным элементом системы хранения молочного продукта является моечная станция, необходимая для тщательной чистки емкости от остатков использованного молока перед подачей на хранение новой партии молочного продукта. Автоматизация данного процесса так же является приоритетной задачей в виду высокой ответственности и большого числа манипуляций.

Данное устройство оснащено моющими головками, расположенными в верхней части емкостей (см. рисунок), моющий состав при этом перемещается по замкнутому циклу. Мойка осуществляется поочередно тремя различными жидкостями: щелочью, кислотой или водой.

Автоматизация данного процесса заключается в изменении положения задвижек, которая определяет подачу моющих растворов, при этом каждая емкость с раствором оснащена двумя задвижками до и после резервуара. Особенное внимание к данному процессу обусловлено тем, что нельзя допускать смешивания моющих растворов между собой и с молочным продуктом. Кроме того, порядок использования моющих жидкостей строго определен и его нарушение приведет к негодности молока. Так же процесс мойки каждым из составов регламентирован по продолжительности, с данной задачей так же справляется система автоматизации снабженная реле времени, в соответствии с сигналами которого регулируется работа насоса, осуществляющего подачу моющих агентов в аппарат.

Таким образом, результат внедрения АСУТП на промышленном предприятии по производству молочной продукции позволяет решить главные задачи качественного хранения молока и мойки резервуаров, данная система повышает эффективность и производительность, снижая при этом эксплуатационные издержки.

Источники

1. Комлацкий В.И., Тахо-Годи А.З., Подойницына Т.А. К проблеме автоматизации технологических процессов переработки молока и производства молочных продуктов // Тр. Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 69. С. 236–242.

УДК 621.3.084.2

ДАТЧИК ТОКА С БЕСПРОВОДНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ НА БАЗЕ ARDUINO

З.Р. Баймухаметов[1], А.А. Абдуллов[2], А.А. Потанин[3], А.Д. Арсланов[4]
[1,2,3,4]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]zeromax7931@gmail.com, [2]arturabdullov97@gmail.com,
[3]gornego.tes@gmail.com, [4]arslanovad97@gmail.com
Науч. рук. Д.А. Иванов

Достоверное измерение токов и напряжений в энергетическом и управляющем оборудовании является важным аспектом обеспечения высокой надёжности и безопасности промышленных систем и электронных приборов. Специализированные датчики также применяются для определения разбаланса токов, мониторинга и диагностики цепей, запуска схем защиты, обнаружения отказов электрооборудования и аварийных состояний различных типов нагрузки.

Ключевые слова: Датчик тока, беспроводной модуль, АТ-команды, Arduino, Bluetooth.

При работе с электрооборудованием и электрическими сетями часто возникает необходимость в измерении силы тока и нередко бывают ситуации когда нет возможности провести измерения контактным способом. Существуют два основных методов бесконтактного измерения тока, первый, преобразование тока, протекающего в проводнике, с помощью датчика Холла, названного в честь первооткрывателя эффекта возникновения поперечного электрического поля в полупроводнике или проводнике, помещённом в магнитное поле, и второй, с использованием трансформатора тока. Основа такого датчика – трансформатор, по первичной обмотке которого протекает ток нагрузки, а во вторичной наводится напряжение, пропорциональное этому току. Основной параметр трансформатора – коэффициент трансформации тока, который показывает, во сколько раз ток во вторичной обмотке меньше, чем в первичной.

Целью исследования является получение численных значений тока бесконтактным методом с помощью микроконтроллера и датчика тока по беспроводному каналу связи.

Существует целый класс устройств под названием токоизмерительные клещи, которые позволяют измерить значение тока без разрыва цепи и без электрического контакта с ней [1]. Большинство из них достаточно дорогие и малофункциональны, заведомо уступают по цене и по гибкости настройки связки, скажем, датчика тока, микроконтроллера и беспроводного модуля. В качестве датчика можно взять недорогой TA12-100, в качестве головного устройства, например, Arduino Uno, а для передачи полученных данных по беспроводной сети будем использовать модуль HC06.

Принцип работы датчика TA12-100 заключается в следующем. Модуль измеряет напряжение, падающее на транзисторе в 200 Ом, который находится на выходе трансформатора. Датчик TA12-100 преобразует напряжение на резисторе в аналоговый сигнал, применяя закон Ома. Коэффициент трансформатора составляет 1 000:1 и, чтобы получить значение тока, следует полученные данные умножить на 1 000. Данный датчик используется только для измерения переменного тока и является аналоговым. Для подключения к плате потребуется два провода – один провод подключается к заземлению, а второй к аналоговому входу. Провод, где необходимо измерить силу тока, должен проходить через катушку модуля (рис. 1).

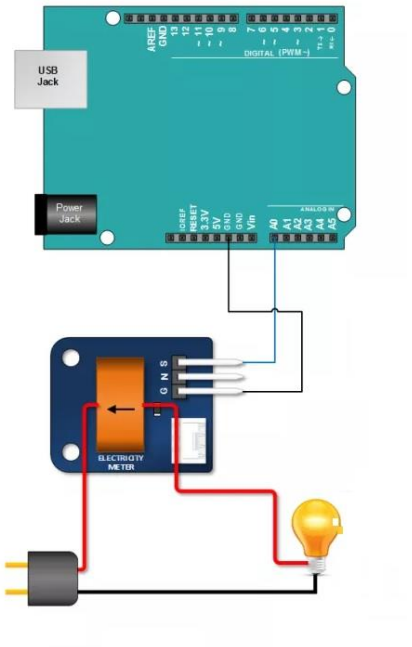


Рис. 1. Подключение датчика тока TA12-100 к Arduino Uno

Для передачи полученных данных от датчика тока используется модуль HC-06, он представляет собой плату с Bluetooth-модемом с дополнительной обвязкой (рис. 2). HC-06 выступает в роли последовательного порта [2], через который можно передавать и принимать данные. Для этой цели можно использовать компьютер или смартфон.

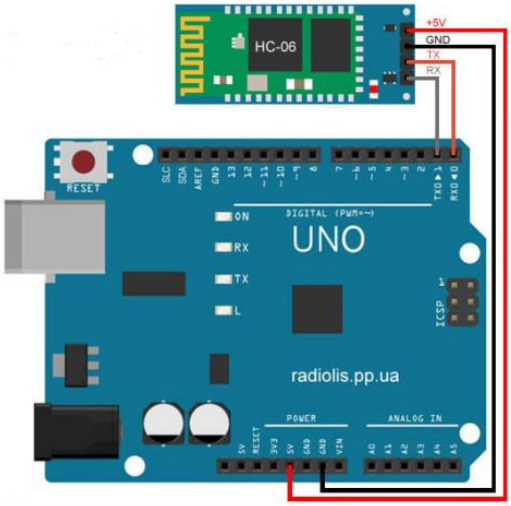


Рис. 2. Подключение модуля HC-06 к Arduino Uno

Управлять работой прототипа будет микроконтроллер Arduino Uno из-за его гибкости и быстрой калибровки кода. Расширяют его возможности различные шилды. Микроконтроллеры для Arduino отличаются наличием предварительно прошитого в них загрузчика [3]. С помощью этого загрузчика пользователь загружает свою программу в микроконтроллер без использования отдельных аппаратных программаторов, что делает загрузку кода очень быстрой. На выходе для получения численных значений тока на компьютере и в смартфоне, использующих технологию Bluetooth и программное обеспечение Terminal, применяя простейшие АТ-команды, есть возможность немедленно отображать параметры максимального тока, среднего тока, эффективности и т. д.

Устройство было протестировано, 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 АТ-команды работают быстро, стабильно и точно. Основными достоинствами данного устройства являются энергоэффективность, помехоустойчивостью, надежность, простота, что позволяет использовать его при проектировании автоматизированных систем.

Источники

1. Григорьев М., Вавилова Г. Исследование методов измерения токов с повышенной точностью. М., 2015. 354 с.

2. Блум Д. Изучаем Arduino. Инструменты и методы технического волшебства. СПб.: БХВ-Петербург, 2015. 336 с.

3. Описание микроконтроллера Arduino Uno [Электронный ресурс]. URL: http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno (дата обращения: 27.02.2021).

УДК 621-314.211

СУХИЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ. ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ NOMEX В СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРАХ

М.Н. Булин[1], Д.Д. Тарасевич[2], Д.О. Лосенков[3]
[1,2,3]БНТУ, г. Минск
[1]bulin.maks@mail.ru, [2]tarasevichd03@gmail.com, [3]mr.granddd@gmail.com
Науч. рук. Н.Е. Шевчик

Приведен обзор современных систем охлаждения трансформаторов. Особое внимание уделяется наиболее на сегодняшний день перспективным технологиям: NOMEX и литой изоляции. Выполнен их сравнительный анализ, рассмотрены структурные особенности.

Ключевые слова: трансформатор, изоляция, NOMEX, литая изоляция, материал, обмотка.

Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, имеющее как минимум две или более индуктивно связанные между собой обмотки, которые благодаря закону электромагнитной индукции преобразуют первичную систему переменного тока во вторичную. Конструкция современного трансформатора включает в себя магнитопровод, обмотки, вводы и выводы фаз, бак и некоторые другие элементы.

Длительная и безаварийная работа трансформаторов достигается при соблюдении допустимых пределов некоторых параметров.

Одним из наиболее значимых является температурный режим. Соблюдение установленных пределов температуры для трансформатора обеспечивается специально разработанными системами охлаждения. Как правило, выделяют следующие системы охлаждения [1]: М – естественная циркуляция масла; С – охлаждаемый естественной циркуляцией воздушного потока, масло в данной системе отсутствует.

Модернизация конструкции трансформаторов проводиться с целью снижения вероятности выхода трансформатора из строя и уменьшению возможных аварийных ситуаций, снижению потерь и повышению коэффициента полезного действия (КПД), увеличения удельных нагрузок, а также для снижения массы и габаритов.

Одной из основных причин выхода трансформатора из строя является старение или износ изоляции, ведущие к витковому замыканию обмоток, а также попадание влаги на изоляцию, механическое разрушение ввиду присутствия в ее структуре мелких изъянов, повреждения из-за коротких замыканий и т. д.

Основные усилия по развитию производства силовых трансформаторов направлены, в первую очередь, на развитие электроизоляционных материалов. При эксплуатации в закрытых помещениях (например, на встроенных подстанциях), трансформаторы с литой изоляцией или с изоляцией типа NOMEX в перспективе вытеснят масляные аналоги.

На открытом воздухе основные позиции по возможности использования занимает масляный трансформатор, уступающий по своим характеристикам только трансформатору с элегазовой изоляцией.

Развитие сухих трансформаторов типа ТС, ТСЗ, ТСН и ТСЗН значительно ускоряется за счёт применения литой изоляции и материалов типа NOMEX.

Полимер NOMEX – это синтетическое мета-арамидное волокно, обеспечивающее высокий уровень электрической, химической и механической прочности при его переработке в различные листовые материалы. При правильном использовании материалы NOMEX могут существенно продлить срок эксплуатации электрооборудования, а также сократить число преждевременных выходов из строя. Для конструкции трансформаторов с изоляцией NOMEX характерно снижение объема применяемых токопроводящих материалов и стали сердечников, и как результат, снижение затрат на производство. Уменьшение габаритов сердечников ведет к уменьшению потерь холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ), что напрямую связано с увеличением КПД.

Литая изоляция выполняется посредством заполнения частей трансформатора под напряжением различными изоляционными материалами, которые затем твердеют. В качестве такого материала часто используют огнестойкую самогасящую смолу, эпоксидные компаунды. Использование данных материалов позволяет предотвратить возгорание элементов трансформатора и исключает вероятность выброса вредных соединений в окружающую среду. Сравнение литой изоляции и NOMEX выполнено в виде таблицы [2].

Сравнение литой изоляции и NOMEX

Характеристики	Обмотки с литой изоляцией	Обмотки с изоляцией NOMEX
Возможность включения «толчком» при температуре окружающей среды –25 °С	–	+
Повышенная нагрузочная способность	+	+
Стойкость:		
к резким скачкам нагрузки	+	–
термическая	–	+
Монолитность конструкции	+	–
Экологичность	–	+
Электродинамическая стойкость	+	+

Изоляция типа NOMEX не подвержена горению на воздухе. В случае возгорания внутри помещения практически не выделяет ядовитого дыма. Отсутствие масла в трансформаторах с литой изоляцией позволяет избежать загрязнения окружающей среды, в случаях аварии.

В трансформаторах, обслуживающих нагрузки с большим коэффициентом гармоник, зачастую наблюдаются высокие температуры. Как сухие, так и масляные трансформаторы, разработанные с применением материалов NOMEX или литой изоляцией, обладают температурным резервом минимум в 10 °С, обеспечивающим нормальную работу при высоких температурах.

В случаях, если трансформатору придётся работать в непрерывном режиме на номинальной мощности или при значении мощности, близком к номинальному, использование данных видов изоляции позволит эксплуатировать агрегат в непрерывном режиме при нагрузке 133 % от номинальной [3].

Таким образом, принимая во внимание выше указанные факты, можно утверждать, что технология NOMEX имеет как достоинства, так и недостатки по сравнению с литой изоляцией. Однако, при всём этом остаётся одной из наиболее перспективных технологий для использования в сухих трансформаторах.

Источники

1. Кацман М.М. Электрические машины: учеб. 3-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2000. 463 с.

2. Сравнение обмоток ELTIZ с другими технологиями изготовления [Электронный ресурс]. URL: https://eltiz.ua/blog/sravnenie-obmotok-eltiz-s-drugimi-tehnologiyami-izgotovleniya/ (дата обращения: 06.03.2021).

3. Setting the Standard for Electrical Insulation [Электронный ресурс]. URL: https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/safety/public/documents/en/NA_ES_K17461-1_Setting_the_Standard.pdf (дата обращения: 11.11.2020).

УДК 621.3.048

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

Т.Г. Галиева[1], А.Д. Арсланов[2]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]galieva.kgeu@gmail.com
Науч. рук. Д.А. Иванов

Предлагается метод диагностики высоковольтных изоляторов (ВИ), основанный на измерении электромагнитного и акустического излучений частичных разрядов. Метод заключается в периодическом измерении набора диагностических параметров с помощью электромагнитных и ультразвуковых датчиков. Для проведения исследований в ФГБОУ ВО «КГЭУ» был разработан лабораторный стенд.

Ключевые слова: диагностика изоляционных элементов, электрофизические процессы, твердые диэлектрики, частичные разряды, компьютерная обработка сигналов, надежность, дистанционный контроль, система мониторинга.

Наличие частичных разрядов (ЧР) является одним из наиболее ярких показателей дефектов и протекающего процесса деградации систем электроизоляции. Поскольку процесс ЧР запускается до серьезных повреждений, можно выдавать необходимые предупреждения путем измерения и анализа ЧР [1–3]. Следует не только тщательно выбирать измерительные инструменты и детекторы, но и обратить особое внимание на две важные процедуры: обнаружение сигналов ЧР и определение местоположения источника сигналов ЧР. Обнаружение сигналов ЧР включает в себя идентификацию и классификацию сигналов ЧР, которая фокусируется на распознавании различных типов ЧР, таких как корона, поверхностный разряд, внешний разряд и шум [4]. Отслеживание местоположения источника ЧР-сигналов включает в себя выделение признаков методом определения разницы

во времени прихода сигнала. Разработан метод диагностики высоковольтных изоляторов (ВИ), основанный на измерении электромагнитного и акустического излучений ЧР. Метод заключается в периодическом измерении набора диагностических параметров с помощью электромагнитных и ультразвуковых датчиков, необходимых для достоверной оценки рабочего состояния высоковольтных изоляторов и сравнения их с эталонными значениями.

Для апробирования разработанного метода диагностики ВИ в ФГБОУ ВО «КГЭУ» был разработан лабораторный стенд, схема которого представлена на рис.1.

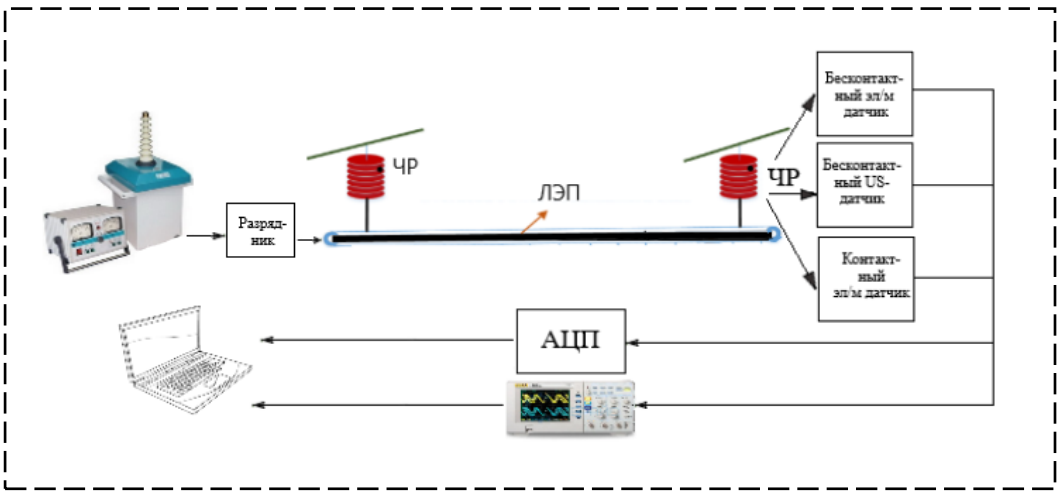


Рис. 1. Схема лабораторного стенда, предназначенного для диагностики ВИ

На лабораторном стенде расположены:

– источник высокого постоянного (70 кВ) и переменного (50 кВ) напряжения с максимальным выходным переменным током до 50 мА и постоянным током до 10 мА и частотой 50 ГЦ (модель АИД-70);

– разрядник;

– высоковольтные изоляторы различных типов и моделей;

– провод ЛЭП;

– электромагнитный датчик, измеряющий излучение от ЧР бесконтактно;

– ультразвуковой датчик, измеряющий излучение от ЧР бесконтактно;

– контактный электромагнитный датчик;

– устройство защитного отключения;

– аналого-цифровой преобразователь (АЦП);

– персональный компьютер (ПК) с установленным для обработки данных специализированным программным обеспечением (ПО);

– осциллограф.

Все элементы и устройства, входящие в состав лабораторного стенда окружены металлической решеткой для отсечения внешних помех.

С помощью источника создается необходимое высокое напряжение в линии. Бесконтактный электромагнитный датчик, способный регистрировать высокочастотные разряды, реализуется на безе RTL-SDR модуля с интерфейсом UART. Для измерения высокочастотных импульсов ЧР анализируются частоты в диапазоне от 100 до 2 000 МГц.

После цифровой обработки сигналов в АЦП полученные с датчиков данные обрабатываются в микроконтроллере и передаются на ПК. В эксперименте используется 2 образца одного вида изоляторов: дефектный и бездефектный. В первую очередь устанавливается бездефектный ВИ для снятия с помощью датчиков эталонных значений диагностических параметров соответствующих данной модели. Далее на дефектном изоляторе проводят периодические измерения набора параметров (количество ЧР, их амплитуда и локализация, температура и влажность окружающей среды), которые после обработки на компьютере позволят оценить рабочее состояние ВИ в данный момент эксплуатации.

Задача разработанного комплекса заключается в приеме сигналов, излучаемых ЧР, построении их амплитудно-фазовых характеристик (рис. 2.), сопоставлении полученных значений с параметрами окружающей среды и подготовке данных для анализа диагностических параметров, которые позволят сформировать заключение о степени работоспособности ВИ и его остаточном ресурсе.

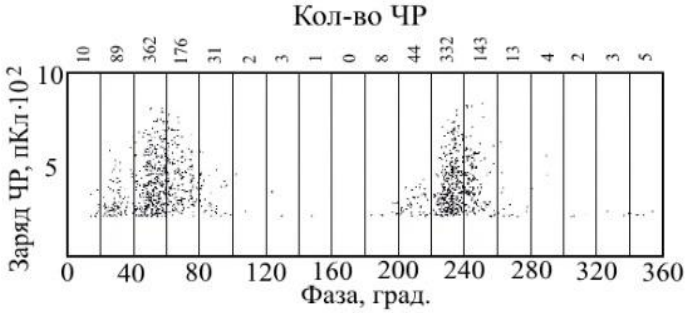


Рис. 2. Построение амплитудно-фазовых характеристик

Заключение. На разработанном лабораторном стенде был успешно апробирован метод диагностики ВИ, основанный на измерении электромагнитного и акустического излучений частичных разрядов. Метод позволяет контролировать техническое состояние ВИ, не прекращая технологического процесса передачи электроэнергии.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

Источники

1. Method for the diagnosis of high-voltage dielectric elements during operation based on dynamic registration of electromagnetic radiation [Электронный ресурс] / D. Ivanov [et al.]. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601061 // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 216.

2. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 2. С. 117–127.

3. Использование бесконтактных методов диагностики высоких электрических полей / А.В. Голенищев-Кутузов [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21, № 4. С. 123–133.

4. Quantification of the performance of iterative and non-iterative computational methods of locating partial discharges using RF measurement techniques / O.E. Mountassir [et al.] // Electric Power Systems Research. 2017. Vol. 143. Pp. 110–120.

УДК 621.396

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ ТАЙМЕРОВ/СЧЕТЧИКОВ

Н.Р. Галимуллин[1], Л.В. Ахметвалеева[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]niaz-galimullin@mail.ru, [2]alvkgeu@mail.ru

Каждый микроконтроллер включает в себя такие аппаратные модули как таймеры/счетчики, основной отличительной особенностью которых является беспрерывная работа без вмешательства центрального процессора. Функционирование таймеров можно подразделить на счет командных циклов или же счет фронтов внешних импульсов. Для каждого из способов функционирования существуют свои режимы работы.

Ключевые слова: процессор событий, входной захват, выходное сравнение, ШИМ-генератор.

В самом простом варианте исполнения таймер выполнен в виде счетчика, включающего в себя схему управления. В таймерных модулях происходит только прямое направление счета, регистры постоянно открыты и доступны для чтения и записи, в случае переполнения одного из них, формируется прерывание [1].

Тактирование счетчика можно осуществлять двумя способами, в зависимости от программных настроек. Первый вариант тактирования представляет собой импульсную последовательность с выхода управляемого делителя частоты [2]. Второй способ основан на внешней импульсной последовательности, поступающей на один из выходов микроконтроллера (МК). В первом случае процессор событий осуществляет работу в режиме таймера, во втором – в режиме счетчика событий.

В ситуациях, когда происходит переполнение счетчика, формируется запрос на прерывание, обслуживание которого происходит в случае разрешения прерывания от таймера. После прерывания счетчик продолжает работать в обычном режиме. На данный момент, все микроконтроллерные таймеры снабжены каналами входного захвата и выходного сравнения.

В зависимости от программных настроек универсальные каналы захвата/сравнения в процессоре событий могут работать в одном из трех режимов: режим входного захвата, режим выходного сравнения, режим широтно-импульсной модуляции (ШИМ). На рис. 1 приведено действие канала входного захвата [3].

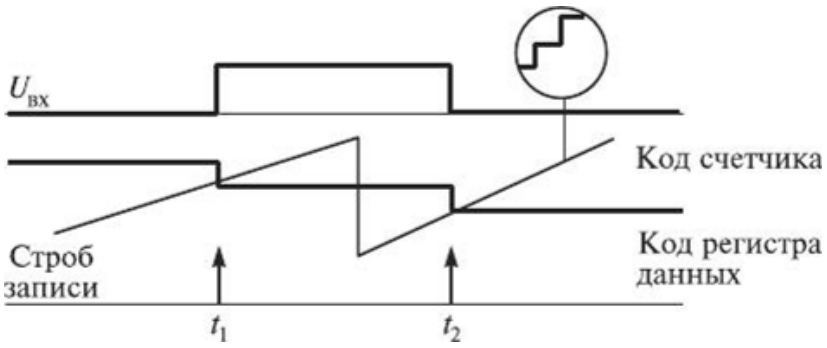


Рис. 1. Действие канала входного захвата

Схема «детектора событий» осуществляет постоянное слежение за уровнем напряжения на входе, в свою очередь таймер производит непрерывный отсчет времени. При изменении уровня логического сигнала на входе вырабатывается строб записи, и настоящее состояние счетчика-таймера помещается в регистр данных канала захвата, а затем через систему прерывания – в память МК. При обратном изменении уровня входного

сигнала происходит то же самое; разность кодов дает длительность измеряемого интервала, выраженную в числе периодов частоты тактирования счетчика.

Действие канала выходного сравнения представлено на рис. 2. Многоразрядный цифровой компаратор осуществляет непрерывное сравнение изменяющегося во времени кода счетчика таймера с кодом, находящимся в 16-разрядном регистре канала сравнения. В момент равенства кодов на одном из выводов МК устанавливается заданный уровень логического сигнала [4].

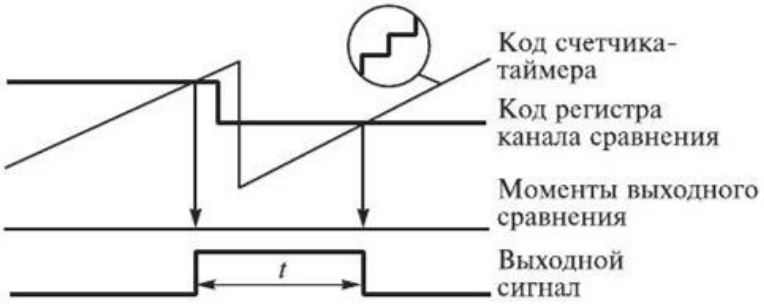


Рис. 2. Действие канала выходного сравнения

Действие ШИМ-генератора представлено на рис. 3.

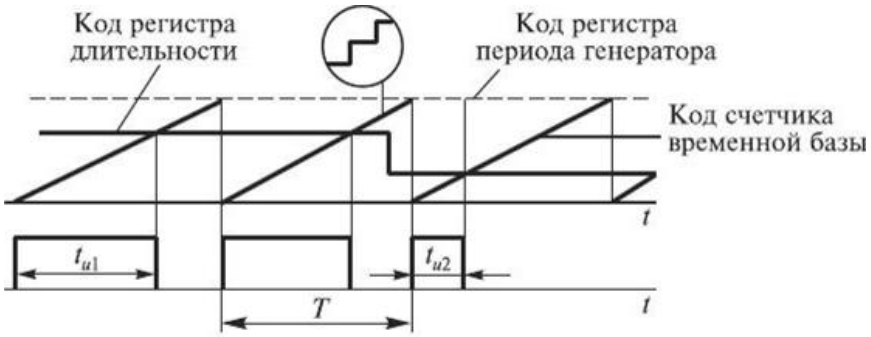


Рис. 3. Действие ШИМ-генератора

В режиме ШИМ на выходе формируется последовательность импульсов с длительностью, пропорциональной коду в регистре данных, и с периодом, равным периоду счетчика временной базы.

Источники

1. Мортон Д. Микроконтроллеры AVR. Вводный курс. М.: ДМК, 2015. 272 с.

2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы ATMEL. М.: ДМК, 2015. 286 с.

3. Шагурин И.И., Мокрецов М.О. Микроконтроллеры и их применение в электронной аппаратуре: учеб. пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2013. 160 с.

4. Ахметвалеева Л.В., Галимуллин Н.Р. Возможности режима широтно-импульсной модуляции в дистанционных системах управления // Информационные технологии в электротехнике: матер. XII Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары, 2020. С. 489–491.

УДК 621.315.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ И БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В КАЧЕСТВЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Д.А. Иванов, А.В. Голенищев-Кутузов, Т.Г. Галиева, А.В. Семенников
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ivanov.da@kgeu.ru

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. При этом на первый план выходят методы диагностики, которые обеспечивают контроль текущего состояния оборудования на месте его установки, под рабочим напряжением и желательно в процессе нормальной эксплуатации. Необходимо своевременно отслеживать развитие дефектов, оценивать текущее состояние и возможность дальнейшей эксплуатации оборудования. В последние годы в электроэнергетике для контроля технического состояния оборудования начинают использовать беспилотные летательные аппараты и роботизированные диагностические комплексы. Такие аппараты и комплексы необходимо оснащать диагностическим оборудованием с техническим характеристиками, приемлемыми по размеру, весу и потребляемой прибором мощности.

Разрабатывается бесконтактное мобильное дистанционное устройство мониторинга технического состояния высоковольтных диэлектрических элементов для установки на беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и роботизированные диагностические комплексы (РК).

Ключевые слова: линия электропередачи, диагностика, мониторинг, техническое состояние, диагностический робот, РК, БПЛА, работа под напряжением.

Введение

Воздушная линия электропередачи (ВЛЭП) – это сложный технический объект повышенной опасности, предназначенный для передачи и распределения электрической энергии от места генерации к потребителю. Согласно ФЗ от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ (ред. от 27 декабря 2019 г.) «Об электроэнергетике» электросетевые компании отвечают перед потребителями электрической энергии за надежность обеспечения их электрической энергией в соответствии с требованиями технических регламентов и иными обязательными требованиями. Эксплуатация высоковольтных ВЛЭП и различных устройств для обеспечения электроснабжения потребителей требует периодических плановых и внеплановых ремонтов и испытаний, в том числе без снятия рабочего напряжения. Работы под напряжением являются наиболее сложной категорией работ, ремонтные и испытательные операции производятся в штатном режиме работы электроустановки. В этом случае производящий работы персонал для обеспечения безопасности изолируется от земли, токоведущих частей или одновременно от того и другого.

Электросетевые компании начинают внедрять современное инновационное оборудование – БПЛА [1] и РК – для развития и совершенствования систем диагностики электросетевого комплекса: ВЛЭП, подстанций и объектов электроэнергетики. БПЛА [2] и РК [3] могут быть использованы для мониторинга элементов сетевой инфраструктуры, осмотра трасс линий электропередачи с целью выявления технологических нарушений, проверки состояния просек ВЛЭП, тепловизионного контроля и других целей. Получение информации о состоянии проводов, арматуры, изоляторов и опор ВЛЭП в процессе эксплуатации с помощью БПЛА и РК возможно за счет использования диагностических приборов (ДП) в качестве полезной нагрузки. ДП предназначены для оценки состояния электроустановок, их электрических, механических, химических свойств или условий окружающей среды, преимущественно используются для работы под напряжением [4]. В связи с этим к таким ДП предъявляются следующие требования: использование автономного источника питания или питание от бортовой сети аппарата; небольшой вес для обеспечения допустимой взлетной массы; компактность; помехоустойчивость и работа в условиях высоких электрических полей; сохранение и передача диагностической информации; всепогодность и пр.

Таким образом, использование БПЛА и РК с диагностическими приборами позволяет получать полную текущую информацию, проводить ремонт и замену неисправного оборудования только на участках с наибольшим износом.

БПЛА в электроэнергетике

Анализ мировых трендов свидетельствует о том, что область применения БПЛА для выполнения функций воздушного мониторинга в различных областях хозяйства постоянно расширяется. В том числе, на рынке начинают формироваться предложения по обследованию линейной части ВЛЭП при помощи комплексов БПЛА различных типов.

Диагностические комплексы на основе БПЛА позволяют выполнять видеоосмотр проводов ВЛЭП, арматуры и мест их крепления, изоляторов; тепловизионный и ультрафиолетовый осмотры ЛЭП, арматуры и мест крепления, изоляторов; поиск повреждений опор, проводов ЛЭП, арматуры и изоляторов путем постобработки данных; выявлять нарушение геометрии опор; проводить автоматизированный процесс обследования охранной зоны ЛЭП, оценку состояния изоляторов и работать под напряжением. Такие комплексы строятся на основе летательных аппаратов самолетного и вертолетного (коптерного) типов. БПЛА самолетного типа обычно используются для выполнения осмотров протяженных участков ВЛ на высоте не менее 200 м и имеют продолжительность полета порядка 2–8 ч. БПЛА коптерного типа [5] используются для локального верхового осмотра и диагностики, имеют продолжительность полета с одним аккумулятором варьируется от 30 мин до 1 ч. Коптеры могут работать в режиме зависания и приближаться к объекту обследования ближе, чем самолеты. Имеется ряд ограничений на применение диагностических комплексов на основе БПЛА:

– температура воздуха, выходящая за пороговые значения, определенные производителем оборудования;

– нахождение объектов наблюдения далее предельно установленной дальности связи между оператором и БПЛА;

– скорость ветра у поверхности земли, превышающая пороговое значение, определенное производителем оборудования;

– другие неблагоприятные условия, ограничивающие применение БПЛА в соответствие с их техническими характеристиками.

РК в электроэнергетике

Диагностический РК – совокупность диагностического оборудования и инструментов, предназначенных для проверки и технического обслуживания линий под напряжением [6].

Современные РК для работы на ВЛЭП (рис. 1) позволяют проводить видеоконтроль охранной зоны, осмотр проводов и грозотроса, диагностировать изоляторы, проводить мелкий ремонт (подвязывать расплетения проволок, удалять гололедно-изморозевые отложения и пр.). Большинство РК разрабатываются для работы под напряжением, поэтому корпус устройства изготавливается из электропроводящего материала, чтобы все составные части находились под одним потенциалом.



Рис. 1. Роботизированные комплексы зарубежных производителей для работы на ВЛЭП

РК, предназначенные для работы на ВЛЭП, перемещаются по фазным проводам, сконструированы с возможностью прохождения препятствий, таких как изоляторы, и передвижения по проводам при повороте трассы

ВЛЭП на большой угол. РК в процессе работы на ВЛЭП имеют ограниченную зону манипуляции при работе под напряжением, в пределах этой зоны должно гарантироваться условие работы не ближе минимального рабочего расстояния до соседнего проводника с другим электрическим потенциалом. Также существуют разработки роботов-манипуляторов для обслуживания ВЛЭП [7].

РК для верхового осмотра состояния ВЛЭП [8] передвигается по грозозащитному тросу, либо по фазному проводу ВЛЭП, преодолевает типовые точки подвеса (рис. 2). РК состоит из нескольких секций, оснащенных системой крепления с двумя степенями свободы. Система крепления позволяет гибко регулировать угол наклона секций, что позволяет обходить типовые препятствия на проводе ВЛЭП под любым углом. На корпусе смонтированы подвижные балансиры, с помощью которых РК может переворачиваться на проводе для преодоления штыревых изоляторов.

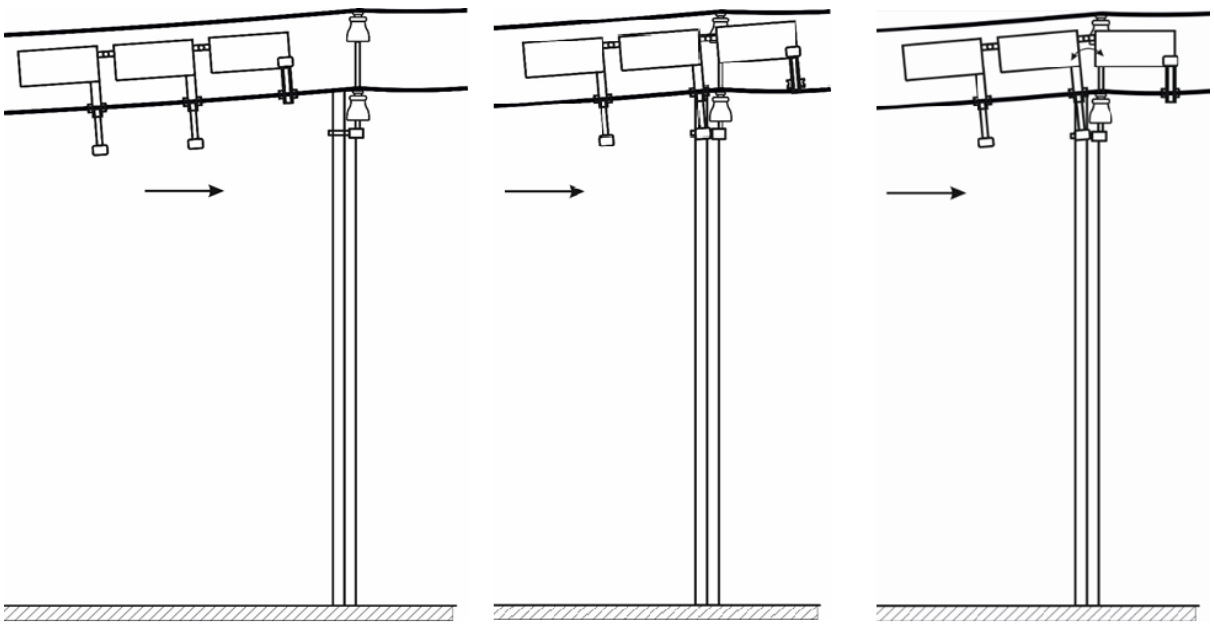


Рис. 2. Преодоление типовых точек подвеса провода

РК для верхового осмотра состояния ВЛЭП передвигается за счет смыкающихся на проводе роликовых механизмов с электроприводом, содержит инфракрасные датчики расстояния, которые позволяют определить имеющиеся препятствия на проводе. Роликовые механизмы сконструированы так, что зажим на проводе осуществляется с двух сторон и между ними имеется свободная зона, чтобы в ней умещался, например, успокоитель провода. При прохождении поддерживающих зажимов первая секция разжимает свой роликовый механизм, комплекс продвигается, и первая

секция смыкает роликовый механизм по другую сторону поддерживающего зажима, затем средняя и третья секции делают то же самое по мере продвижения через препятствие. Управление осуществляется дистанционно, по заранее заданному алгоритму.

Мобильное дистанционное устройство для контроля технического состояния и выявления остаточного ресурса высоковольтных диэлектрических элементов

Актуальность использования БПЛА и РК для диагностики и мониторинга ВЛЭП основано на анализе существующих в настоящее время в отечественных и зарубежных исследованиях и разработках подходов к решению проблемы в энергетике, связанной с оценкой технического состояния высоковольтного оборудования, не прекращая технологического процесса передачи электроэнергии, т. е. с переходом от планово-предупредительного ремонта к ремонту по техническому состоянию. В связи с этим были разработаны бесконтактные дистанционные методы контроля, не требующие вывода высоковольтных диэлектрических элементов из эксплуатации. В настоящее время к наиболее употребляемым и обеспеченным соответствующей выпускаемой промышленностью приборной базой можно отнести оптоэлектронные методы, использующие измерения параметров оптического излучения и приемники в ультрафиолетовом и видимом диапазонах, тепловизионные методы, а также радиочастотные и ультразвуковые методы, с помощью которых измеряются характеристики выявляемых дефектов. Выпускаемые промышленностью (в основном зарубежной) оптоэлектронные, радиочастотные и ультразвуковые приемники, а также и их лабораторно изготовляемые аналоги, обеспечивают только качественное определение уже существующих дефектов в диэлектрических элементах и в какой-то степени достоверности могут разбраковывать их по принципу «годный-дефектный». Существенным недостатком таких измерительных устройств является неразработанность методик совместного их использования для повышения достоверности получаемых результатов о техническом состоянии обследованных объектов.

Разрабатываемое мобильное дистанционное устройство (МДУ) для контроля технического состояния и выявления остаточного ресурса высоковольтных диэлектрических элементов для установки на БПЛА и РК. МДУ является диагностическим прибором и строится на основе комплексного дистанционного метода диагностики текущего рабочего состояния

керамических и полимерных изоляторов посредством одновременной регистрации набора диагностических параметров несколькими физическими методами: перестраиваемым по частоте электромагнитным (от 50 МГц до 1 ГГц) и акустическим (от 20 Гц до 100 кГц) датчиками, тепловизионным и ультрафиолетовым приемниками. Информационные сигналы с датчиков будут совместно подвергаться накоплению и компьютерной обработке, что значительно повышает надежность определения технического состояния и выявления остаточного ресурса.

Использование МДУ на БПЛА или РК подразумевает трехэтапный процесс мониторинга. На первом этапе для каждого вида высоковольтных изоляторов с помощью рекомендованного ГОСТом Р 55191 «Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов» контактного стендового метода устанавливаются предельные значения диагностических параметров, соответствующие нормированным.

На следующем этапе эти установленные контактным методом нормированные диагностические параметры сопоставляются со значениями тех же параметров, измеренными в изоляторах под рабочим напряжением. Как следует из ранее полученных результатов по дистанционной диагностике полимерных и керамических (фарфоровых) изоляторов [9], количество дистанционно измеряемых диагностических параметров может возрастать по сравнению с контактным методом.

На последнем этапе с учетом измеренной скорости процесса старения диэлектрических материалов и развития дефектов устанавливается периодичность регистрации набора диагностических параметров и прогнозирование остаточного ресурса.

Использование бесконтактного МДУ на БПЛА или РК для мониторинга технического состояния высоковольтных диэлектрических элементов позволяет создать принципиально новый подход, который повысит эффективность диагностики работающего высоковольтного оборудования и заключается в комплексном дистанционном мониторинге набора параметров, характеризующих текущее состояние данного оборудования и его остаточный ресурс.

Выводы

Главный недостаток дистанционных методов технической диагностики состоит в отсутствии нормативных документов, включающих в себя предельные значения измеряемых диагностических параметров, на основании которых возможно принимать обоснованные решения о техническом состоянии диэлектрических элементов.

До настоящего времени контроль текущего состояния и остаточного ресурса высоковольтного оборудования выполнялся в основном контактным способом, требующим отключения оборудования от высокого напряжения. Данное положение зафиксировано в соответствующих нормативных документах: международный стандарт IEC 60270 “High-voltage test techniques partial discharge measurements”, ГОСТ 20074 «Электрооборудование и электроустановки. Метод измерения характеристик частичных разрядов», РД-34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования». В этих документах предусматривается только оценка ряда диагностических параметров по характеристикам частичных разрядов в момент изменения свойств обследуемого объекта, находящегося в предельном состоянии – прекращении функционирования.

Уровень развития науки и техники позволяет создавать дистанционно управляемые аппараты для диагностики и мониторинга технического состояния ВЛЭП. Для широкого внедрения БПЛА и РК в практику проведения плановых осмотров и текущего ремонта ВЛЭП необходимо планомерное создание соответствующей нормативной базы.

Научные исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения 075-15-2020-172.

Источники

1. СТО 56947007-29.200.10.235-2016. Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий электропередачи и энергетических объектов. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2016. 96 с.

2. Беспилотные летательные аппараты для видеонаблюдения и аэрофотосъемки [Электронный ресурс]. URL: http://unmanned.ru/ (дата обращения: 30.03.2020).

3. «Канатоход» – первый в мире комплекс с посадкой на провод для цифровой диагностики и локального ремонта линии электропередачи [Электронный ресурс]. URL: http://cablewalker.com/ (дата обращения: 30.03.2020).

4. ГОСТ IEC 60743-2015. Работа под напряжением. Терминология, относящаяся к инструментам, оборудованию и приборам. М.: Стандартинформ, 2016. 86 с.

5. Беспилотный летательный аппарат для диагностики протяженных объектов энергетики: п. м. 169167 Рос. Федерация № 2016109570; заявл. 16.03.2016; опубл. 07.03.2017, Бюл. № 7.

6. ГОСТ IEC 60743-2015. Работа под напряжением. Терминология, относящаяся к инструментам, оборудованию и приборам. М.: Стандартинформ, 2016. 86 с.

7. Адаптивный мобильный пространственный робот-манипулятор для обслуживания ЛЭП и способ обслуживания ЛЭП посредством адаптивного мобильного пространственного робота-манипулятора: пат. 2692147 Рос. Федерация № 2017145111; заявл. 21.12.2017; опубл. 21.06.2019, Бюл. № 18.

8. Роботизированное устройство для верхового осмотра состояния воздушных линий электропередачи: п. м. 193020 Рос. Федерация № 2019120921; заявл. 04.07.2019; опубл. 10.10.2019, Бюл. № 28.

9. Дистанционно измеряемые диагностические параметры, позволяющие оценивать остаточный ресурс высоковольтных изоляторов / А.В. Голенищев-Кутузов // Известия Российской академии наук. Сер.: Физическая. 2020. Т. 84, № 12. С. 1763–1766.

УДК 004.3

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРЕЛЫ ПРОВЕСА ПРОВОДА ПО СОБСТВЕННЫМ КОЛЕБАНИЯМ

Нгуен Ван Ву[1], Д.А. Ярославский[2], Д.А. Иванов[3], М.П. Горячев[4], Т.Г. Галиева[5]
[1,2,3,4,5]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]Промышленный колледж Намдиня, Вьетнамиэм
[1]vu2307@gmail.com, [2]fbox52@gmail.com, [3]divanale@gmail.com, [5]galieva.kgeu@gmail.com
Науч. рук. М.Ф. Садыков

Стрела провеса провода воздушных линий электропередачи (ВЛ) – важнейший параметр, который необходимо постоянно контролировать. Для измерения стрелы провеса ВЛ разработан лабораторный стенд, который состоит из провода ЛЭП длиной 64 м модели А-70 и установленных на нем датчиков температуры и натяжения, акселерометра, измерительной линейки, видеокамеры, осциллографа и специального разработанного программного обеспечения на LabView.

Ключевые слова: стрела провеса провода, воздушная линия электропередачи, мониторинг воздушных линий, механические нагрузки.

Стрела провеса провода – расстояние по вертикали от прямой, соединяющей точки крепления провода, до провода, это наиболее важный параметр при мониторинге и монтаже ВЛ, так, например, по стреле провеса проводятся следующие измерения [1, 2]:

– при монтаже ВЛ определяются расстояния между проводами, а также между проводами и тросами;

– определяются расстояния от подвеса проводов до земли;

– проводится мониторинг проводов при гололедообразовании и других механических нагрузках;

– проводится мониторинг разрегулировки проводов ВЛ.

Для определения стрелы провеса по частоте его собственных гармонических колебаний был разработан лабораторный стенд (рис. 1), который состоит из провода ЛЭП длиной 64 м модели А-70, две точки подвеса которого имеют одинаковую высоту. Провод проходит через окно многоэтажного дома, чтобы стрелу провеса провода было легко измерить с помощью линейки. На проводе установлены датчики: датчик натяжения, датчик температуры, акселерометр для измерения угла наклона.

Время T измеряется путем вычисления минимального времени, необходимого для возврата провода в исходное конечное положение в начале. Отклонение провода от нейтрального положения измеряется акселерометром.

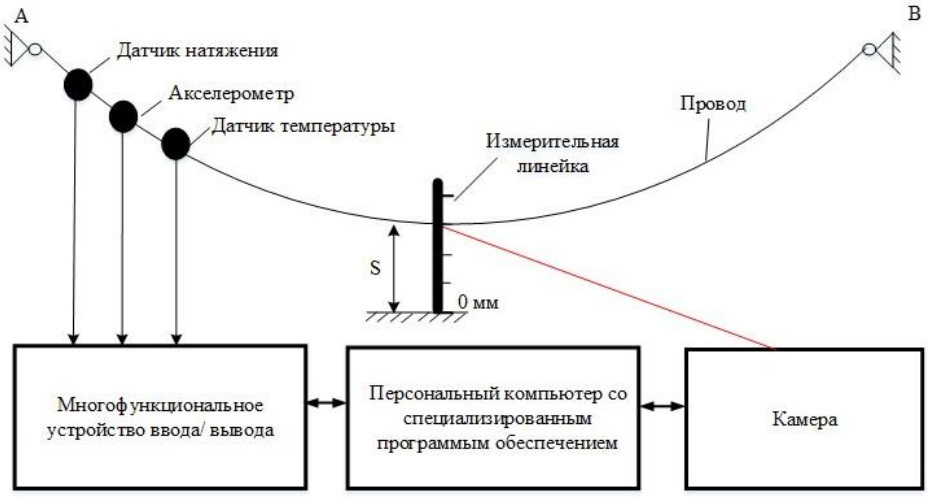


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Ветер вызывает колебания провода ВЛ, амплитуда колебаний зависит от большой или малой скорости ветра. Затем колебания провода измеряются с помощью акселерометра, установленного непосредственно

на проводе. Данные с акселерометра считываются через аналого-цифровой преобразователь *USB*6251*NI* в персональный компьютер с временной погрешностью 10^{-3} с (относительно скорости оцифровки данных с акселерометра). Сбор и обработка данных осуществляется с помощью программного обеспечения, написанного в среде программирования *LabView*. При запуске программы будет установлено напряжение питания акселерометра. Затем программа за один цикл измеряет параметры текущего сигнала от двухкоординатного акселерометра, в котором происходит частотный и спектральный анализ [3, 4]. Программа предоставляет данные в виде таблиц и графиков. Лицевая панель программы изображена на рис. 2.

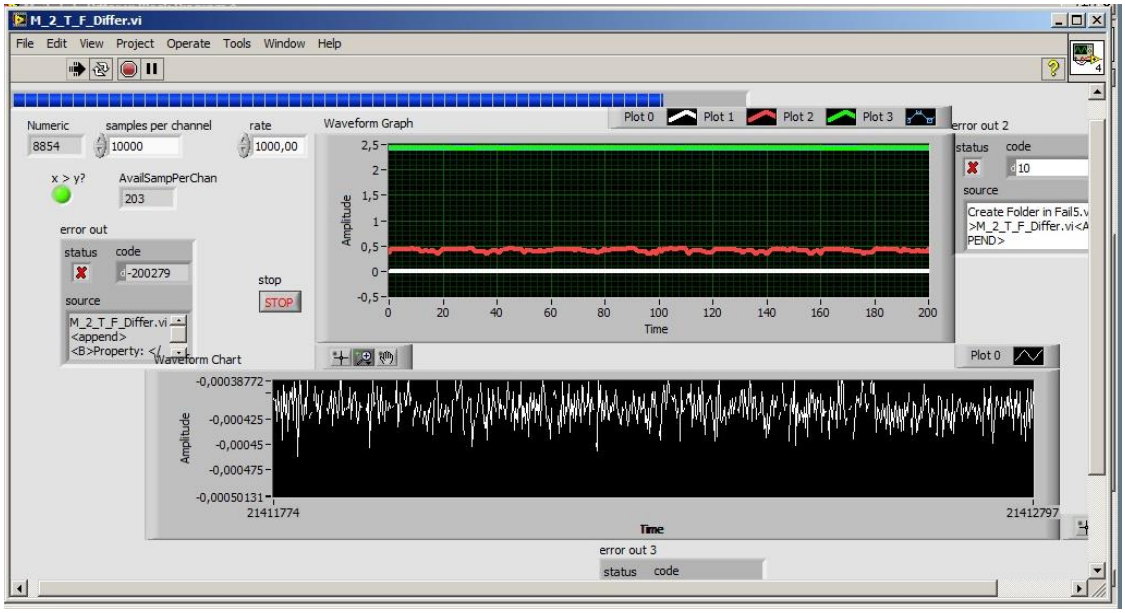


Рис. 2. Лицевая панель ПО (на экране отображаются графики колебаний, напряжения и нагрева ЛЭП)

В точке подвеса провода у нас есть ряд датчиков, которые измеряют натяжение. Датчик будет контролировать натяжение провода в стационарном состоянии и провод в колебательном состоянии. Данные с датчика будут передаваться на многофункциональное устройство ввода-вывода.

Для контроля температуры провода ЛЭП устанавливаем на него датчик температуры. Когда окружающая среда имеет определенную температуру, датчик будет формировать электрический сигнал для передачи на выходное устройство *USB*6251*NI*.

Разработана модель собственных гармонических колебаний провода на основе математических моделей гибкой нити и модели физического маятника. Данная методика позволяет определять стрелу провеса провода

по его колебаниям относительно своего равновесного положения. От стрелы провеса провода можно перейти к определению механических нагрузок провода ВЛ, что позволяет оценивать их текущее состояние.

Видеокамера устанавливается для наблюдения за изменением стрелы провеса провода. Видеокамера будет неподвижно стоять и фиксировать изменение отклонения провода от линейки рядом с самой нижней точкой стрела провеса провода. Видеокамера напрямую подключена к персональному компьютеру. Фото и видео хранятся на жестком диске компьютера. Кроме того, персональный компьютер также подключен к программному обеспечению *TeamViewer*, чтобы облегчить мониторинг удаленной экспериментальной системы.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

Источники

1. Об утверждении глав Правил устройства электроустановок (вместе с «Правилами устройства электроустановок. Седьмое издание. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Главы 4.1, 4.2») [Электронный ресурс]: утв. приказом Минэнерго РФ от 20 июня 2003 г. № 242. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс» (дата обращения: 11.02.2021).

2. Ярославский Д.А. Система автоматизированного мониторинга гололедных отложений воздушных линий электропередач на основе инклинометрическометеорологического метода: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 135 с.

3. Determination the conductor sag according to the period of own harmonic oscillations / D. Yaroslavsky [et al.]. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001036 // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 220.

4. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи / Д.А. Ярославский [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 3. С. 97–106.

УДК 004.3

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Нгуен Ван Ву[1], Д.А. Ярославский[2], Д.А. Иванов[3], М.П. Горячев[4], Т.Г. Галиева[5]
[1,2,3,4,5]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]Промышленный колледж Намдиня, Вьетнам
[1]vu2307@gmail.com, [2]fbox52@gmail.com, [3]divanale@gmail.com, [4]galieva.kgeu@gmail.com
Науч. рук. М.Ф. Садыков

Современные системы передачи электроэнергии предъявляют повышенные требования к надежной и бесперебойной работе линий электропередачи. Обрывы, аварии на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) влекут за собой экономический ущерб и недоотпуск электроэнергии. Одной из главных причин аварий является превышение механических нагрузок на ВЛЭП, поэтому получение точных и объективных данных о состоянии проводов ВЛЭП и грозотросов является актуальной задачей. При обследовании ВЛЭП возникает потребность в современных системах автоматического контроля для определения их состояния.

Ключевые слова: ВЛ, ВЛЭП, мониторинг ВЛЭП, датчик тока, механические нагрузки, вращение провода.

С целью бесконтактного контроля механических параметров ВЛЭП в ФГБОУ ВО «КГЭУ» была разработана усовершенствованная система автоматизированного мониторинга состояния ВЛЭП, структурная блок-схема которой представлена на рис. 1 [1–3].

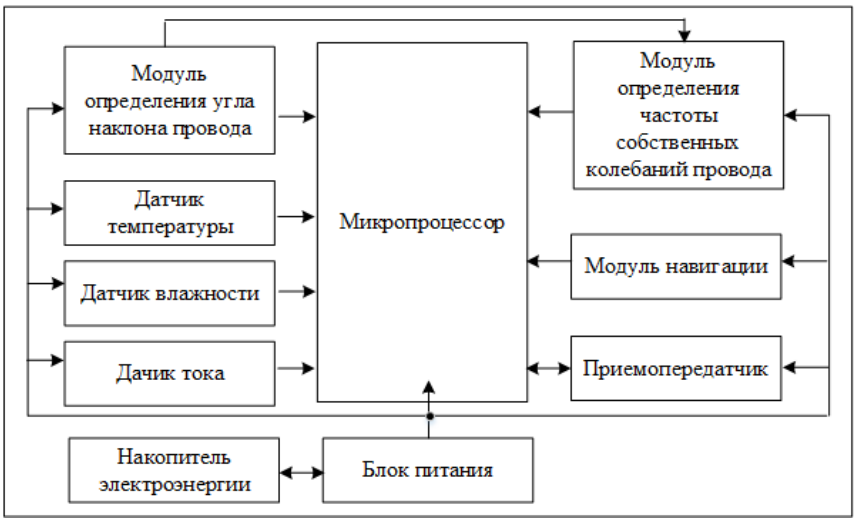


Рис. 1. Схема усовершенствованной системы автоматизированного мониторинга состояния ВЛЭП

Принцип работы системы автоматизированного мониторинга заключатся в следующем. Местоположение интересующего пролета ВЛЭП определяется с помощью модуля навигации по системе ГЛОНАС/GPS.

Для определения угла наклона провода в системе установлены модули определения угла его наклона и частоты его собственных колебаний. Выходные данные этих модулей поступают на входы микропроцессора, который обрабатывает данные и отправляет их в приемопередатчик. Далее по радиоканалу (по протколу *ZigBee*) информация поступает на персональный компьютер. Совместное применение данных модулей позволяет увеличить точность определения механических нагрузок на проводе.

Питание электронной схемы устройства осуществляется от блока питания. При этом устройство дополнительно содержит накопитель электроэнергии.

Структурная схема модуля для определения частоты собственных колебаний провода представлена на рис. 2. Модуль определения угла наклона провода принимает сигнал колебаний провода с помощью акселерометра. Далее этот сигнал отправляется на фильтр для устранения помех и шумов. Сигнал после фильтра поступает в модуль FFT (быстрое преобразование Фурье), далее в следующем модуле определяется частота собственных колебаний провода. Полученные данные поступают в микропроцессор для синтеза и обработки отклонения линии электропередачи.

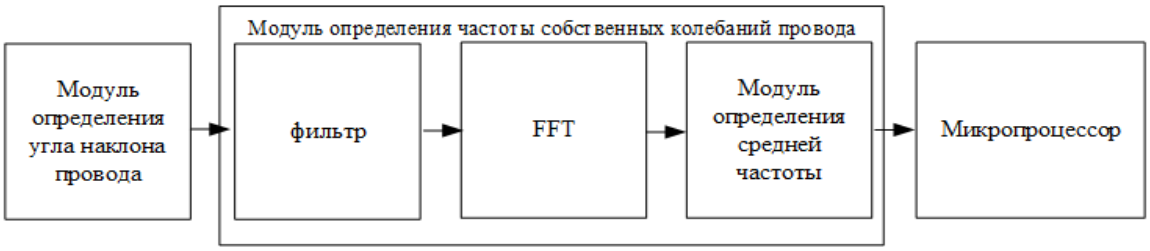


Рис. 2. Схема модуля для определения частоты собственных колебаний провода

Модуль определения частоты собственных гармонических колебаний позволяет определять стрелу провеса провода ВЛЭП. Разработана модель собственных гармонических колебаний провода на основе математических моделей гибкой нити и модели физического маятника. Данная методика позволяет определять стрелу провеса провода по его колебаниям относительно своего равновесного положения. От стрелы провеса провода можно перейти к определению механических нагрузок провода ВЛЭП, что позволяет оценивать их текущее состояние.

Таким образом, разработанная усовершенствованная система автоматизированного мониторинга состояния ВЛЭП позволяет не только определять, а также контролировать и передавать данные о всевозможных механических воздействиях на провода ВЛЭП, в том числе вызванных природными явлениями.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания на выполнение НИР по теме «Распределенные автоматизированные системы мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи и подстанций на основе технологии широкополосной передачи данных через линии электропередач и промышленного интернета вещей» (номер темы 075-00063-20-02).

Источники

1. Ярославский Д.А. Система автоматизированного мониторинга гололедных отложений воздушных линий электропередач на основе инклинометрическометеорологического метода: дис. … канд. техн. наук. Казань, 2017. 135 с.

2. Determination the conductor sag according to the period of own harmonic oscillations / D. Yaroslavsky [et al]. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022001036 // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 220. 5 p.

3. Модель собственных гармонических колебаний провода для задач мониторинга состояния воздушных линий электропередачи / Д.А. Ярославский [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22, № 3. С. 97–106.

УДК 621

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПОСЁЛКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЧЁТЧИКОВ С ДИСТАНЦИОННЫМ СНЯТИЕМ ПОКАЗАНИЙ

Новиков В.О.[1], Сизый А.Д.[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]alesizuy@gmail.com, [2]Vladlen--189708@mail.ru
Науч. рук. А.А. Наумов

Рассмотрен вопрос целесообразности установки счётчиков электроэнергии с дистанционным снятием показаний. Обоснована необходимость установки умных счётчиков, а также положительные и отрицательные показания их использования.

Ключевые слова: умные счётчики, контроллеры, скачки напряжения, энергоучёт.

Вопрос экономии электрической энергии ежегодно стоит на первых местах. Помощь в этом окажут умные счётчики.

Согласно принятому Госдумой закону с 1 июля 2020 г. в России начался первый этап установки новых интеллектуальных приборов учета электроэнергии.

Обязанность установки и эксплуатации новых приборов возлагается не на потребителей, а на сетевые и энергосбытовые компании. Естественно, возникает много вопросов, на которые потребителям хотелось бы найти конкретный ответ.

Предполагается, что установка умных счетчиков позволит уменьшить размер платежей на 30 %. В процессе эксплуатации возникает большое количество нюансов. Для начала рассмотрим явные преимущества умных счётчиков:

– комфортное использование. Установка интеллектуальных приборов учёта позволяет упростить жизнь тем, что показания будут автоматически отправляться в соответствующие компании. От пользователя требуется лишь вовремя оплачивать услугу;

– экономия возможна за счет предотвращения кражи электроэнергии. Новое устройство не так просто обмануть. Потребитель будет платить строго за использованные ресурсы, исключается любой вариант кражи электроэнергии;

– существует возможность перейти на использование более выгодной многотарифной системы оплаты; снабжающие организации смогут своевременно контролировать потребление ресурсов отдельно в каждой квартире и во всем доме в целом. Это даст возможность с помощью автоматизированной системы навести порядок;

– интеллектуальные приборы учёта электроэнергии помогают сэкономить на количестве персонала в управляющих компаниях, так как нет необходимости ходить по квартирам и домам жильцов чтобы собирать информацию.

Установка современных счетчиков на электричество имеет и недостатки:

– данные приборы имеют высокую стоимость, но на сегодняшний день, самостоятельно менять счетчики необязательно;

– как и любой электронный прибор, устройство требует стабильность и качество в электропитании, иначе резкие скачки напряжения выведут прибор из строя;

– важно обеспечить доступ к прибору для контролирующих лиц. У многих возникают сомнения: не произойдёт ли попытка третьих лиц вмешаться в работу устройства и сменить показания;

– требуется обеспечить бесперебойное Интернет-покрытие больших участков для стабильной работы контроллеров;

– требуются сотрудники, контролирующие работу модемов, которые периодически могут зависать и требовать перезагрузки;

– так как количество IP-адресов значительно увеличится, то очень важно предусмотреть несколько мощных серверов для хранения информации;

– вся информация теперь онлайн, а это значит, что ее важно защитить от хакерских атак;

– несмотря на все плюсы, должно пройти большое количество времени, пока установка новых счетчиков окупится [1].

Из чего состоит умный счётчик?

Интеллектуальный счетчик – система комплексная. В его состав входят два компонента: сам прибор учета и отвечающий за передачу информации контроллер.

Существуют разные виды таких систем. В одних блок связи монтируется в корпусе со счетчиком, но такой вариант относительно дорог и применяется редко. Более популярны раздельные решения, где контроллер и прибор учета разделены.

Рассматриваемый класс устройств передает информацию на сервера оператора по сетям связи. По полученным данным потребителю электрической энергии выставляется счет. Применяются несколько основных технологий:

– GPRS – классическая схема. Блок передачи представляет из себя сотовый модуль с сим-картой, а показания отправляются через сотовую сеть. Для работы ее необходимо пополнять, как обычный мобильный номер. Такая схема критична к зоне покрытия сети и не подходит для недоступных ей мест;

– LPWAN – набирающая популярность технология, пришедшая из сферы «умных домов». Поставщик услуг LPWAN устанавливает в охватываемой зоне вышку связи, а учетный прибор оснащается специальным чипом. Эта технология позволяет решить свойственные GPRS проблемы доступа и весьма экономична в плане энергозатрат, но создание необходимой инфраструктуры довольно дорого. К плюсам данных счетчиков можно добавить то, что они интегрируются в системы LPWAN – «умных домов». Из минусов можно выделить отсутствие выбора у потребителя: обычно данной связью оснащается сразу весь дом, и жильцов просто ставят перед необходимостью использования совместимых устройств. Но для многоэтажек такой подход нередко оказывается оптимальным. Сегодня реализуются, например, проекты сетей на протоколе NB-IOT;

– W-Fi – отлично показал себя, как недорогой и надежный способ связи, требующий, однако, соответствующей инфраструктуры;

– подключение по проводным сетям [2].

Разработка и создание автоматизированной системы учёта электроэнергии с использованием счётчиков с дистанционным снятием показаний является актуальной задачей, т.к. это даёт не только экономический эффект, но и повышает ответственность потребителя за использование электроэнергии, побуждает их проводить энергосберегающие мероприятия с целью сокращения энергопотребления.

Нами ведутся работы по проектированию и созданию автоматизированной системы учёта элетроэнергии в посёлке с использованием счётчиков с дистанционным снятием показаний на основе контроллера и программного обеспечения «Ресурс», измерительных трансформаторов тока и напряжения, других элементов отечественного производства.

Источники

1. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. СПб.: Питер, БХВ, 2005. 512 с.

2. Загорский Я.Т., Комкова Е.В. Границы погрешности измерений при расчетном и техническом учете электроэнергии // Электричество. 2001. № 8. С. 20–23.

УДК 621.314.1

ИНВЕРТИРУЮЩИЙ ПОВЫШАЮЩИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РЕЗОНАНСНЫХ СТРУКТУР С ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМИ КОНДЕНСАТОРАМИ

Н.В. Нурлатов
ФГБОУ ВО «НГТУ», г. Новосибирск
mr.radiolubitel@mail.ru
Науч. рук. Л.Г. Зотов

Предлагается вариант построения инвертирующего повышающего преобразователя постоянного напряжения на основе резонансных структур с переключаемыми конденсаторами (РСПК) в составе стартергенераторной установки летательного аппарата.

Ключевые слова: преобразователь постоянного напряжения, многослойный керамический конденсатор, MOSFET транзистор, диод Шоттки, имитационное моделирование, мягкая коммутация.

Для электростартерного запуска двигателя летательного аппарата требуется трехфазный инвертор с выходным напряжением 115 В частотой 400 Гц [1]. Электропитание стартергенераторной установки осуществляется от аккумуляторной батареи, напряжение на клеммах которой изменяется в диапазоне от 16 до 25 В. Входное напряжение питания для трехфазного инвертора двуполярное, с номинальным напряжением ±135 В. Номинальная выходная мощность стартергенераторной установки составляет 16 кВт.

Рассматривается вариант энергоэффективного инвертирующего понижающего преобразователя постоянного напряжения на основе резонансных структур с переключаемыми конденсаторами (РСПК). Преобразователь постоянного напряжения входит в состав бортового оборудования, поэтому, главными требованиями являются высокие энергетические показатели, малые габариты и высокая надежность.

Основной сложностью при проектировании преобразователей высокого уровня мощности при низком входном напряжении источника питания является обеспечение требуемого коэффициента преобразования при высоком коэффициенте полезного действия и малых габаритах. Первая проблема решается путем применения мягкой коммутации силовых транзисторных ключей. Благодаря мягкой коммутации удается снизить динамические потери мощности при переключении транзисторов, следовательно, появляется возможность повысить частоту коммутации ключей и снизить величины реактивных элементов преобразователя. Кроме того, благодаря применению современных полупроводниковых MOSFET транзисторов с низким сопротивлением канала в открытом состоянии удается получить минимальные статические потери мощности в ключах. Проблема малых габаритов преобразователя постоянного напряжения решается путем использования оригинального метода: в качестве энергонесущего элемента выступает высокотехнологичный многослойный керамический конденсатор.

Удельный энергетический показатель [3, 4] для многослойного керамического конденсатора с номинальным напряжением 25 В составляет $k_{VC} = 50$ см^3/Дж. Для дросселя аналогичный показатель составляет $k_{VL} = 1,2 \cdot 10^3$ см^3/Дж. Исходя из этих значений, можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным окажется преобразователь на основе РСПК.

В качестве примера предлагается рассмотреть упрощенную однотактную базовую схему преобразователя постоянного напряжения на основе РСПК (рис. 1).

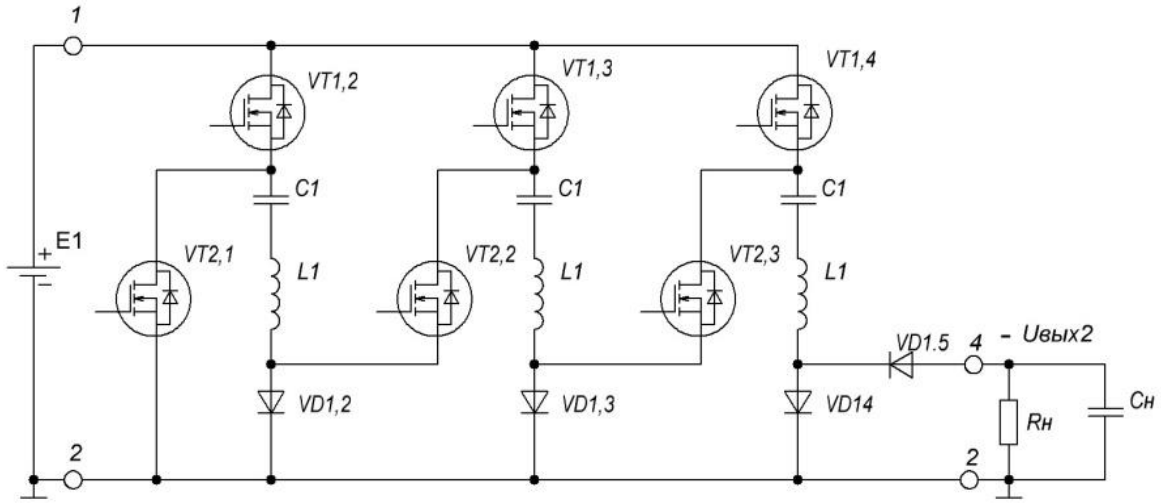


Рис. 1. Схема инвертирующего повышающего преобразователя постоянного напряжения на основе РСПК

Рассмотрим принцип работы преобразователя без учета потерь в реальных элементах. Принцип работы заключается в параллельном заряде конденсаторов резонансных цепочек от входного источника напряжения питания и их последовательном разряде на нагрузку [2]. При открывании ключей *VT*1,2; *VT*1,3; *VT*1,4 через диоды *VD*1,2; *VD*1,3; *VD*1,4 происходит заряд конденсаторов *C*1 до напряжения источника питания *E*1. Элементы резонансных контуров рассчитаны таким образом, чтобы на частоте коммутации цепочки *L*1*C*1 образовывали резонансный контур. Форма зарядного тока и тока через транзисторные ключи кусочно-синусоидальна. В следующий момент времени зарядные ключи *VT*1,2; *VT*1,3; *VT*1,4 закрываются и открываются ключи *VT*2,1; *VT*2,2; *VT*2,3 и заряженные конденсаторы *C*1 соединяются последовательно на нагрузку, причем верхний положительно заряженный вывод конденсатора первой цепочки прикладывается к общей точке входного источника питания. Таким образом, к нагрузке прикладывается отрицательная полярность напряжения по отношению к входному источнику напряжения. Коэффициент преобразования рассматриваемого преобразователя составляет $K_n = N$, где N – число резонансных цепочек.

На рис. 2 представлен макет однотактного инвертирующего преобразователя на основе РСПК.

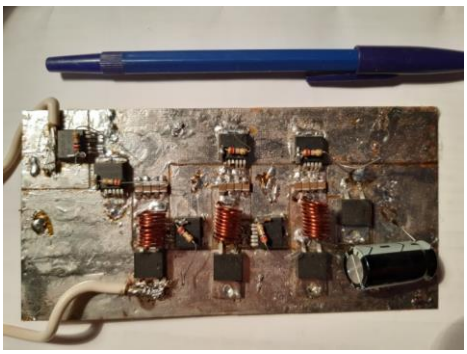


Рис. 2. Макет инвертирующего повышающего преобразователя на основе РСПК

Основные параметры макета преобразователя: частота коммутации $f_к = 50$ кГц, MOSFET транзистор IRFS7437-7PPbF (сопротивление канала в открытом состоянии 1,4 мОм), керамический конденсатор 40 мкф (составлен из четырех параллельно соединенных конденсаторов 10 мкФ каждый), величина индуктивности 259 нГн, диод Шоттки 40CTQ045. Входное напряжение $E_1 = 12$ В, мощность нагрузки 100 Вт. Коэффициент преобразования составляет 91,6 %. Объем реактивных и полупроводниковых элементов 12,29 $см^3$. При настройке преобразователя особое внимание уделялось монтажу, минимальной длине соединительных проводов. Режим мягкой коммутации определен по форме кусочно-синусоидального тока, потребляемого от входного источника и осциллограмме пульсации напряжения на конденсаторе резонансной цепочки. Осциллограммы тока, потребляемого от входного источника напряжения, и формы пульсации на конденсаторе резонансной цепочки представлены на рис. 3, из которых можно сделать вывод о работе преобразователя в режиме мягкой коммутации.

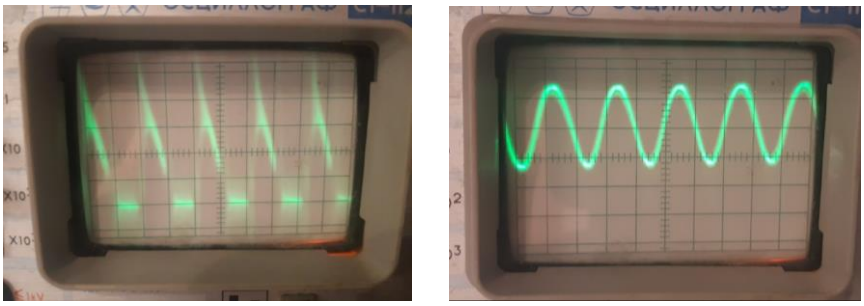


Рис. 3. Осциллограмма потребляемого тока от входного источника (*слева*) и осциллограмма пульсации напряжения на конденсаторе (*справа*)

Выводы. Предложена схема повышающего инвертирующего преобразователя на основе РСПК в составе стартергенераторной установки для получения напряжения отрицательной полярности.

Проведено исследование электромагнитных процессов в схеме и собран макет исследуемого преобразователя.

Практическая значимость исследования заключается в применении технологии мягкой коммутации с целью улучшения массогабаритных показателей и энергоэффективности преобразователя.

Личный вклад автора заключается в синтезе схемы для получения напряжения отрицательной полярности, сборке и настройке макетного образца.

Источники

1. Зотов Л.Г., Нурлатов Н.В. Повышающий преобразователь постоянного напряжения основе резонансных структур с переключаемыми конденсаторами // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. Новосибирск, 2019. Ч. 6. С. 17–19.

2. Nurlatov N.V., Zotov L.G. Resonant Inverting Boost DC-DC Converter with Switch-based Capacitors // Proc. of the International Conference Problems of Informatics, Electronics and Radio Engineering. Novosibirsk, 2020. Pp. 128–130.

3. Flying apparatus DC-DC starter-generator converter based on switching capacitor structures / V.P. Razinkin [et al.] // Electrical Engineering. 2020. Vol. 102, Is. 2. Pp. 643–650.

4. Комбинированный преобразователь постоянного тока для стартер-генератора вспомогательной установки летательного аппарата / Л.Г. Зотов [и др.] // Электропитание. 2018. № 3. С. 15–24.

УДК 681.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНЫМИ НАСОСАМИ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

М.А. Саляхутдинов[1], О.А. Баишева[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]marats13@list.ru, [2]baisheva22@mail.ru
Науч. рук. В.В. Орехов

Рассматривается вопрос автоматизации управления пожарными насосами. Обоснована необходимость автоматизации таких узлов, связанная в первую очередь с обеспечением безопасности на объекте использования. Кроме того рассмотрен состав основного и вспомогательного оборудования системы пожаротушения и автоматизации, связанной с работой нескольких видов насосов. Описан принцип работы и взаимодействия элементов системы для ее эффективной работы.

Ключевые слова: автоматизация, пожаротушение, насосная станция, мониторинг состояния, безопасность.

Система пожаротушения является важным элементом обеспечения безопасности любого здания, особенно важной такая система является в условиях относительно плотного заселения, таких как в общежитиях или гостиницах. Существующие технологии позволяют усовершенствовать работу системы пожаротушения путем внедрения узла автоматизации для повышения эффективности и надежности системы.

Главным элементом системы пожаротушения является насосная установка, в состав которой входит большое количество элементов, согласованная работа которых обеспечивает необходимые условия для качественной работы системы.

Для начала рассмотрим основные узлы насосной установки с автоматизированным управлением, представленной на рисунке. Основным исполнительным устройством является насос, который, как правило, из сообра-жений надежности дублируется вторым аналогичным. Следующим элементом системы пожаротушения большого объема является жокей-насос, предназначенный для поддержания стабильного необходимого давления в системе. Данный насос устанавливается совместно с датчиками давления, которые при падении давления ниже заданного уровня подают сигнал на включение в работу жокей-насоса, а по достижении верхней границы – сигнал на его отключение [1].



Насосная установка системы пожаротушения
с автоматизированным управлением

Так же необходимо отметить наличие дренажных насосов, необходимых для отвода скопившихся масс воды в процессе пожаротушения и после его окончания, что особенно важно при наличии в здании «глухих» подвальных помещений, в которых могут находиться люди и ценное имущество. Дополнительно с дренажными насосами устанавливаются датчики уровня затопления, которые при достижении критичного уровня воды в помещении посылают сигнал для включения дренажного насоса.

Особую важность имеют элементы автоматизации запорной арматуры, поскольку их надежность определяет надежность всей системы в целом. В большинстве жилых зданий предусмотрены узлы учета холодного водоснабжения, при этом диаметр трубопровода на котором установлен узел, должен соответствовать типу устройства, настроенного в свою очередь на средние показатели расхода. По этой причине при возникновении пожароопасной ситуации питание линии пожарной системы осуществляется по обводной линии большего диаметра для обеспечения доста-точного количества воды в системе. Таким образом, именно на данном этапе особенно важна своевременная и точная работа автоматического привода запорной арматуры [2].

Для понимания принципа работы каждого элемента автоматизированной системы, рассмотрим порядок работы системы в целом. В случае поступления сигнала от пожарной сигнализации происходит срабатывание разбрызгивающего устройства (спринклера) в соответствующем помещении, при этом давление в системе понижается, о чем сигнализирует датчик давления, после чего поступает сигнал на включение основного насоса, работа которого может быть организована с применением частотного регулирования для предотвращения гидравлического удара в системе. В случае неисправности основного насоса система автоматически задействует резервный насос. Регулирование давления системы в небольшом диапазоне может регулироваться запорной арматурой, однако, в случае возникновения масштабного возгорания и большого расхода воды, давление может заметно понизиться, для компенсации которого по сигналу датчика давления дополнительно задействуется насос-жокей.

При возникновении угрозы затопления помещений в виду их архитектурной особенности и в случае, когда предусмотренный дренаж не справляется, в работу включается дренажный насос. По сигналу датчика затопления насос начинает принудительно откачивать воду из помещения, оберегая его тем самым от затопления, не причиняя вреда жизни людей и не повреждая имущество. Все действия системы должны быть согласованы и сопровождаться непрерывной работой системы диагностирования с помощью соответствующих датчиков.

Таким образом, система автоматизации управления пожарными насосами является важным элементом системы пожаротушения, которая обеспечивает слаженную работу системы в целом и максимальную оперативность ее действия. При этом учитывается множество факторов, негативное действие которых нивелируется за счет скорости реакции системы и мониторинга состояния элементов всей системы пожаротушения.

Источники

1. Жвакин М.В., Оруджова О.Н. Физические основы работы современных систем пожаротушения // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 1. С. 34–34.

2. Направления совершенствования автоматических систем пожаротушения / Ф.В. Чекалин [и др.] // Advances in science and technology: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 129–131.

УДК 621.31

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Д. Сизый[1], В.О. Новиков[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]alesizuy@gmail.com, [2]Vladlen--189708@mail.ru
Науч. рук. А.А. Наумов

Рассмотрен вопрос разработки автоматизированной системы учета электроэнергии (ЭЭ) машиностроительного предприятия. Обоснована необходимость создания автоматизированной системы коммерческого учета (АСКУЭ), связанная в первую очередь с экономической целесообразностью, а также с возможностью получения информации, благодаря которой можно избежать конфликтов и нештатных ситуаций на производстве.

Ключевые слова: автоматизация, энергоучёт, обработка информации, мониторинг состояния, АСКУЭ.

В настоящее время высокая стоимость энергоресурсов обусловила значительные изменения в отношении энергоучёта на различных производствах. Потребители начали осознавать, что в целях экономии необходимо рассчитываться с поставщиком энергоресурсов не по договорным

величинам или устаревшим и неточным приборам, а на основе современного и высокоточного приборного учета, позволяющего осуществлять экономию и снижение финансовых потерь, в том числе, за счет использования различных тарифов, дифференцированных во времени, использования элементов хозяйственного расчета отдельных подразделений и т. д. Наличие АСКУЭ является одним из современных способов получения информации, благодаря которой можно проводить мониторинг потребления электрической энергии, локализовать потери и хищения, принимать соответствующие меры по их устранению [1].

Первым шагом в создания автоматизированной системы учета промышленного предприятия является критический анализ существующей системы учета, выбор мест установки первичных датчиков, составление групп учета для организации управления режимами работы отдельных подразделений, выбор технических средств.

АСКУЭ позволяет решить следующие технико-экономические задачи:

1) взаимодействие энергоснабжающей организации и потребителя электроэнергии выгодное для обеих сторон;

2) обеспечение точных и достоверных расчетов по электроэнергии между поставщиком и потребителем;

3) оперативное определение баланса электроэнергии и мощности по объекту учета и его структурам с выявлением потерь электроэнергии;

4) круглосуточный контроль за учетом электроэнергии в режиме реального времени [2].

Цели, ради которых проектируются АСКУЭ:

1) уменьшение затрат электроэнергии с учетом требований производства;

2) регистрация и архивирование данных в системе, действий оператора и значений отслеживаемых параметров;

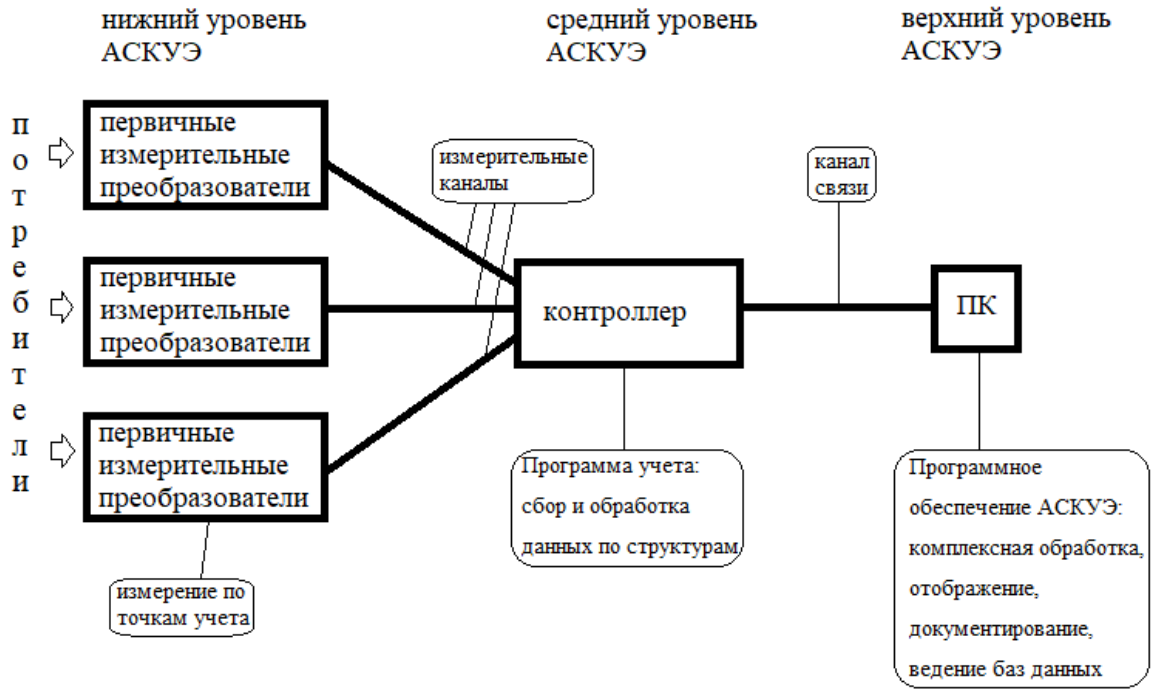
3) повышение эффективности электропотребления;

4) ведение архивов и формирование отчетов об электропотреблении;

5) достоверные расчеты между поставщиками и потребителями [1].

АСКУЭ в общем случае содержат три уровня (см. рисунок):

1) нижний уровень — первичные измерительные преобразователи, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергоучета потребителей (расход, мощность, давление, температуру, количество энергоносителя, количество теплоты с энергоносителем) по точкам учета (фидер, труба) [2];



Уровни АСКУЭ

2) средний уровень – контроллеры (специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи) со встроенным программным обеспечением энергоучета, осуществляющие в заданном цикле интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхний уровень [2];

3) верхний уровень – персональный компьютер (ПК) со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с контроллера (или группы контроллеров) среднего уровня, итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам: по подразделениям и объектам предприятия, отображение и документирование данных учета в виде, удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия [2].

На сегодняшний день в энергетике образовался достаточно полноценный рынок аппаратуры, разработаны эффективные системы учета, охватывающие потребности различных субъектов электроэнергетики. Введено в эксплуатацию большое количество систем АСКУЭ, что позволяет проводить анализ их эксплуатационных особенностей, разработаны новые методы обработки информации, позволяющие избегать конфликта интересов всех участников [1].

Разработка автоматизированной системы учета энергии и мощности является актуальной задачей, так как это дает не только экономический эффект, но и повышает ответственность потребителей за использование энергии, побуждает их проводить энергосберегающие мероприятия с целью сокращения энергопотребления. Нами ведутся работы по проектированию и созданию современной автоматизированной системы учета энергии и мощности машиностроительного предприятия на основе контроллера и программного обеспечения «Ресурс», измерительных трансформаторов тока и напряжения, других элементов отечественного производства.

Источники

1. Экономика электропотребления в промышленности: учеб. пособие для вузов / М.Г. Баширов [и др.]; под ред. М.Г. Баширова. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. 156 с.

2. Аполлонский С.М., Куклев Ю.В., Фролов В.Я. Электрические аппараты управления и автоматики. М.: Лань, 2019. 255 с.

Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИ

УДК 51-74

ВРАЩЕНИЕ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ КАК НОВЫЙ ВИД ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.А. Екимовская
МАОУ «СОШ №40», г. Череповец
any_ekimovskaya03@mail.ru
Науч. рук. В.В. Лебедев

Традиционные конструкции космических аппаратов практически полностью исчерпали предел своих технических возможностей. Для дальнейшего освоение космического пространства нужны принципиально новые технические решения. Вращающиеся тросовые космические системы являются новым предложением в развитии космической техники. Вращение системы – это запас энергии, которую можно применить для маневрирования. В этой статье приводится расчёт нагрузки вращающейся тросовой системы.

Ключевые слова: вращение, энергия вращения, тросовая система, космический аппарат, маневрирование.

В настоящее время космическим технологиям и технологиям деятельности в космической среде уделяется повышенное внимание [1]. Созданные почти полвека назад космические системы и аппараты доказали свою надёжность, но постепенно подходят к пределу своих возможностей. В Ракетно-космической корпорации «Энергия» им. С.П. Королёва уже много лет изучают новые принципы построения космических систем, в частности тросовых. В работе В.Г.Осипова и Н.Л. Шошунова содержится исторический анализ развития тросовых космических систем и перспективы их применения [2]. Об актуальности тросовых космических систем для экономики свидетельствуют многочисленные патенты на способы и устройства по этой перспективной тематике. В этой исследовательской работе на обсуждение выносится вопрос о принципиально новых тросовых космических системах – вращающихся [3]. Вращательное движение – это источник для энергии, необходимой для орбитального маневрирования или хотя бы возвращения аппарата на Землю. Энергия высвобождается после разрыва тросовых связей между частями конструкции. В земных условиях тросовая система, как правило, считается не рациональной с позиции строительных конструкций, так как по сути представляет собой откос с повышенной силой реакции, то есть силой натяжения троса, даже

при небольшой активной нагрузке. Новизной и отличительной особенностью этой работы является изучение вращающихся тросовых систем с целью их дальнейшего применения в практике освоения и использования космического пространства. Даже первые оценочные расчёты показали, что в космосе вращающиеся тросовые системы по нагрузке ведут себя принципиально иначе по сравнению с привычными для нас земными условиями.

Простейшим примером вращающейся тросовой космической системы являются два груза, соединённые абсолютно гибким невесомым тросом. Сравнение следующей системы, из трёх одинаковых грузов, с предыдущим случаем показывает, что величина силы натяжения тросов при уменьшении угла их «провисания» уменьшается, а не увеличивается, как это наблюдалось для строительных откосов или растяжек. Такое сравнение определило необходимость дальнейшего изучения этого интересного и важного для практики факта. Была изучена система из четырёх грузов, а потом результат обобщён на произвольную симметричную систему из n грузов. Общая масса конструкции предполагалась во всех схемах одинаковой, равной m. Была получена формула для расчёта величины силы натяжения каждого из n соединительных тросов $T_n = \dfrac{m\omega^2 R}{2n\cos\dfrac{(n-2)90°}{n}}$. С увеличением количества n грузов, то есть числа углов и сторон правильного n-угольника, величина каждой из одинаковых сил натяжения одинаковых тросов уменьшается. После такого индукционного метода исследования закономерности уменьшения силы натяжения тросов появилась задача обобщения полученных результатов на тяжёлую вращающуюся кольцевую нить. Конечный результат имеет следующий вид: $T_\infty = T = \dfrac{m\omega^2 R}{2\pi}$. Это минимальная сила натяжения во всех системах. Первая часть исследовательской работы была посвящена анализу нагрузки различных вариантов вращающихся симметрических тросовых систем с различным количеством грузов, о двух до бесконечности, то есть до распределённой массы системы. В таблице обобщены полученные результаты для сил натяжения соединительных тросов. Нагрузка на соединительные тросы уменьшается при увеличении количества грузов во вращающейся системе. Самая большая сила натяжения будет в системе из двух вращающихся грузов, поэтому другие тросовые системы сравнивались с указанной выше. Например, если силу натяжения троса во вращающейся системе с двумя

грузами принять за 1, то в системе с тремя грузами сила натяжения тросов уменьшится и составит приблизительно 38,5 % от первоначальной конфигурации. Но затем с увеличением количества грузов уменьшение нагрузки происходит не очень быстро. При шести вращающихся грузах сила натяжения каждого из шести тросов уменьшится ровно в три раза по сравнению с системой из двух грузов. Самая маленькая сила натяжения троса, приблизительно 31,8 % от исходного варианта, будут при бесконечном количестве грузов, то есть при равномерно распределённой массе во вращающемся тяжёлом тросе.

Уменьшение нагрузки при распределении вращающихся масс

Число грузов n	Угол между смежными сторонами многоугольника $\varphi = \frac{(n-2)180°}{n}$	Угол откоса $\alpha = \frac{180°}{n}$	Относительная нагрузка $0,5m\omega^2R$, в долях
2	0°	90°	1
3	60°	60°	$\frac{1}{1,5\sqrt{3}} \approx 0,385$
4	90°	45°	$\frac{1}{2\sqrt{2}} \approx 0,354$
5	108°	36°	$\approx 0,340$
6	120°	30°	$\frac{1}{3} \approx 0,333$
∞	180°	0°	$\frac{1}{\pi} \approx 0,318$

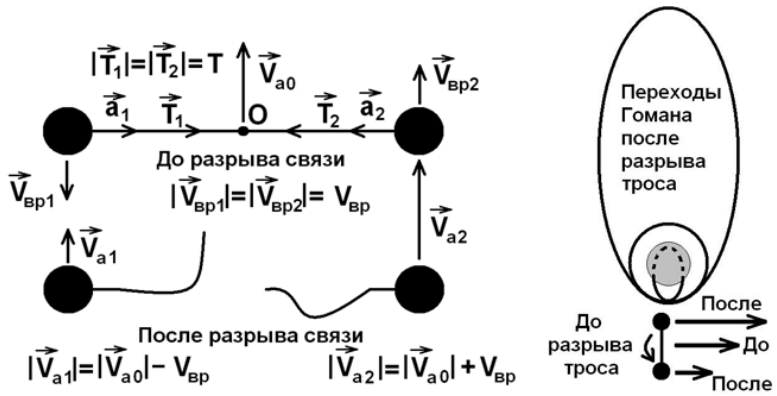
Первым важным результатом этой части исследовательской работы стало доказательство факта уменьшения силы натяжения тросов при уменьшении угла откоса.

Второй важный результат этой части исследования заключается в количественной оценке сил натяжения тросов в симметрической вращающейся конфигурации.

Третий важный результат заключается в содержательной формулировке задачи для исследования несимметричных геометрических тросовых систем с различными грузами.

Практическое исследование треугольной системы из трёх вращающихся грузов было проведено с целью обоснования устойчивости конфигурации. Треугольник – устойчивая фигура, но для четырёх и более грузов устойчивость системы была проверена экспериментально.

Дополнительная энергия, которую можно извлечь из вращения системы, высвобождается после разрыва тросовых связей, что иллюстрируется схемой, представленной на рисунке ниже.



Использование энергии вращения после разрыва троса

Суть дополнительного энергетического обеспечения космического аппарата для орбитального маневрирования заключается в следующем. Предположим, что аппарат, то есть центр масс двух вращающихся грузов с тросом, движется по круговой орбите с первой космической скоростью. Разрыв троса происходит в момент времени, когда скорость одного груза направлена по движению, а другого – против движения центра масс. Первый груз получит импульс для увеличения апогея и перейдёт на эллиптическую более высокую орбиту. Второй груз, напротив, получит тормозной импульс, его орбита уменьшит перигей. Например для возвращения на Землю с низкой орбиты нужен тормозной импульс около 150 м/с, который можно получить от системы радиусом 150 м при угловой скорости вращения 1 рад/с. Это вполне реально. Это новая возможность для энергетического обеспечения малых космических аппаратов, развивающихся в настоящее время.

Источники

1. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Урлич Ю.М. Глобальные проблемы человечества и космос. М.: «Изд.МАКД», 2010. 570 с.

2. Осипов В.Г., Шошунов Н.Л. Космические тросовые системы: история и перспективы // Земля и Вселенная. Космонавтика. 1998. № 4.

3. Екимовская А.А. Вращающиеся тросовые космические системы // Гении Подмосковья: сб. ст. по материалам фестиваля науки. М., 2020. С. 55–79.

УДК 681.785.423

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАРТФОНА В КАЧЕСТВЕ ПРИСТАВКИ К ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СПЕКТРОСКОПУ

Д.Е. Зиганшина[1], А.Ю. Помысова[2], Г.С. Попов[3]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]ziganshina.daianna@yandex.ru, [2]pomissova@gmail.com, [3]puckinok@gmail.com
Науч.рук. А.И. Погорельцев

Рассмотрены принципы построения мобильного спектрофотометра на базе смартфона. В качестве примера предложена разработанная нами конструкция с использованием смартфона в качестве приставки к геологическому спектроскопу. Рассмотрены габаритные параметры и возможность оптического сопряжения спектроскопа и смартфона. Проведены предварительные наблюдения оптических спектров. Получены вполне удовлетворительные результаты. Приведен план дальнейших исследований.

Ключевые слова: оптическая спектроскопия, фотометрия, спектрофотометр, коэффициент пропускания, оптическая плотность.

Часто возникает необходимость в проведении спектрального экспресс-анализа нужногообъекта с целью проведения быстрой качественной оценки. Использование переносных малогабаритных карманных спектроскопов малоэффективно – оценка производится «на глаз». Ясно также, что в этом случае (полевые условия) дорогое, габаритное и сложное лабораторное измерительное оборудование не может быть использовано, а существующие мини-спектрометры стоят довольно дорого [1] – 50 000 руб. и выше. На наш взгляд весьма перспективным является бурно развивающееся в настоящее время направление – построение спектрофотометра с использованием смартфона. Действительно, современный смартфон – это достаточно мощное вычислительное устройство с весьма развитой периферией. И в этом плане, смартфон представляется идеальной платформой для поддержки приложений реального времени, связанных со спектрометром. Ясно, что для выполнения требования мобильности, система не должна быть громоздкой. При этом должно быть выполнено качественное сопряжение оптики спектрометра и смартфона.

На наш взгляд интересным является сопряжение геологического спектроскопа (приобретен на AliExpress) и смартфона. На рис. 1 приведена оптическая схема геологического спектрометра, а на рис. 2 представлены его габаритные данные.

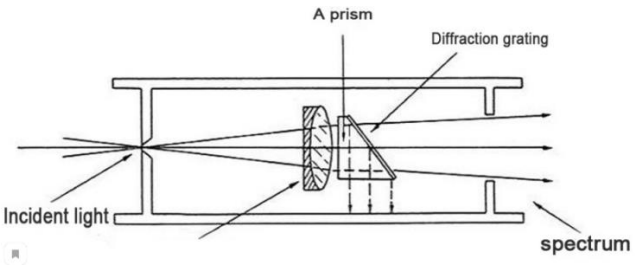


Рис. 1. Оптическая схема геологического спектроскопа.



Рис. 2. Габаритные размеры геологического спектроскопа.

Как видно из рисунков, спектроскоп имеет привлекательные габариты и малый размер выходного зрачка, что позволяет провести хорошее сопряжение с объективом смартфона. Для выяснения особенностей построения комплекса спектроскоп-смартфон мы построили макет данной системы и получили несколько проверочных спектров. Спектроскоп крепился к смартфону пластилином. В качестве примера на рис. 3 и 4 приведены спектры от фонарика мобильного телефона и аметиста в свете этого фонарика соответственно. В обоих случаях использовалось 4-кратное увеличение смартфона (может быть напрасно).

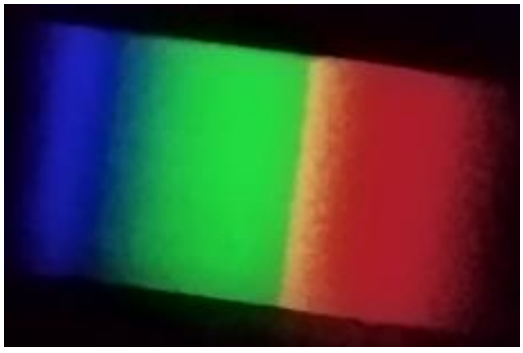


Рис. 3. Спектр от фонарика мобильного телефона

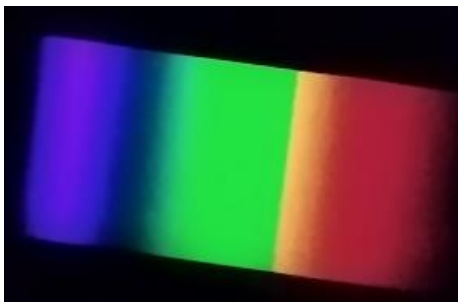


Рис. 4. Спектр отражения аметиста при освещении светом фонарика мобильного телефона

На наш взгляд конструкция жизнеспособна. Конкретизировался ряд задач, которые в настоящее время решаются (крепление спектроскопа к смартфону, обработка полученных спектров с помощью существующих программ, как для смартфонов, так и для компьютера, отработка техники снятия спектров), а в итоге – перспектива получить систему 3 в 1 – спектроскоп, смартфон и спектрофотометр.

Источники

1. Даниловских М.Г., Винник Л.И., Стрещук В.А. Мини-спектрометр для смартфона // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 10 (76). С. 33–37.

УДК 539.143.4

ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ РАСТВОРОВ КРОВИ

В.В. Иванов[1], К.Ю. Яникаева[2], Т.Р. Абдуллин[3]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]vadim_2002@list.ru, [2]ksuy.yanikaeva@mail.ru, [3]perm1ss10n@yandex.ru
Науч. рук. А.И. Погорельцев

Приведены результаты исследований оптических спектров водных растворов крови. Все измерения проводились на спектрофотометре 722N. Параметры поглощения и пропускания исследовались в широком диапазоне длин волн (320–1020 nm). В качестве опорного раствора использовалась дистиллированная вода, полученная в нашей лаборатории. Результаты исследований приводятся в виде соответствующих графиков. Проводится обсуждение полученных результатов.

Ключевые слова: оптическая спектроскопия, фотометрия, спектрофотометр, коэффициент пропускания, оптическая плотность.

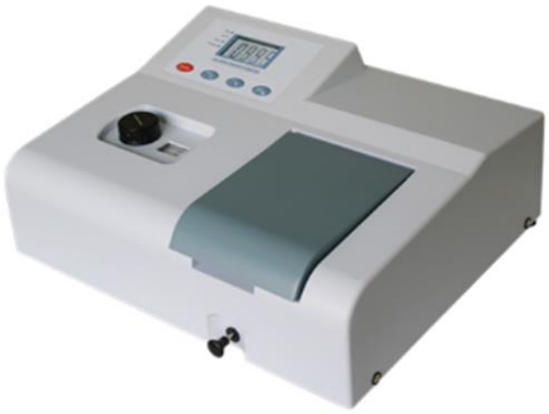
Согласно исследованию NATION, у 24 % взрослого населения России выявлен преддиабет, а у 5,4 % – сахарный диабет второго типа, причем половина из них (54 %) не догадывается о своем заболевании. Лекарства от диабета в настоящее время не существует. Важнейшим фактором в борьбе со смертностью от последствий этого заболевания является мониторинг уровня глюкозы в крови. Необходимость замеров варьируется от одного раза в день до нескольких раз в день. Процедура прокалывания малоприятная и возникает опасность инфекционного заражения. При этом цена полосок для глюкометров весьма ощутима (~ 1 000 руб. за 50 полосок). На наш взгляд решить проблему хотя бы полосок можно с использованием методов оптической спектроскопии.

Оптическая спектроскопия крови позволяет получить данные с минимальным воздействием на кровь. Этот метод в настоящее время интенсивно развивается в исследованиях и диагностики крови. Предпринята попытка провести исследования оптических спектров водных растворов крови. Также предпринята попытка связать полученные результаты с уровнем сахара в крови по показаниям глюкометра Акку-чек Актив.

Проведенные ранее измерения [1] позволяют предположить, что в спектрах поглощения крови присутствуют три основных полосы поглощения в диапазонах 415–420 нм, 540–550 нм и 575–580 нм. Наиболее ярко выраженное поглощение наблюдается в диапазоне 415–420 нм. Считается, что основным поглощающим веществом в оптическом диапазоне спектра крови является гемоглобин. В видимом спектре гемоглобина (HbO_2) как раз и наблюдается интенсивное поглощение при 415–420нм (полоса поглощения Соре). Что касается двух других пиков поглощения, то они менее интенсивные (*a* и *b* полосы поглощения гемоглобина) и между ними в области 560–565 нм находится минимум поглощения. Что касается глюкозы в крови, то при попадании глюкозы в кровь коэффициент рассеяния уменьшается. Это является следствием увеличения показателя преломления эритроцитов. С ростом концентрации глюкозы в крови отмечается равномерное уменьшение коэффициента поглощения.

В настоящей работе приведены результаты исследований оптических спектров водных растворов крови. Оптическая длина хода кюветы составляла 10 мм, объём – 3 ml. Образцы готовились путем растворения капли крови в соответствующем объёме дистиллированной воды. В представляемой работе мы попытались привязать спектроскопические исследования индексов поглощения и пропускания к единицам измерения

глюкозы в бытовых глюкометрах. Растворяемая капля крови бралась типичной для глюкометров типа Акку-чек Актив и была порядка 0,6 мкл. Все измерения проводились на однолучевом сканирующем спектрофотометре 722N (см. рисунок).



Спектрофотометр 722N

Параметры поглощения и пропускания растворов исследовались в широком диапазоне длин волн (320–1 020 nm). В качестве опорного раствора использовалась дистиллированная вода, полученная в нашей лаборатории.

Результаты исследований были представлены в виде графиков зависимости параметров пропускания и поглощения от длины волны. К настоящему моменту проведены исследования образцов с большим показателем глюкозы – 14,5 и 13,8 ммоль/л по показаниям глюкометра Акку-чек Актив. Первоначальное сканирование по всему диапазону проводилось с шагом 20 nm. Было выявлено, что в диапазоне 320–460 nm в обоих образцах наблюдается заметное поглощение излучения. Наблюдается пик поглощения. В то же время, начиная с 480 nm и до конца исследуемого диапазона 1020 nm наблюдается резкое уменьшение параметра поглощения, и его величина становится близкой к поглощению дистиллированной воды. В районе наблюдаемого пика поглощения было проведено сканирование с шагом 2 nm. Найдено, что пик поглощения соответствует длине волны 414 nm и составляет 0,617 против 0 для дистиллированной воды или 24,1 % против 100 % для параметра пропускания. Таким образом, можно предположить, что полосу Cape мы наблюдаем. Что касается двух других пиков поглощения гемоглобина, то как отмечалось ранее, они имеют значительно меньшую интенсивность. И здесь необходимо уменьшить шаг сканирования. В то же время, заметное поглощение в области 320–414нм нуждается в объяснении.

В настоящее время подбираются и тестируются образцы с малыми показателями глюкозы в крови.

Источники

1. Горская Н.И. Оптические исследования крови в видимом спектральном диапазоне // Успехи современного естествознания. 2007. № 12-1. С. 48.

УДК 539.143.4

АНАЛИЗ ТОПОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ МЕТОДОМ ФУНКЦИИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ (ELF) В АУРИПИГМЕНТЕ. КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ И АМОРФНАЯ ФАЗЫ

Д.С. Китанин, А.С. Фролов, В.Д. Галиахметов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
kitaninds@gridcom-rt.com
Науч. рук. А.И. Погорельцев

Произведено сравнение топологий распределения электронной плотности методом функции локализации электронов кристаллической и аморфной фаз и сделаны выводы по полученным данным.

Ключевые слова: оптическая спектроскопия, фотометрия, спектрофотометр, коэффициент пропускания, оптическая плотность.

Аурипигмент As_2S_3 относится к классу халькогенидных полупроводников. Аморфная фаза достаточно просто получается искусственно путем сплавления стехиометрических количеств As и S. Образцы естественного происхождения, наоборот, как правило, имеют кристаллическую структуру. Аурипигмент находит широкое применение в современных технологиях – при изготовлении солнечных батарей, оптических устройств памяти и т.п.

Основными структурными элементами являются пирамидальные (зонтичные) группы AsS_3 , собранные в бесконечные цепочки и сетки, перпендикулярные оси *b*. Спектр ЯКР ^{75}As при температурах 77 и 300 К в образцах естественного происхождения состоял из двух резонансных

линий, частоты которых равны 70,336; 69,537 и 72,804; 71.942 МГц для температур 77 и 300 К соответственно [1]. У образцов искусственного происхождения наблюдалась широкая резонансная линия и выделялось третье состояние на частоте 77,8 МГц.

В настоящей работе был выполнен анализ топологии распределения электронной плотности методом функции локализации электронов (ELF) для кристаллической и аморфной фаз. Функция ELF равна:

$$ELF = \eta(\vec{r}) = \frac{1}{1+\left(\frac{D_{\uparrow}(\vec{r})}{D_{h\uparrow}(\vec{r})}\right)^2}$$

Функция $D_{\uparrow}(\vec{r})$ называется плотностью кинетической энергией Паули. ELF широко применяется для определения особенностей электронной структуры различных молекулярных систем и кристаллов. Значения данной функции лежат в диапазоне $0 \le \eta(\vec{r}) \le 1$: в областях пространства, где $\eta(r) \to 1$, кинетическая энергия электронов уменьшается и наблюдается локализация электронных пар, тогда как $\eta(r)$ =1/2 соответствует электронной делокализации. В рамках ELF возможно прямое обнаружение не поделённых электронных пар и областей химического связывания.

На рис. 1 и 2 приведены распределения ELF в плоскости 46-11-2 для кристаллического и аморфного состояний соответственно.

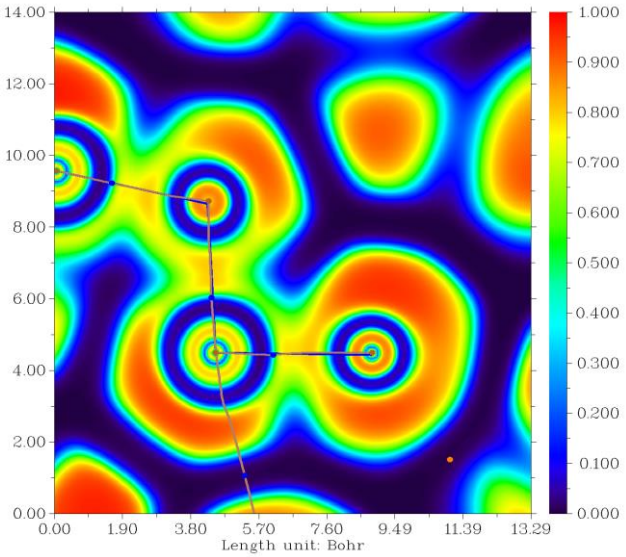


Рис. 1. ELF в плоскости 46-11-2. Кристаллическое состояние

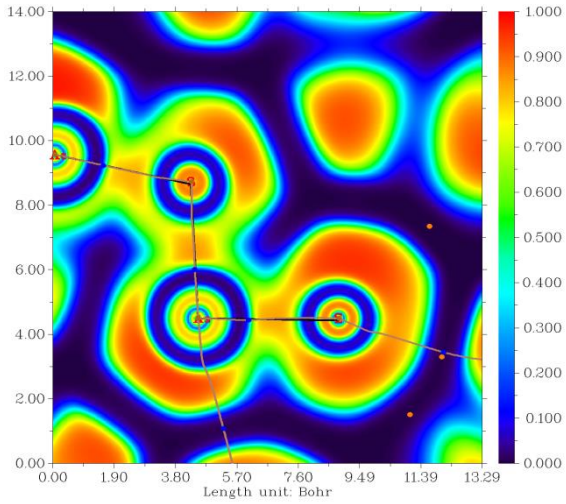


Рис. 2. ELF в плоскости 46-11-2. Аморфное состояние

Как видно из приведенных рисунков межатомные области имеют различную окраску – для кристаллической фазы окраска более светлая и можно предположить, что здесь количество обобщенных электронов для всей цепочки больше, в то время как для аморфной фазы электроны концентрируются больше в межатомных областях.

Источники

1. Пеньков И.Н., Сафин И.А. // ФТТ. 1964. Т. 6, № 8. С. 1264.

УДК 621

НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ ПОРИСТЫЙ ГЕРМАНИЙ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

Н.Д. Платонов[1], Н.М. Сулейманов[2], В.В. Базаров[3]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[2,3]КФТИ КазНЦ РАН, г. Казань
[1]nickiplatonov@gmail.com, [2]nail.suleimanov@mail.ru, [3]bazarov@kfti.knc.ru

Электрохимические конденсаторы (ЭХК) являются быстрыми электрофизическими накопители заряда, с высокой удельной мощностью, емкостью и большим сроком службы. По своим рабочим параметрам и выполняемым функциям,

они занимают промежуточное положение между аккумуляторными батареями и обычными «электрическими» конденсаторами [1, 2]. В ЭХК накопление электрического заряда может осуществляться за счет двух процессов: за счет емкости двойного электрического слоя (ДЭС) и так называемой псевдоемкости, возникающей как результат быстрых обратимых фарадеевских редокс-реакций, которые могут протекать в присутствии активных элементов на одном из электродов [3].

Ключевые слова: суперконденсаторы, аморфный пористый наноструктурированный германий, ионная имплантация, доза имплантации, концентрация носителей, эффект Холла.

Наноструктурированные полупроводниковые материалы в настоящее время рассматриваются как одни из перспективных материалов для электродов ЭХК из-за своих высоких проводящих свойств и большой эффективной поверхности [4]. Одним из таких материалов является пористый германий [5].

Целью данной работы является исследование электрофизических характеристик образцов наноструктурированного пористого германия (Ge) в зависимости от дозы имплантации и морфологии поверхности.

Научная новизна исследования заключается в поиске структур с наибольшей эффективной площадью поверхности и электронной проводимостью, способных многократно увеличить энергоемкость и удельную мощность ЭХК.

Для проведения исследований были выращены пленки аморфного Ge на диэлектрических монокристаллических подложках сапфира Al_2O_3 методом магнетронного распыления толщиной 600 и 1 000 нм. Для получения образцов наноструктурированного пористого германия проводилось облучение выращенных ранее структур ионами Ge^+ с энергией 40 кэВ, в диапазоне доз от $2 \cdot 10^{16}$ до $12 \cdot 10^{16}$ ион/см^2. Исследование электрофизических параметров проводилось на установке Холла HL55PC в НПП «КВАНТ» (МИСИС, г. Москва). Были измерены следующие параметры: слоевая концентрация носителей, поверхностное и объемное электрическое сопротивления, подвижность основных носителей заряда, коэффициент Холла.

В результате были измерены электрофизические параметры и получены зависимости концентрации основных носителей заряда и их подвижности от дозы имплантации и толщины образцов наноструктурированного пористого германия (рис. 1–3). Результаты измерений Холла занесены в таблицу.

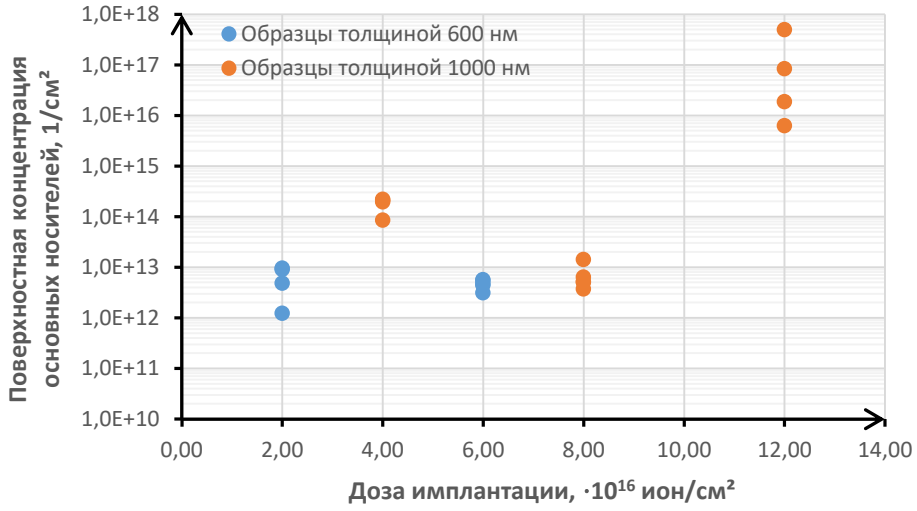


Рис. 1. Зависимость слоевой концентрации от дозы ионной имплантации

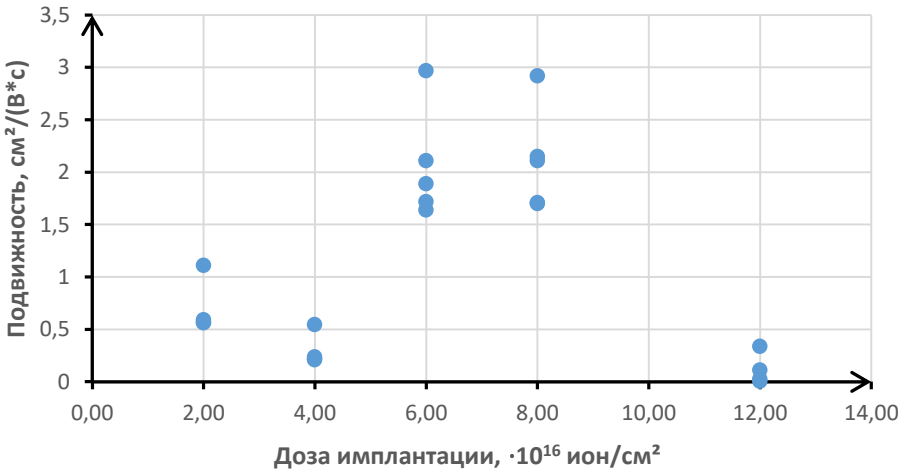


Рис. 2. Подвижность основных носителей заряда от дозы имплантации

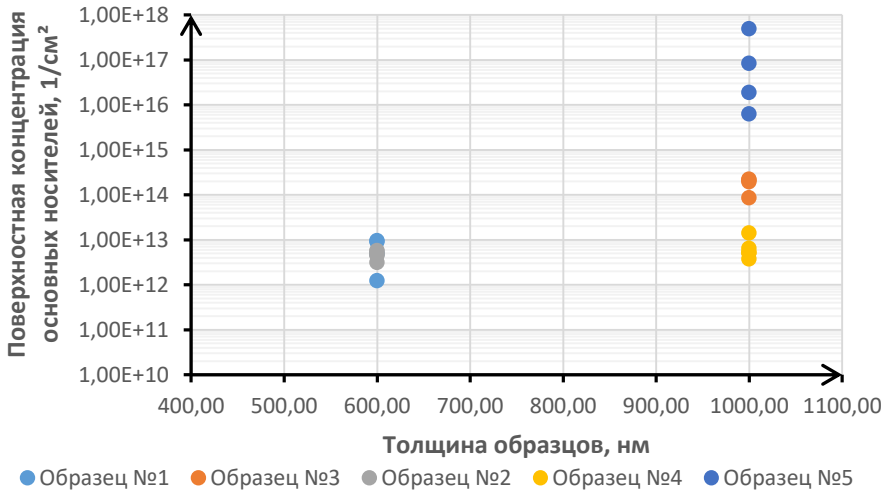


Рис. 3. Зависимость слоевой концентрации от толщины образцов

Результаты измерений

Номер образца	Доза имплантации D, ион/см²	Толщина исследуемого слоя	Поверхностная конц-я осн. нос. заряда n, 1/см²	Подвижность осн. нос. заряда μ, см²/(В·с)	Коэф. Холла R_H, м³/Кл
Эталонный	нет	500 мкм	$1{,}44\cdot10^{11}$	15,30	4 330,00
1	$2\cdot10^{16}$	600 нм	$6{,}22\cdot10^{12}$	0,76	234,70
2	$6\cdot10^{16}$	600 нм	$4{,}69\cdot10^{12}$	2,07	137,80
3	$4\cdot10^{16}$	1 000 нм	$1{,}79\cdot10^{14}$	0,30	4,06
4	$8\cdot10^{16}$	1 000 нм	$6{,}95\cdot10^{12}$	2,12	109,98
5	$12\cdot10^{16}$	1 000 нм	$1{,}51\cdot10^{17}$	0,16	0,04

Заключение

1. Проведены измерения электрофизических характеристик наноструктурированного пористого Ge, полученного методом ионной имплантации, с различными дозами имплантации ионов Ge^+ и толщиной рабочего слоя.

2. Установлено, что ионная имплантация германия приводит к аморфизации и росту концентрации носителей в приповерхностном слое.

3. Выявлено, что с увеличением дозы и толщины образцов наблюдается тенденция увеличения слоевой концентрации носителей: максимальная концентрация носителей наблюдается при максимальной толщине образца (1 000 нм) и при максимальной дозе имплантации ($12\cdot10^{16}$ ион/см^2) и составляет $1{,}5\cdot10^{17}$ см$^{-2}$.

4. Установлена возможная причина повышенной концентрации основных носителей и невысокой подвижности в исследуемом материале. Вероятнее всего, это связано с повышенной концентрацией дефектов структуры, появившихся при облучении ионами.

5. Таким образом установлено, что образцы пористого германия с максимальной дозой облучения и наибольшей толщиной обладают в данном случае, наиболее эффективными параметрами для использования их в качестве материалов для электродов ЭХК на основе полупроводниковых материалов.

Источники

1. Варакин И.Н., Клементов А.Д., Литвиненко С.В. Электрохимические конденсаторы для гибридного электрического транспорта // Тез. докл. 9-го Междунар. семинар по конденсаторам с двойным слоем и подобным накопителям: тез. докл. Флорида, США, 1999.

2. Новые ультраконденсаторы, разработанные акционерным обществом «ЭСМА» для различных применений / И.Н. Варакин [и др.] // Тез. докл. 8-го Междунар. семинара по конденсаторам с двойным слоем и подобным накопителям. Флорида, США, 1998.

3. Reversibility and Growth Behavior of Surface Oxide Films at Ruthenium Electrodes / S. Hadzi-Jordanov [et al.] // J. Electrochem. Soc. 1978. Vol. 125, Is. 9. Pp. 1471–1479.

4. Шурыгина В. Суперконденсаторы. Помощники или возможные конкуренты батарейным источникам питания // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2003. № 3. С. 20–24.

5. Asymmetric Supercapacitor Electrodes and Devices / Nitin Choudhary [et al.]. DOI: 10.1002/adma.201605336 // Advanced Materials. 2017. Vol. 29, Is. 21.

УДК 574:54; 669.1(07)

ВОДОРОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Р.И. Разакова[1], Х.В. Гибадуллина[2]
ФБГОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]reginarazakova@yandex.ru, [2]gibadullinakhalida@rambler.ru

Рассмотрено применение водородных технологий в производстве сплавов железа.

Ключевые слова: водород, безуглеродистые технологии, сталь, углекислый газ.

К числу важнейших видов сырья химической и нефтехимической промышленности относится водород (H_2). Наряду с кислородом и азотом (N_2), он входит в тройку наиболее востребованных промышленных газов. Основной областью применения водорода в металлургии является получение металлизированного продукта путем прямого восстановления железа, вольфрама, молибдена и других металлов – восстановительный обжиг при температурах 700–900 °С [1]:

$$Fe_2O_3 + 3H_2 = 2Fe + 3H_2O;$$

$$WO_2 + 2H_2 = W + 2H_2O;$$

$$UO_3 + H_2 = UO_2 + H_2O.$$

Возможно восстановление солей в водных растворах водородом под давлением в щелочной или кислой среде, например:

$$CuSO_4 + H_2 = Cu + H_2SO_4.$$

Водород на металлургических предприятиях используется для создания защитной азотно-водородной атмосферы при термообработке и термической обработке холодного проката [2].

Работа с H_2 сложнее, чем работа с другими техническими газами. По сравнению, например, с N_2 водород имеет меньшую молекулярную массу, повышенную «летучесть», что увеличивает утечки газа при компрессии и является взрывоопасным. Усложняет работу оборудования и водородное охрупчивание металла [2] . Главное его преимущество в том, что он не токсичен, а как топливо устраняет большую часть выбросов парниковых газов [3].

Традиционные металлургические процессы при производстве 1 т жидкой стали образуют в среднем 1,8 т углекислого газа (CO_2). Предприятия черной металлургии являются источником 30 % мировых выбросов углекислого газа [4]. На восстановительную плавку, например, доменный процесс, ежегодно приходится около 7–9 % CO_2:

$$(Fe_2O_3 + SiO_2)_{\text{руда}} + C_{\text{кокс}} + (CaCO_3)_{\text{флюс}} \rightarrow$$
$$\rightarrow [Fe_{\text{ж}} + C]_{\text{чугун}} + (CaO \times SiO_{2\text{ж}})_{\text{шлак}} + \{CO, CO_2\} \uparrow \text{ газ.}$$

Вместе с доменным газом (CO, CO_2) в атмосферу в небольших количествах выбрасываются также соединения мышьяка, фосфора, сурьмы, свинца, пары ртути и редких металлов, цианистый водород и смолистые вещества.

Постоянно растущая стоимость квот на выброс парниковых газов заставляет металлургов искать безуглеродистые технологические решения, подразумевающие восстановление железа из рудного концентрата при помощи водорода – без агломерации и плавки чугуна [1, 2].

Современные экологически ориентированные проекты для декарбонизации металлургических процессов предлагают использование именно водорода в качестве восстановителя при рафинировании железной руды до чистой стали. Вдувание водорода вместо угольной пыли (кокса) в доменные печи предотвращает выбросы CO_2, так же сокращается расход воды в 2–3 раза и резко уменьшаются объемы сточных вод [1]. Еще одним важным преимуществом водородных технологий – является чистота получаемого металла, в котором отсутствуют примеси серы и фосфора [2]. Однако выпуск прямовосстановленного железа требует большого расхода природного газа и дешевой электроэнергии.

Принято разделять водород на «серый» – из угля, нефти и газа, на «голубой» – ПГУ ТЭС или АЭС, и на «зеленый» – из возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [5]. Сегодня 99 % промышленного водорода является «серым» и «голубым», только 1 % считается «зеленым» [5]. При создании сплавов железа в основном используется «серый» водород, который подается в печь с рудной шихтой. Безуглеродная металлургия подразумевает применение чистого "белого" водорода, который получают электролизом или «зеленого» из ВИЭ. Чтобы достичь нулевых выбросов парниковых газов в атмосферу, металлургия должна полностью перейти на водород, произведенный с использованием возобновляемой электроэнергии.

«Зеленые» технологии производства стали – на 20–30 % дороже традиционных. Не смотря на это Европейская сталелитейная ассоциация планирует сократить выбросы CO_2 на 80 % к 2030 г. за счет применения водородных технологий, а к 2050 г. производство стали в странах ЕС на 80–95 % должно стать безуглеродным [6].

Производство дорогой «зеленой» стали может стать окупаемой в ближайшие 10–15 лет, поскольку стоимость выбросов углекислого газа будет расти гораздо быстрее – либо через систему торговли выбросами Евросоюза, либо через экологический налог, а промышленным компаниям придется покрывать большую часть или весь объем убытков от парниковых газов. В 2019 г. европейские производители при выплавке 1 млн т стали затратили дополнительно 51 млн евро в виде платы за квоты на CO_2.

Водородная металлургия станет не только экологичной, но и экономически выгодной, если будут решены проблемы с хранением и безопасной транспортировкой H_2, а возобновляемые источники энергии подешевеют и получат более широкое распространение. Решение этих проблем требует не только организационно-технических подходов, но и поиска и внедрения новых материалов и технологий [5, 6].

Источники

1. Соболев С.Б., Куриный В.В., Марьин С.Б. Основы технологии получения металлов и сплавов (получение железа, чугуна и стали). Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. 168 с.

2. Гольцова М.В. Водородные технологии в литье и металлургии: настоящее и будущее // Литье и металлургия. 2018. № 4 (93). С. 145–154.

3. Зиятдинов Р.Н., Алимов А.М., Гибадуллина Х.В. Экологическая химия. Казань: ФГБОУ ВПО КГАВМ, 2012. 110 с.

4. Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В. Экология. Природа – Человек – Техника. М.: Юнити-Дана, 2001. 343 с.

5. Формирование рынка «зеленого» водорода в ЕС [Электронный ресурс]. URL: https://cepconsult.com/ru/publications/formirovanie-ryinka-zelenogo- vodoroda-v-es (дата обращения: 10.03.2021).

6. Водород: эпоха возрождения [Электронный ресурс]. URL: https:// oilcapital.ru/article/general/10-09-2020/vodorod-epoha-vozrozhdeniya (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 539.143.43

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХАЛЬКОПИРИТА $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ МЕТОДАМИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА $^{63,65}Cu$ И ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНАСА

И.Г. Севастьянов[1], А.Н. Гавриленко[2], С.Б. Орлинский[3], В.Л. Матухин[4], Е.В. Шмидт[5], С.О. Гарькавый[6]

[1,2,4,5,6]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[3]ФГАОУ ВО КФУ, г. Казань

[1]sevilya1985@mail.ru, [2]ang_2000@mail.ru, [3]orlinskii@list.ru, [4]matukhinvl@mail.ru, [5]ev-shmidt@mail.ru, [6]olololiev77@mail.ru

Приводятся результаты экспериментального исследования легированных соединений халькопирита методами ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и электронного парамагнитного резонанаса (ЭПР) при различных температурах.

Ключевые слова: ядерный магнитный резонанс (ЯМР), электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), антиструктурные дефекты.

Высокоэффективные термоэлектрические материалы привлекают большое внимание из-за их потенциального применения, особенно для сбора энергии с помощью отработанного тепла. В [1] предложено использовать магнитные полупроводники в качестве эффективных термоэлектриков. Характерная особенность магнитных полупроводников – сильная связь между носителями заряда и спинами магнитных ионов. Это взаимодействие может привести к большой эффективной массе носителей заряда, которая увеличит коэффициент Зеебека при хорошей электропроводимости. Один из представителей этого класса соединений — хорошо известный полупроводниковый минерал халькопирит $CuFeS_2$.

Недавние исследования позволили предположить возможное улучшение термоэлектрических свойств этого соединения, особенно путем разбавленного легирования [2, 3]. Следовательно, для достижения высокоэффективных термоэлектрических соединений необходимо детальное понимание физических свойств этого соединения.

В данной работе исследована серия соединений $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ (x = 0–0,02) методами ^{63,65}Cu ЯМР в локальном поле и ЭПР. Ранее термоэлектрические и транспортные свойства образцов горячего прессования соединений $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ (x = 0–0,1) были изучены в [4].

Поликристаллические образцы номинального состава $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ (x = 0; 0,01; 0,02) синтезированы из смеси чистых элементов, полученных из Sigma-Aldrich, включая Cu (4 N shots), Pd (4 N powder), Fe (4 N granular) и S (5 powder). Синтез образцов описан в [4].

Спектральные параметры ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле в $CuFeS_2$ измерены на многоимпульсном ЯКР/ЯМР спектрометре Tecmag Redstone. Результат представлен на рис. 1.

ЭПР спектры трех образцов $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ (x = 0; 0,01; 0,02) были изучены на стационарном рентгеновском спектрометре ESP-300 Bruker в температурном диапазоне от 15 до 300 К. Массы образцов примерно равны. У спектров ЭПР всех образцов есть свои собственные особенности. Результаты измерений температуре T = 15 К представлены на рис. 2, а при температуре T = 300 К – на рис. 3.

Сдвиг частоты резонансных линий можно объяснить взаимодействием Рудермана – Киттеля – Касуя – Йосиды (РККИ) [5]. Это подтверждается повышенной проводимостью, наблюдаемой для образца $Cu_{0,98}Pd_{0,02}FeS_2$ [4].

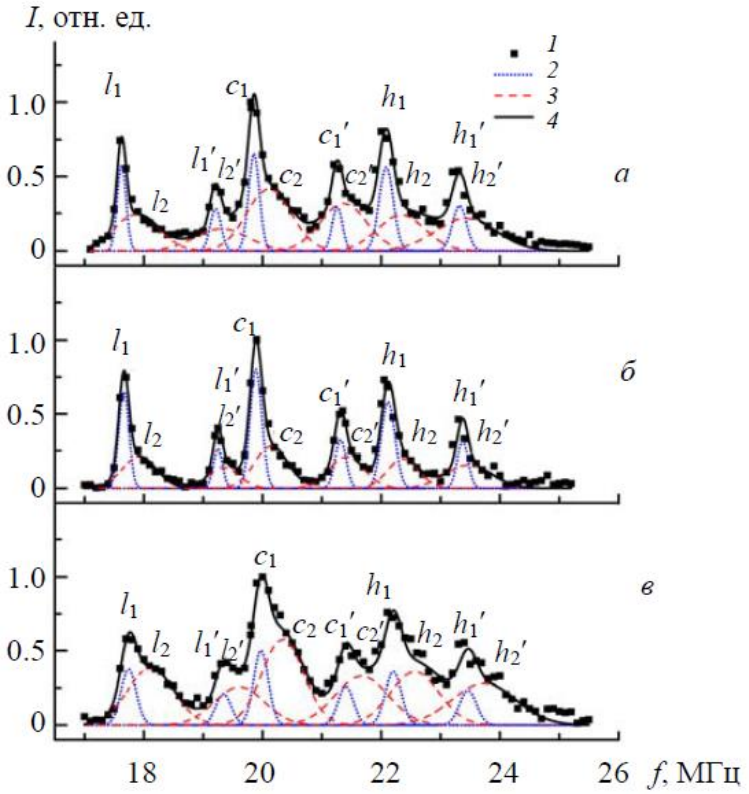


Рис. 1. Измеренные спектры ЯМР ^{63,65}Cu в локальном поле при $T = 77$ К образцов $CuFeS_2$ (*а*), $Cu_{0.99}Pd_{0.01}FeS_2$ (*б*) и $Cu_{0.98}Pd_{0.02}FeS_2$ (*в*): *1* – экспериментальные данные; *2* – узкая линия (l_1, l_1', c_1, c_1', h_1, h_1'); *3* – широкая линия (l_2, l_2', c_2, c_2', h_2, h_2'); *4* – накопительная линия; *2* и *3* указывают на расщепление каждой резонансной линии (*1* или *4*) на две линии

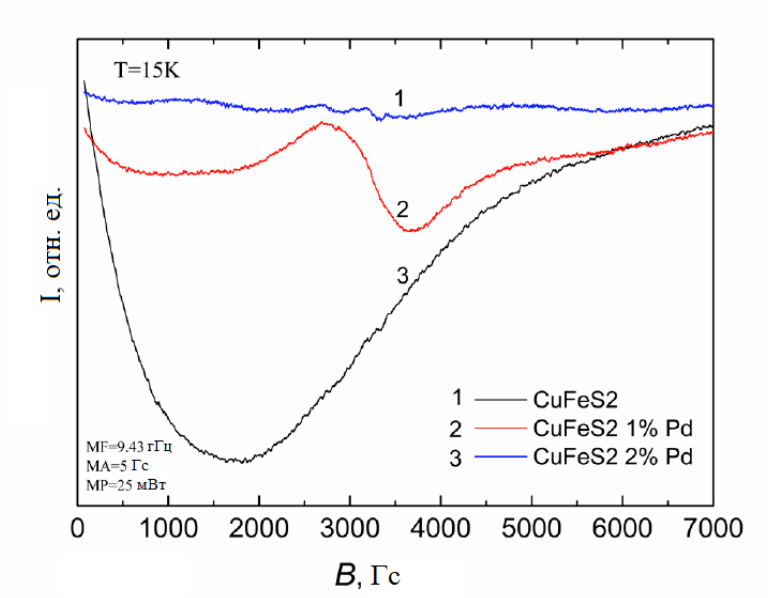


Рис. 2. Измеренные при температуре 15 К спектры ЭПР образцов: $CuFeS_2$ (*1*), $Cu_{0.99}Pd_{0.01}FeS_2$ (*2*) и $Cu_{0.98}Pd_{0.02}FeS_2$ (*3*)

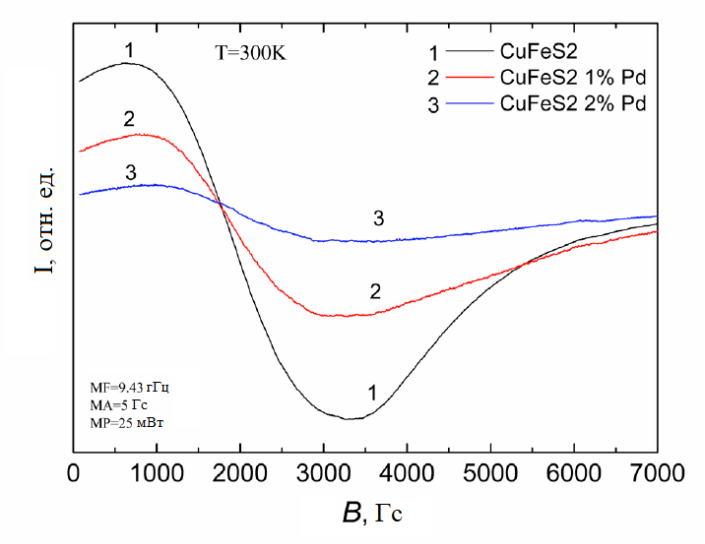


Рис. 3. Измеренные при температуре 300 K спектры ЭПР образцов: $CuFeS_2$ (*1*), $Cu_{0.99}Pd_{0.01}FeS_2$ (*2*) и $Cu_{0.98}Pd_{0.02}FeS_2$ (*3*)

Уширение резонансных линий ЯМР может быть результатом увеличения количества дефектов в кристаллической решетке соединения, что приводит к большему распределению градиентов электрических полей на резонансных ядрах меди. Такими дефектами могут быть антиструктурные дефекты $FeCu^{2+}$, их образование обусловлено образованием фазы PdS в матрице халькопирита с увеличением номинального содержания Pd. Метод ЯМР Cu в локальном поле можно использовать для оценки дефектности поликристаллов соединений $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ (x = 0–0,02).

Быстрое изменение в форме спектра ЭПР, которое было найдено в диапазоне температур 100–130 K в образце $CuFeS_2$, по-видимому, соответствует структурному фазовому переходу.

В спектрах ЭПР $CuFeS_2$: в образце с 1%-м содержанием Pd при температуре T = 15 K, по-видимому, наблюдается парамагнитный сигнал с g-фактором g = 2,08 и шириной порядка 1 кГс, который может быть связан с появлением антиструктурных дефектов.

Источники

1. Tsujii N. Possible Enhancement of Thermoelectric Properties by Use of a Magnetic Semiconductor: Carrier-Doped Chalcopyrite $Cu_{1-x}Fe_{1+x}S_2$ // Journal of Electronic Materials. 2013. Vol. 42. Pp. 1974–1977.

2. Thermoelectric properties of a magnetic semiconductor $CuFeS_2$ / H. Takaki [et al.] // Materials Today Physics. 2017. Vol. 3. Pp. 85–92.

3. First-principles calculations of Seebeck coefficients in a magnetic semiconductor $CuFeS_2$ / H. Takaki [et al.] // Applied Physics Letters. Vol. 110, Is. 7.

4. Thermoelectric and Transport Properties of n-type Palladium-Doped Chalcopyrite $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ Compounds / J. Navratil [et al.] // Journal of Electronic Materials. Vol. 48. Pp. 1795–1804.

5. Combination of Dense Kondo Effect and RKKY Interaction in $CeCuSb_2$, Investigated by NMR / T. Koyama [et al.] // Journal of the Physical Society of Japan. Vol. 70. Pp. 3667–3672.

УДК 539.17.013

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ДАННЫХ КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ ЭПР МАТЕРИАЛОВ С МНОГОЯДЕРНЫМИ ПАРАМАГНИТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

Т.А.Н. Хушея, Р.Р. Зайнуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
takeihousheya1992@gmail.com
Науч. рук. Уланов В.А.

Исследованы возможности быстрого анализа данных контроля методом ЭПР кристаллических материалов с многоядерными парамагнитными комплексами (ПК) в условиях воздействия на материал достаточно сильного магнитного поля. Получены теоретические выражения, позволяющие представить уравнение резонанса в аналитической форме. Найдены равенства, связывающие теоретические величины резонансных магнитных полей с направлением вектора напряженности действующего на ПК магнитного поля. Полученные равенства дают возможность без больших затрат времени определить численные значения компонент тензоров электронного зеемановмского, свертонкого и суперсверхтонкого взаимодействия в исследуемом ПК.

Ключевые слова: спиновый гамильтониан, электронное зеемановское взаимодействие, сверхтонкое взаимодействие, суперсверхтонкое взаимодействие.

При исследованиях материалов с парамагнитными комплексами (ПК) методом ЭПР общее признание получил формализм спинового гамильтониана (СГ) [1–3]. Здесь предполагается, что все уровни энергии, между которыми наблюдаются резонансные переходы, принадлежат

состояниям с одним и тем же моментом количества движения, обычно называемым «эффективным спином». Энергии этих состояний определяются как собственные значения некоторой совокупности спиновых операторов – спинового гамильтониана (СГ), а характеристиками включенных в него взаимодействий являются компоненты сопоставляемых с этими взаимодействиями тензоров. Достоинство формализма СГ в том, что общий вид спинового гамильтониана, как правило, достаточно универсален для описания целого класса парамагнитных комплексов, а следовательно, универсален и метод расчета спектров ЭПР. Такой расчет предполагает предварительное изучение парамагнитной системы, на основе которого выдвигаются предположения о природе и симметрии проявляющихся в спектрах ЭПР взаимодействий. Исходя из этих предположений, определяется симметрия тензоров изучаемых взаимодействий, а численные значения их компонент устанавливаются из условия соответствия вычисляемых и полученных из эксперимента угловых зависимостей положений резонансных линий спектра. Теория расчетов подобного типа (феноменологическая теория спектров ЭПР) подробно изложена в различных монографиях и публикациях (см. например [2, 3]), но некоторые проблемы остались. Среди них – проблема аналитического описания угловых зависимостей в спектрах ЭПР многоядерных ПК, характеризуемых свертонкой и суперсверхтонкой структурами (СТС и ССТС, соответственно).

В данной работе рассматривались ПК, спектроскопические свойства которых описываются спиновым гамильтонианом следующего вида:

$$H_S = \beta_e \left(H \cdot g \cdot S \right) + \\ + \sum_{i=1}^{N} \left[\left(S \cdot A^{(i)} \cdot I^{(i)} \right) + \left(I^{(i)} \cdot Q^{(i)} \cdot I^{(i)} \right) - g_n^{(i)} \beta_n \left(H \cdot I^{(i)} \right) \right], \qquad (1)$$

где S – оператор электронного спинового момента (S = 1/2); I – оператор момента i-го ядра; g - тензор электронного зеемановского взаимодействия (ЭЗВ); i – номер ядра, с магнитным моментом которого наблюдается сверхтонкое или суперсверхтонкое взаимодействие (соответственно СТВ и ССТВ); $A^{(i)}$ и $Q^{(i)}$ – тензоры сверхтонкого и квадрупольного (соответственно) взаимодействий с i-м ядром. Последний член суммы в (1) определяет ядерное зеемановское взаимодействие (ЯЗВ) магнитного момента i-го ядра с внешним магнитным полем (H).

В соответствии с принципом суперпозиции квантовых состояний, в качестве базисных функций оператора H_S принимаются функции

$$\Phi(M, m_1, m_2, ..., m_N) = \Psi(M) \cdot \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot ... \cdot \chi_N . \quad (2)$$

В данной работе предполагалось, что ЭЗВ, описываемое первым членом выражения (1), намного больше СТВ и ССТВ. В таком приближении появлялась возможность независимого вращения функций $\Psi(M)$ и χ_i в пространстве спиновых переменных. В частности, путем вращения функций $\Psi(M)$ произведено преобразование оператора ЭЗВ, представленное следующим выражением:

$$\beta_e \left(H \cdot g \cdot S \right) \rightarrow \beta_e g_{eff} \mid H \mid \cdot S'_Z ; \quad (3)$$

$$g_{eff} = \sqrt{l \cdot g \cdot \tilde{g} \cdot \tilde{l}} ; \quad (4)$$

$$l = \sin\vartheta\cos\varphi \cdot i + \sin\vartheta\sin\varphi \cdot j + \cos\vartheta \cdot k. \quad (5)$$

В равенствах (4) и (5) l представляет собой единичный вектор, совпадающий с направлением вектора напряженности внешнего магнитного поля (H). Из выражения (3) следует, что матрица преобразованного оператора ЭЗВ имеет диагональный вид, что позволит легко получить равенства для энергий электронных спиновых состояний.

Путем независимых вращений базисных функций χ_i и использования положений теории возмущений (ТВ) нами были получены выражения для поправок к каждому электронному уровню ε_M, возникающих вследствие учета ССТВ с каждым отдельно взятым ядром с номером i. Наиболее важные поправки, определенные с точностью первого порядка ТВ, определяются равенством:

$$\Delta\varepsilon_{M',m'(i)} = m'(i)\sqrt{l \cdot [(M')^2 (g \cdot A \cdot \tilde{A} \cdot \tilde{g}) + \nu_L^2(i) \cdot 1] \cdot \tilde{l}} \; / \; g_{eff} . \quad (6)$$

Полученные выражения позволяют представить уравнение резонанса в аналитической форме, откуда могут быть получены формулы, определяющие теоретические величины резонансных магнитных полей в зависимости от направления вектора напряженности действующего на ПК магнитного поля. Используя эти формулы, метод наименьших квадратов и экспериментальные угловые зависимости в спектрах ЭПР, без особого труда могут быть получены численные значения для компонент тензоров ЭЗВ, СТВ и ССТВ.

Источники

1. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. М.: Мир. 1972. 2 т.

2. Ракитин Ю.В., Ларин Г.М., Минин В.В. Интерпретация спектров ЭПР координационных соединений. М.: Наука. 1993. 399 с.

3. Brustolon M., Giamello E. Electron paramagnetic resonance. a practitiner's toolkit. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009. 536 p.

УДК 539.17.013

НЕОДНОРОДНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСИ НИКЕЛЯ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КРИСТАЛЛЕ ГАЛЕНИТА

Т.А.Н. Хушея, Р.Р. Зайнуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
takeihousheya1992@gmail.com
Науч. рук. В.А. Уланов

Методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) при T = 4,2 К изучены возможности и результаты допирования галенита (PbS) никелем. В качестве зондовых центров были использованы ионы Mn^{2+}, вводимые в кристалл галенита в небольшом количестве ($y \approx 0{,}0001$) одновременно с примесью никеля. Исследуемый кристалл был выращен методом Бриджмена. Установлено, что монокристаллические були получаются лишь при выполнении условия ($x < 0{,}01$). При этом в объеме выращенного монокристалла $Pb_{1-x-y}Ni_xMn_yS_{1-z}$ ($x \approx 0{,}006$) образуются вакансии серы и наноскопические области с различными концентрациями и типами носителей заряда. Последнее объясняется присутствием в решетке кристалла ионов Ni^{3+}, Ni^{2+} и Ni^{+}.

Ключевые слова: галенит, вакансии серы, примесь никеля, примесь марганца, ЭПР.

Узкозонный полупроводник PbS (галенит) с кристаллической структурой типа NaCl до настоящего времени привлекает внимание исследователей как материал с большими возможностями в области термоэлектрического преобразования энергии. Установлено [1], что термоэлектрическая добротность галенита значительно повышается, если в объеме этого материала присутствуют наноскопические области с сильно отличающимися физическими свойствами.

Целью данной работы явилось экспериментальное изучение возможностей и результатов допирования кристалла галенита примесью никеля. В качестве метода исследования был выбран метод ЭПР. Для получения в объеме исследуемого кристалла парамагнитных зондовых центров была использована дополнительная примесь марганца. Чтобы эта примесь не могла существенным образом влиять на структуру выращиваемого кристалла, ее концентрация бралась равной $y \approx 0{,}0001$. Было проведено несколько экспериментов по выращиванию монокристалла $Pb_{1-x-y}Ni_xMn_yS_{1-z}$ с различными концентрациями никеля. Оказалось, что максимальная концентрация никеля, которая позволяла получить монокристаллические образцы, не превышала 0,0095. Спектры ЭПР регистрировались на спектрометре «E-12 Varian» в диапазоне *X*. Наиболее информативными оказались образцы $Pb_{1-x-y}Ni_xMn_yS_{1-z}$ с концентрациями (x = 0,006; y = 0,0002), которые выкалывались из выращенной кристаллической були с помощью скальпеля. В результате получались прямоугольные кусочки с примерными размерами 3,5×3,5×2 мм^3, имеющие блестящие и идеально плоские поверхности скола, совпадающие с кристаллографическими плоскостями (001).

Приготовленные таким образом образцы закреплялись на вертикальном кварцевом держателе так, чтобы повороты держателя вокруг оси позволяли устанавливать образец в резонаторе спектрометра в трех главных направлениях, соответствующих случаям H_0||<001>, H_0||<111> и H_0||<110>. Регистрация спектров ЭПР проводилась при температуре жидкого гелия (4,2 К).

Полученные экспериментальные факты представлены на рисунке.

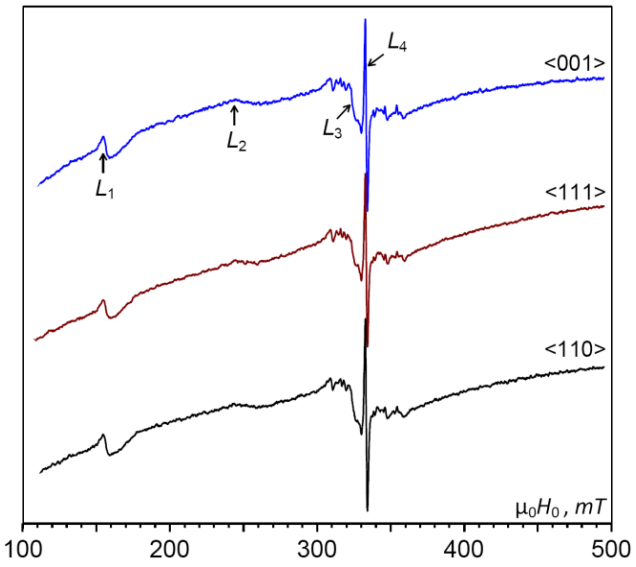


Рис. 1. Спектр ЭПР образца $Pb_{1-x-y}Ni_xMn_yS_{1-z}$ ($x \approx 0{,}006$; y = 0,0001):
T = 4,2К; H_0||<001> ; f = 9338 ± 5 МГц

На рисунке представлены три спектра, зарегистрированные в трех главных ориентациях образца $Pb_{1-x-y}Ni_xMn_yS_{1-z}$ (x = 0,006; y = 0,0002) при T = 4,2 К на частоте 9 338 ± 5 МГц. Видно, что все три зарегистрированных спектра имеют практически одинаковый вид, что говорит об изотропии магнитных свойств наблюдаемых парамагнитных центров. Линия ЭПР, обозначенная символами L_1 характеризуется g-фактором, равным 4,304 ± 0,001, и может быть связана с ионами Ni^{3+}, заместившими катион Pb^{2+}. Изотропия свойств центра $Ni^{3+}(3d^7)$ объясняется тем, что он в свободном состоянии имеет основной орбитальный терм ^4F, который в кристаллическом поле расщепляется, при этом основным состоянием оказывается триплет $^4T_{1g}$. Если предположить, что эффект Яна–Теллера в данном кристалле подавлен, то в состоянии $^4T_{1g}$ центр Ni^{3+} должен иметь g-фактор, примерно равны 12/3. Линии L_2 и L_3, по-видимому, также связаны с парамагнитными центрами никеля в позициях Pb^{2+}, но находящимися, соответственно, в состояниях Ni^{2+} и Ni^{+}. Действительно, ион $Ni^{2+}(3d^8)$ в свободном состоянии имеет основной терм ^3F, который в кристаллическом поле шести ионов серы расщепится на два возбужденных орбитальных триплета, $^3T_{1g}$ и $^3T_{2g}$, и основной синглет $^3A_{2g}$. Следовательно, в указанной позиции ион Ni^{2+} должен характеризоваться изотропным тензором **g** (g-фактором). В данном случае L_2 соответствует g = 4,64 ± 0,01. Что касается иона Ni^{+}. Этот ион имеет основной орбитальный терм ^2D и в позиции Pb^{2+} его основным орбитальным состоянием становится ^2E. В такой ситуации обычно реализуется эффект Яна–Теллера. Но необычная природа химических связей с ближайшими шестью ионами серы может подавить эффект Яна-Теллера, что также приведет к изотропным магнитным свойствам данного парамагнитного центра. Следовательно, мы можем характеризовать центр Ni^{+} изотропным g-фактором. Здесь он равен 2,065 ± 0,001. Линия L_4 возникла в спектре ЭПР благодаря электронам, локализованным на кластерах вакансий серы. Группа линий, расположенных с двух сторон от линии L_4, связана, как минимум, с тремя ансамблями центров Mn^{2+}, характеризуемых различными значениями g-факторов и констант сверхтонкой структуры. Большая разница в величинах параметров ЭПР центров Mn^{2+} говорит о том, что каждый из указанных ансамблей центров находится в наноскопических областях кристалла $Pb_{1-x-y}Ni_xMn_yS_{1-z}$, имеющих резко отличающиеся физические свойства (в частности, различные концентрации и тип носителей заряда).

Источники

1. High thermoelectric efficiency of *n*-type PbS / Heng Wang [et al.] // Adv. Energy Mater. 2013. Vol. 3. Pp. 488–495.

УДК 539.17.013

ЭФФЕКТЫ ДВОЙНОГО ДОПИРОВАНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КРИСТАЛЛА PbS_{1-z} ПРИМЕСЯМИ МЕДИ И МАРГАНЦА

Т.А.Н. Хушея[1], Р.Р. Зайнуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]takeihousheya1992@gmail.com
Науч. рук. В.А. Уланов

Методом ЭПР при T = 4,2 К изучены эффекты влияния основной примеси меди на параметры спинового гамильтониана ионов дополнительной примеси марганца (Mn^{2+}) в термоэлектрическом кристалле галенита с вакансиями серы (PbS_{1-z}). Показано, что кристаллы PbS_{1-z}, не содержащие примесей, характеризуются электронным типом проводимости с $n \approx 10^{18} \div 10^{19}$ см$^{-3}$. Результаты изучения двух монокристаллических образцов $Pb_{1-x-y}Cu_xMn_yS_{1-z}$ с концентрацией марганца (y = 0,0002) и концентрациями меди (x_1 = 0,0003; x_2 = 0,005) свидетельствуют о существенной зависимости величины g-фактора и константы сверхтонкого взаимодействия ионов Mn^{2+} от концентрации меди. Получены свидетельства присутствия в исследуемых образцах ионов Cu^{2+} и Cu^{3+}.

Ключевые слова: галенит, вакансия серы, двойное допирование, примесь меди, примесь марганца, электронный парамагнитный резонанс.

Полупроводник PbS (галенит), обладающий кристаллической структурой типа NaCl и узкой запрещенной зоной, является перспективным материалом в области электроники и энергетики. Он широко используется в производстве высокочувствительных и быстродействующих фотодетекторов, лазерных и светоизлучающих диодов инфракрасного диапазона, эффективных термоэлектрических генераторов и тепловых насосов [1]. Поскольку присутствие в этом материале примесей приводит к изменениям в плотностях состояний свободных носителей заряда в его зонах, то можно ожидать, что одновременное допирование галенита несколькими примесями может привести к новым эффектам, способным придать этому материалу необычные свойства.

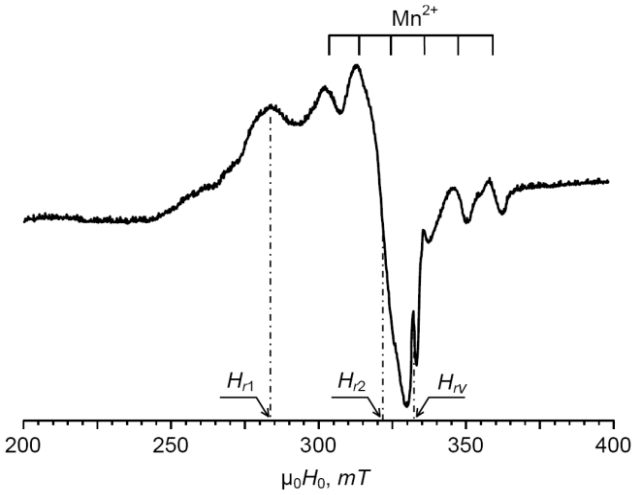
Целью данной работы явилось экспериментальное изучение возможностей и результатов одновременного допирования кристалла галенита примесями меди и марганца. В качестве метода исследования выбран ЭПР, который в данном случае способен предоставить информацию о локальных изменениях структуры и свойств кристалла-матрицы. В работе был использован спектрометр ЭПР «E-12 Varian».

Монокристаллы для исследований были выращены из расплава методом Бриджмена в установке для выращивания монокристаллов «Донец-2». Были использованы кварцевые тигли с конической формой нижнего конца. Примесь марганца вводилась в шихту в виде тонкого порошка металлического марганца. Примесь меди – в виде соединения Cu_2S. Кроме того, в приготавливаемую шихту вводилось некоторое количество серы. Все указанные компоненты были марки ОСЧ.

Исследуемые образцы, $Pb_{1-x-y}Cu_xMn_yS$ (x_1 = 0,0003; x_2 = 0,005; y = 0,0002) выкалывались из выращенной кристаллической були с помощью скальпеля в форме прямоугольника с размерами 3,5×3,5×2 мм^3, причем поверхности скола оказывались плоскими и совпадали с плоскостями кристалла (001). Регистрация спектров проводилась при T = 4,2 К.

Основные результаты эксперимента оказались следующими. В обоих образцах наблюдались спектры ЭПР, состоящие из наложенных друг на друга спектров нескольких парамагнитных центров. В этих спектрах (см. рисунок) центры Mn^{2+} (S^{Mn} = 5/2, I^{Mn} = 5/2) были представлены шестью линиями сверхтонкой структуры (СТС), интенсивности которых в обоих образцах были примерно одинаковыми. Тонкая структура в спектре Mn^{2+} не наблюдалась, что свидетельствовало о кубической симметрии занимаемой им позиции. Примерно в центре группы линий от Mn^{2+} в обоих образцах наблюдалась линия дайсоновской формы, за которую, как предполагается, ответственны электроны, локализованные в объемах кластеров вакансий серы. На рисунке этой линии соответствует резонансное значение поля H_{rV}. Кроме указанных, в образцах *1* и *2* присутствовали наложенные друг на друга линии, интенсивности которых были примерно пропорциональными концентрациям меди. Из этого факта следовало, что за данные линии ответственны парамагнитные центры меди. Двум пикам этой группы неразрешенных линий на рисунке поставлены в соответствие два значения внешнего магнитного поля: H_{r1} и H_{r2}. Неожиданным явилось то, что вид огибающей неразрешенных линий спектров парамагнитных центров в обоих кристаллах не менялся при вращениях образца вокруг оси кристалла <110>. Конечно, отсутствие угловых зависимостей в спектре центров Mn^{2+}, не имеющего тонкой структуры, и в спектре вакансионных кластеров с локализованными

в их объемах электронами не является необычным. Но необычной казалась неизменность положений и форм резонансных линий, связанных с парамагнитными центрами меди.



Спектр ЭПР образца $Pb_{1-x-y}Cu_xMn_yS$ (x = 0,005; y = 0,0002):
T = 4,2К; H_0||<001> ; f = 9343 ± 5 МГц

Объяснение наблюдаемой независимости спектров ЭПР от ориентаций образцов оказалось возможным, если предположить, что в исследуемых образцах образовались два вида центров меди: Cu^{2+} ($3d^9$, S = 1/2) и Cu^{3+} ($3d^8$, S = 1). Ион Cu^{3+} имеет в качестве основного ^3F-терм, который в кристаллическом поле его координационного октаэдра расщепляется на два возбужденных орбитальных триплета ($^3T_{1g}$ и $^3T_{2g}$) и основной орбитальный синглет $^3A_{2g}$. Следовательно, пик с H_{r1} вполне может быть связан с центром Cu^{3+}, поскольку в случае основного синглета $^3A_{2g}$ его положение практически не будет зависеть от ориентации образца. Что касается линии, центр которой отмечен значением магнитного поля H_{r2}. Если предположить, что она обязана своим возникновением центрам Cu^{2+}, то следует признать, что в галените эффект Яна–Теллера сильно подавлен вследствие того, что связи этого иона с шестью ближайшими ионами серы оказались такого же типа, что и связи замещенного им катиона решетки Pb^{2+} (т.е., резонансными с кратностями 1/3).

Источники

1. Lead salt thin film semiconductors for microelectronic applications / S. Mukherjee [et al.]. Kerala (India): Transworld Research Network 37/661, 2010. 88 p.

Секция 5. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 629.3.069

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯДА LI-ION БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

М.Ф. Агзамов[1], М.Н. Симонова[2], Э.Ф. Хакимзянов[3], П.С. Логинов[4], Р.А. Галиев[5]
[1,2,3,4]ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие», г. Казань
[1,2,3,5]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[3]ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», г. Казань
agzamovmf@energo-razvitie.ru

Представлено исследование процесса заряда Li-ion батарей электромобилей в условиях пониженных температур. Результаты исследования показаны в виде графиков изменения параметров режима заряда батареи электромобилей. Были получены закономерности, позволяющие оценить характеристики процесса заряда аккумуляторных Li-ion батарей электромобилей. В анализируемый период был осуществлен заряд двух электромобилей марок Nissan Leaf, Audi E-Tron с батареей Li-ion. Замеры производились с помощью цифрового многофункционального счетчика коммерческого учета с функцией контроля качества электроэнергии. В заключении представлены выводы о влиянии низких температур на время заряда батареи электромобиля.

Ключевые слова: электромобиль, заряд батареи электромобиля, электро-зарядная станция.

Развитие инфраструктуры электрических зарядных станций (ЭЗС) формирует условие для повышения интереса к электромобилям. С одной стороны, рост парка электромобилей значительно уменьшит количество вредных выбросов в атмосферу и значительно снизит уровень шума в городе, с другой стороны, эксплуатация электромобиля в условиях пониженных температур создает для их владельцев определенные трудности при заряде батареи, так как территория Республики Татарстан характеризуется умеренно-континентальным типом климата средних широт, с теплым летом и умеренно-холодной зимой. Самый тёплый месяц года – июль, самый холодный – январь, все четыре сезона года очень хорошо выражены.

Для оценки влияния пониженных температур на время заряда батареи электромобиля, эксперимент было решено провести в январе 2021 г., в процессе исследования определить закономерность между временем заряда батареи электромобиля и температурой окружающей среды [1]. Выведенные закономерности необходимы для дальнейшего формирования стоимости оплаты за услугу заряда электромобиля от быстрой зарядной станции.

Цель статьи – с помощью инструментальных замеров показать влияние низких температур на время заряда батареи электромобиля.

В рамках исследования решаются следующие задачи:

– ежедневный замер показателей качества электроэнергии;

– представление результатов в виде суточных графиков изменения времени заряда от температуры;

– проведение анализа полученных результатов измерений.

В качестве обьекта исследования были выбраны два электромобиля марок Nissan Leaf и Audi E-Tron с батареей Li-ion. Заряд батареи электромобилей осуществлялся от станции NSP Relevant MAX мощностью 120 кВт, расположенная по адресу: г. Казань, ул. Магистральная, д. 23. Схема подключения зарядной станции представлена на рис. 1.

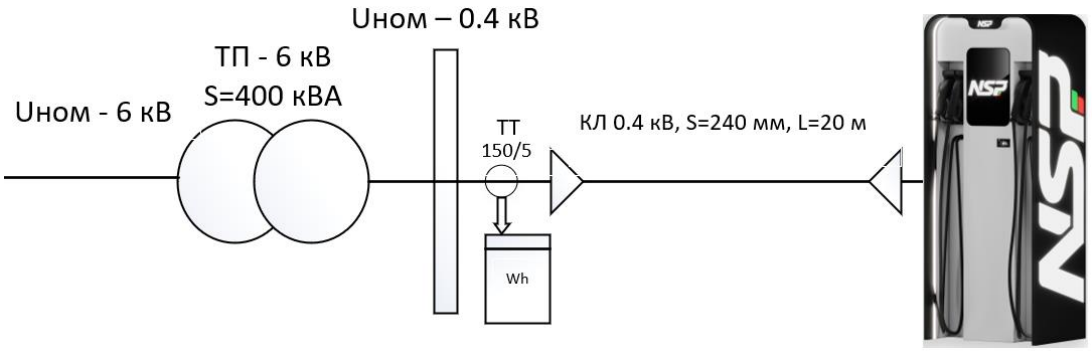


Рис. 1. Схема подключения зарядной станции к ТП 6 кВ

Для проведения исследования использовано следующее оборудование:

– быстрая зарядная станция мощностью 120 кВт, производства ООО «Зеленодольский электротехнический завод»;

– счетчик коммерческого учета с функциями контроля качества электроэнергии типа ЩМК120СП;

– Nissan Leaf и Audi E-Tron с батареями Li-ion.

Анализ измерений проводится для следующих параметров:

– полная мощность S, ВА;

– низкая температура окружающей среды *T*, °C;
– время заряда *t*, минуты.

На рис. 2 и 3 представлены графики заряда Li-ion батареи электромобиля Nissan Leaf 2018 г. выпуска с ёмкостью батареи 40 кВт/ч, без системы подогрева батареи, при температуре окружающей среды –23 °C и +1 °C. На полученных графиках видно, что максимальная потребляемая мощность составила всего 2,1 кВА при температуре окружающей среды –23 °C и 10,9 кВА при +1 °C. Среднее время заряда составило от 40 до 60 минут. Разница в потребляемой мощности связана с тем, что из-за низкой температуры происходит изменение эксплуатационных свойств Li-ion батареи, и, как следствие, увеличивается время заряда.

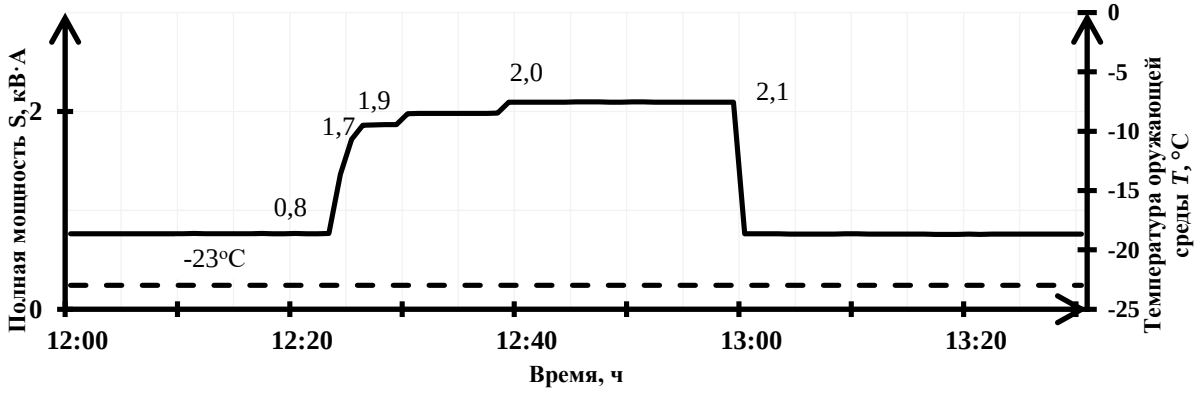


Рис. 2. График заряда батареи Nissan Leaf с батареей Li-ion при температуре окружающей среды –23 °C

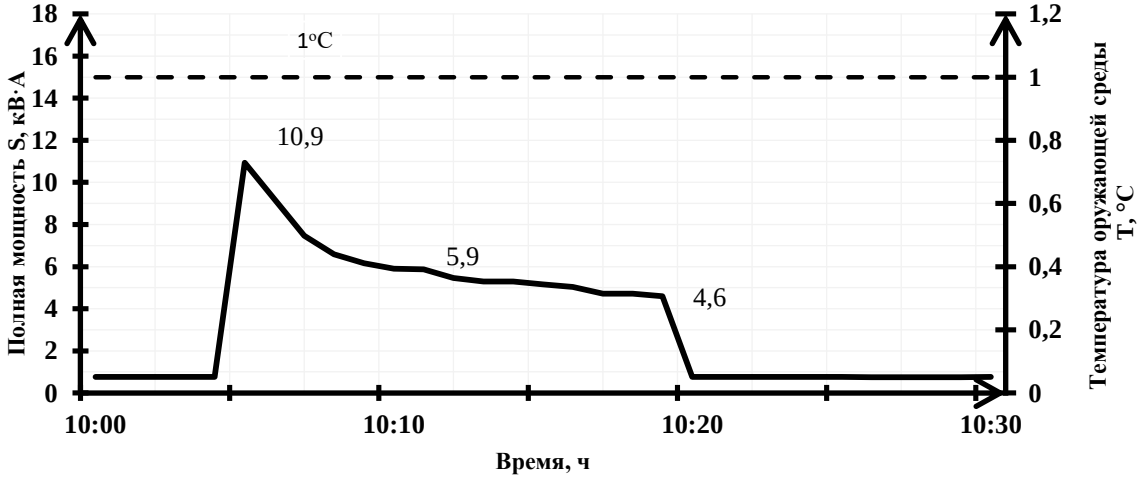


Рис. 3. График заряда батарей Nissan Leaf при температуре окружающей среды +1 °C

В условиях пониженных температур (–23 °С) Li-ion батарея может и не зарядится вовсе (рис. 2), так как это связано с протеканием химических реакций в самой батарее. В процессе заряда Li-ion батареи на «быстром режиме заряда» при температуре -23°С, общая потребленная мощность составила всего 1,2 кВт·ч за 40 минут, хотя необходимо было зарядить 24 кВт, соответствующей 160 км пробега (заводские паспортные данные Nissan Leaf).

На современных электрозаправочных станциях существуют два варианта оплаты за заряд электромобиля. Первый вариант оплаты – это поминутная оплата, в среднем тариф составляет 10 рублей за 1 минуту заряда. Второй вариант оплаты – за потребленную мощность в кВт·ч. Рассмотрим подробнее преимущества и недостатки каждого варианта.

На сегодняшний день первый вариант оплаты наиболее распространен, но отсутствует правовое регулирование в этой области и заряд электромобиля частным лицам предоставляется как услуга. При среднем времени заряда в 60 мин в зимний период (рис. 2), необходимо заплатить 600 руб., что является экономически не выгодным для владельца электромобиля марки Nissan Leaf. Это будет дороже, чем заправка автомобиля бензином марки АИ-92, так же необходимо учесть часовой простой электромобиля во время зарядки.

На рис. 4 и 5 представлены графики заряда Li-ion батареи электромобиля Audi E-Tron, при температуре окружающей воздуха –20,8 °С и –6,6 °С. Максимальная потребляемая мощность составила в обоих случаях не изменилась и составила 23 кВА, время заряда – 70 мин.

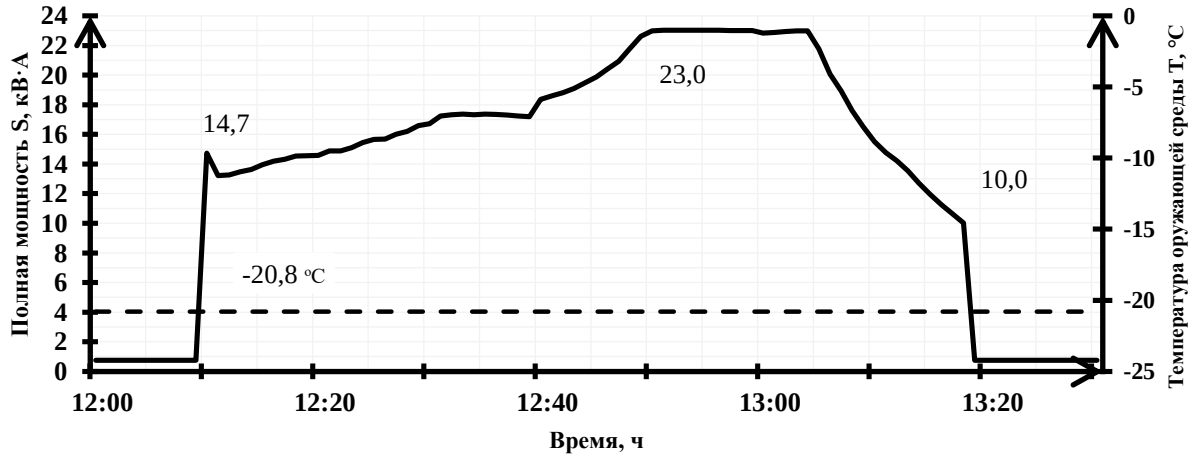


Рис 4. График заряда батарей Audi E-Tron с батареей Li-ion
при температуре окружающей среды –20,8 °С



Рис 5. График заряда батарей Audi E-Tron с батареей Li-ion
при температуре окружающей среды –6,6 °С

Особенностью заряда батареей Li-ion электромобиля Audi E-Tron в условиях низких температур является то, что при температуре ниже – 10 °С часть потребляемой мощности тратиться на прогрев батареи электромобиля. Из рис. 4 видно, что при температуре –20,8 °С набор мощности заряда батареи происходит постепенно в течении длительного времени, в отличии от рис. 5, где набор мощности заряда происходит в течении нескольких минут.

Выводы

В виду отсутствия правового регулирования по предоставлению услуги за заряд электромобилей для частных лиц и единой ценовой политики, вопрос оплаты для частных лиц остается открытым, так как потребитель не всегда может зарядить электромобиль в условиях низких температур.

Для формирования цены по оказанию услуги за заряд электромобиля необходимо проработать варианты оплаты с учетом потребленных киловатт-часов, так как такой подход, на наш взгляд, будет являться более равноправным и позволит исключить конфликтные ситуации между автовладельцем и поставщиком услуги.

В дальнейшем планируется провести исследование влияния зарядной станции на качество электрической энергии сети 0,4 кВ с учетом высших гармонических составляющих для определения их влияния на ПКЭ в соответствии с [2].

Источники

1. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.

2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

УДК 621.31

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНЦИЙ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ УСТАНОВКИ ШТАНГОВОГО ГЛУБИННОГО НАСОСА

С.А. Алешин[1], А.Н. Якунин[2]
[1]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[2]ФГБОУ ВО «АГНИ», г. Альметьевск
[1]aleshin97@inbox.ru, [2]anatol_ee@rambler.ru

Механизированная добыча нефти установками штанговых глубинных насосов считается довольно энергоемким процессом. На территории Российской Федерации около 50 тыс. скважин эксплуатируется установками ШГН, которые выделяют до 20 % всей добываемой нефти. В тоже время выше 56 % электричества, расходуемой нефтедобывающими предприятиями, потребляется как раз приводами скважинных насосов, в следствие этого оптимизация их работы уделяется особенное внимание.

Ключевые слова: нефтедобыча, станция управления, контроллер, штанговый глубинный насос, частотно-регулируемый электропривод, динамограмма, счетчик электроэнергии.

Стремление нефтяных компаний снизить эксплуатационные затраты, сократить простои скважин в связи с ремонтом насосного оборудования и более эффективно использовать свой персонал обуславливают возросший интерес к автоматизации процессов нефтедобычи, в частности, к системам автоматизации скважин, эксплуатируемых установкой штанговыми глубинными насосами (УШГН) [1].

В последнее время стал популярным термин «интеллектуальная скважина», который означает полностью автоматическое управление электроприводом скважинного насоса и дистанционный контроль всех параметров на диспетчерском пункте.

Практически все современные станции управления (СУ) для скважин имеют в своем составе контроллер для реализации интеллектуальных функций контроля и управления [1].

Интеллектуальные СУ обеспечивают эффективную работу скважин со слабыми коллекторскими свойствами, эксплуатирующийся с применением штанговых глубинных установок. Подобные станции позволяют в автоматическом режиме измерять все необходимые параметры работы скважины, диагностировать возможные осложнения, подстраивать работу насоса под условия эксплуатации скважины и выводить работу установок на оптимальный режим.

В таблице рассмотрим функциональные возможности контроллеров управления ШГН отечественной разработки. В данный обзор вошли некоорые станции управление [2], которые применяются на предприятии нефтедобычи ПАО «Татнефть» ИРЗ-410, СМАРТ-ПЧ-А1/22,0, CS-MIROL-02.

Характеристики интеллектуальных станций управления

	ИРЗ-410	СМАРТ-ПЧ-А1/22,0	CS-MIROL-02
Страна / Город производства	Россия / Ижевск	Россия / Казань	Россия / Самара
Датчик нагрузки	+	+	–
Датчик положения	+	+	–
Наличие датчика тока	+	–	+
Контроль с помощью динамографа	+	+	–
Управление преобразователем частоты	+	+	–
Наличие дисплея и клавиатуры	+	+	+
Передача информации по GSM	+	+	+
Диапазон рабочих температур, °С	–60…+50	–40…+50	–40…+50
Стоимость, тыс. руб.	250	214	381,356

Как показал сравнительный анализ, в целом интеллектуальные станции управления (ИСУ) это современный шаг в увеличения дополнительного добычи нефти с помощью преобразователя частоты, который регулирует динамический уровень жидкости в насосе УШГН[2]. Гарантирует плавный режим работы насосного оборудования, чем обычные станции управления. Благодаря непрерывному контролю динамограмм появляется возможность достичь желанного наполнения цилиндра насоса жидкостью, поддержания высокого динамического уровня.

По результатам проведенных анализа трех интеллектуальных станций могут быть сделаны следующие выводы:

1. Использование ИСУ с ЧРП позволяет обеспечить работу скважины и насосного оборудования в режимах, близких к наилучшим. Обеспечивается более полное наполнение насоса жидкостью, поддерживаются благоприятные значения динамического уровня жидкости.

2. Мы исследовали три ИСУ можно заявить, соответственно, что на двух станциях из трех имеют дополнительные датчики, к примеру: датчик положения, межтраверсный, датчик нагрузки и т. д.

3. Вполне вероятно, что скважины при применении ИСУ остается на прежнем уровне, а в отдельных случаях и возрастает. В случае необходимости, контроллер ИСУ еще имеет возможность быть запрограммирован как на режим получения высокого дебита, так и на оптимизацию иных характеристик.

4. ИСУ способна обеспечить автоматическое поддержание режима эксплуатации скважины с заданным наполнением насоса.

5. Спектор рабочих температур подходит для эксплуатации на юго-востоке Татарстана.

Интеллектуальные станции управления обеспечивают эффективную работу УШГН, скважин со слабыми коллекторскими свойствами. Подобные станции позволяют в автоматизированном режиме измерять все необходимые параметры работы скважины, диагностировать возможные осложнения, подстраивать работу насоса под условия эксплуатации [3].

Источники

1. Современные станции управления скважинными штанговыми глубиннонасосными установками / М.И. Хакимьянов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12, № 1. С. 78–85.

2. Контроллеры автоматизации установок штанговых глубинных насосов [Электронный ресурс] / М.И. Хакимьянов [и др.] // Нефтегазовое дело. 2007. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Hakimyanov/ Hakimyanov_3.pdf (дата обращения: 12.02.2021).

3. Алешин С.А., Якунин А.Н. Опыт практической комплектации интеллектуальной станции управления установкой штангоглубинного насоса // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: матер. XV Всерос. открытой молод. науч.-практ. конф. Казань, 2020. С. 15–17.

УДК 621.316.7

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ СИРИИ

А. Альзаккар[1], Н.П. Местников[2], Хассан Ф. Алхадж[3]
[1,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[2]Северо-Восточный федеральный университет, г. Якутск
[1]Ahmadalzakkar86@gmail.com
Науч. рук. И.М. Валеев

Посвящается теме исследования и анализа значения взаимосвязей между электроэнергетическими системами, которая увеличивается при большей вероятности вследствие зависимости всех стран и государств от электроэнергии и простоте ее трансфера между странами в целях дополнения экономических и технических выгод. Проанализированы динамическое посредством использования динамического моделирования энергетической системы страны с помочью PSS/E для определения детерминанта системы и определения времени устранения критических неисправностей трехфазных отказов при классе напряжения 230–400 кВ.

Ключевые слова: соединение, линия электропередачи, мощность, угол ротора.

Формирование математической модели. В рамках данного раздела представляется общая схема элементов электроэнергетической системы.

В общем случае математическая модель любой электроэнергетической системы включает в себе базовые элементы данной системы (рис. 1): системы возбуждения, линии электропередачи, генератор, трансформатор и нагрузки.

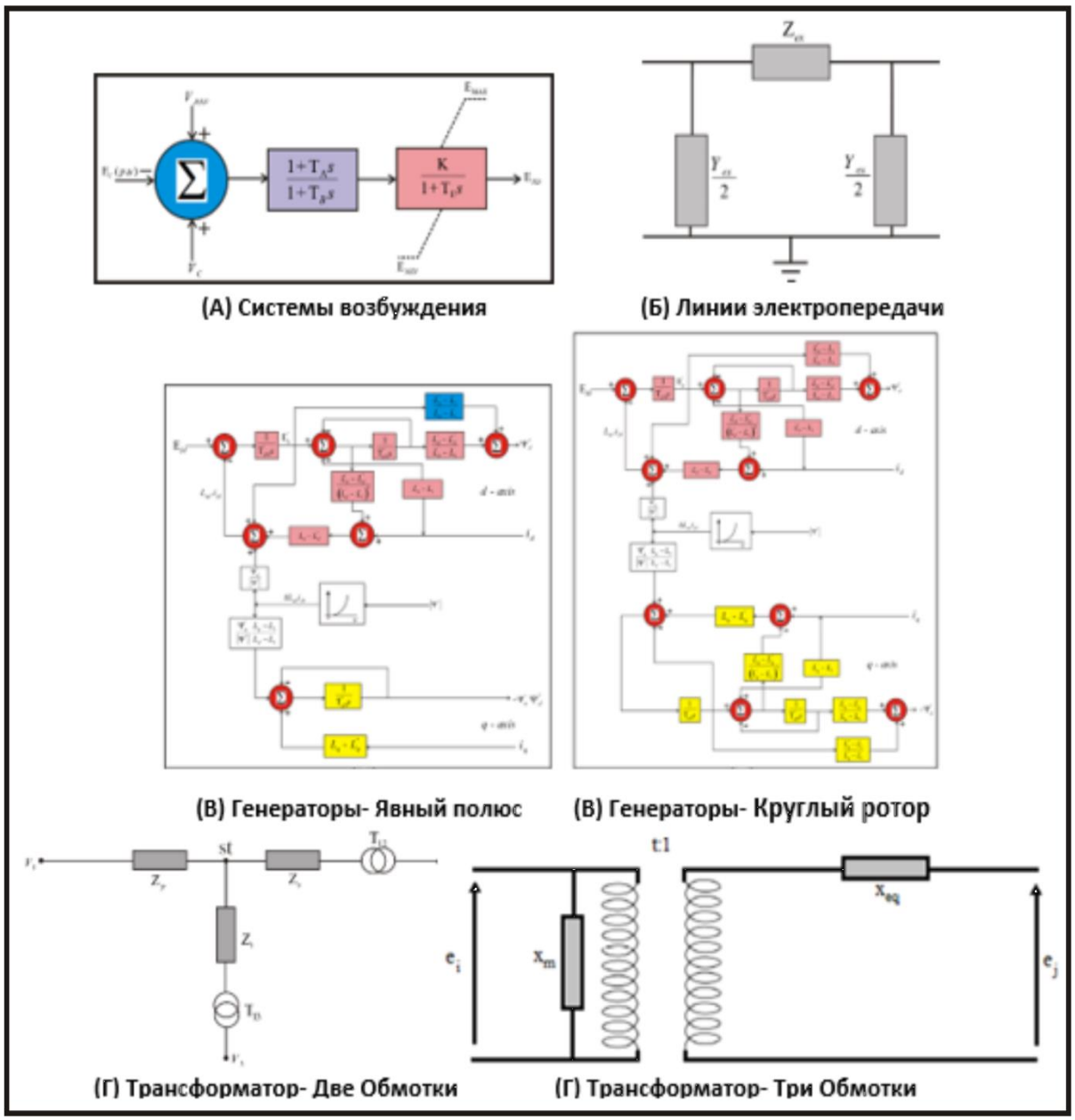


Рис. 1. Основные элементы системы

Динамическое представление электроэнергетической системы Сирии. Следует добавить, что необходимые для расчета данные [2] будут предоставлены со стороны Министерства электроэнергетики Сирии о характеристиках работы электростанции, линии электропередачи нагрузки в качестве входных данных для программы PSS ® E в качестве файлов формата *.**raw** [3]. В качестве примера на рис. 2 представлена однолинейная схема электрической сети в Сирии напряжением 230–400 кВ.

Обратим внимание на то, что электрические сети между этими странами соединены между собой с напряжениями 500, 400 и 220 кВ.

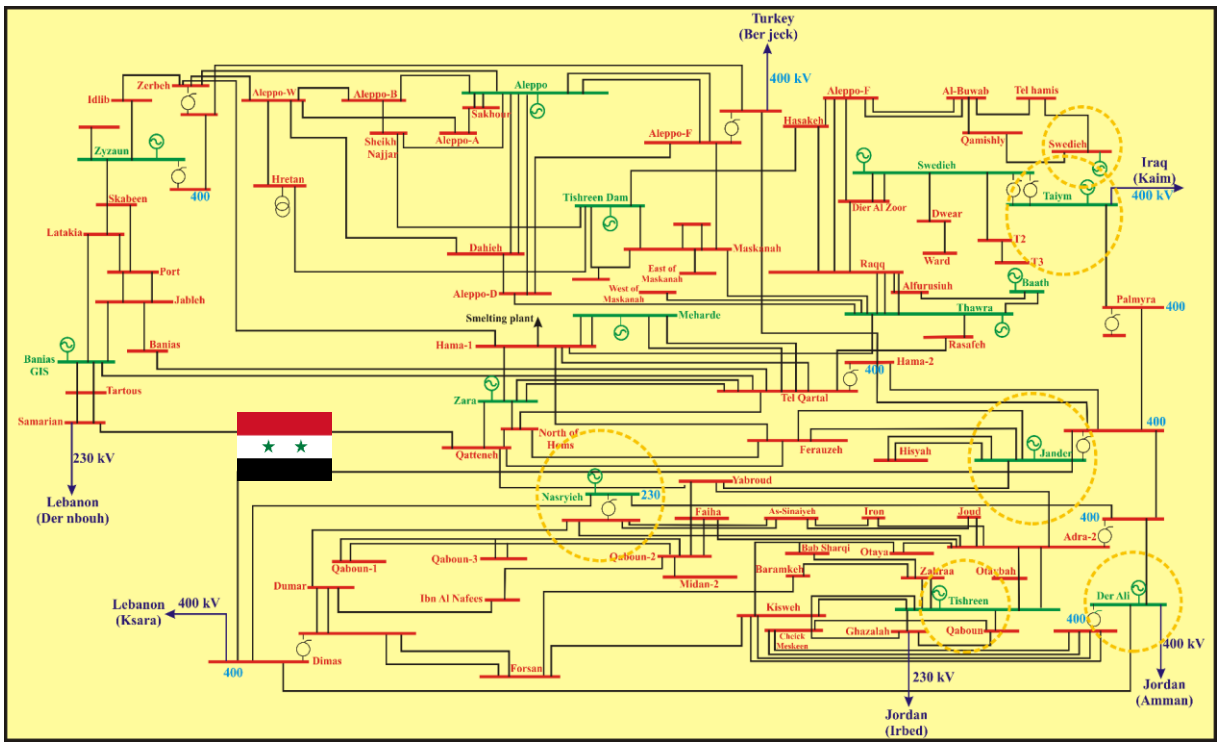


Рис. 2. Однолинейная схема электрической сети в Сирии



Рис. 3. Проект EIJLLPST

Проверка устойчивости генератора и график кривых угла ротора. На рис. 4 представлены кривые угла вращения ротора блоков генерации электростанций Nasryieh, Tishreen, Jander, Taiym-Der-Ali и Swedieh до и после соединения с EIJLLPST.

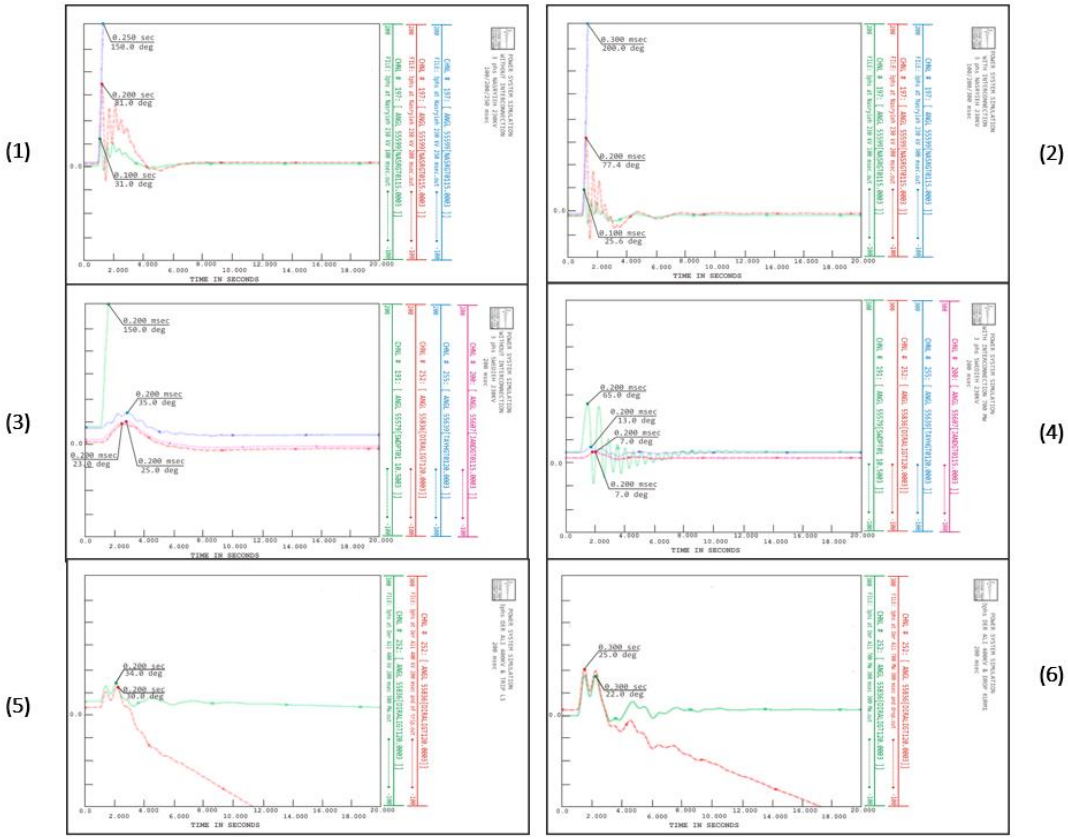


Рис. 4. Угол вращения ротора силовой электростанции

Обнаружено, что наблюдается увеличение CFCT для блоков генерации в Сирийской электрической системе. Обнаружено, что неисправности, которые возникают в одной из электрических систем Египта, участвующих в сети соединения, могут негативно повлиять на переходную стабильность других электрических систем. Перед началом подключения электрических систем к Сирийской электроэнергетической системе, необходимо проведение углубленных динамических исследований.

Источники

1. Transient Stability Analysis on Sarawak’s Grid Using Power System Simulator for Engineering (PSS/E) [Электронный ресурс] / Arfah Marini Mohamad [et al.]. DOI: 10.1109/ISIEA.2011.6108766 // 2011 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (дата обращения: 03.02.2021).

2. Ashik A., Md. Shahid Ullah. Dynamic equivalence of a large power system using power system simulator for engineers (PSS/E) // Journal of engineering and technology. 2010. Vol. 8, Is. 2. Pp. 13–31.

УДК 681.513

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАМКНУТОГО ОДНОКОНТУРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Т.А. Гатиятуллин[1], К.А. Головин[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]www.rrraaaxxxiii@gmail.com, [2]deuceproader@gmail.com
Науч. рук. В.М. Бутаков

Рассмотрена структурная схема динамической модели контура скорости, проведено исследование погрешностей моделирования замкнутого одноконтурного электропривода постоянного тока, обусловленных применением упрощенной модели двигателя постоянного тока без учета индуктивности якоря.

Ключевые слова: замкнутый электропривод, двигатель постоянного тока, контур скорости, переходная характеристика.

Передаточная функция двигателя постоянного тока с якорным управлением с учетом индуктивности якоря соответствует передаточной функции колебательного звена

$$W_{\text{дв}} = \frac{K_{\text{дв}}}{T_{\text{э}} T_{\text{м}} s^2 + T_{\text{м}} s + 1}, \qquad (1)$$

где $T_{\text{э}}$ – электромагнитная постоянная времени; $T_{\text{м}}$ – электромеханическая постоянная времени; $K_{\text{дв}}$ – коэффициент передачи двигателя.

Однако при моделировании одноконтурного электропривода часто не учитывают индуктивность якоря [1, 2], считая, что $L_{\text{я}} = 0$ и, следовательно $T_{\text{э}} = \frac{L_{\text{я}}}{R_{\text{я}}} = 0$.

Структурная схема динамической модели контура скорости электропривода без учета индуктивности якоря двигателя показана на рис. 1,

где $W_{\text{рс}}(s)$ – передаточная функция регулятора скорости; $\frac{K_{\text{бп}}}{T_{\text{бп}}s+1}$ – передаточная функция блока питания; $\frac{K_{\text{дв}}}{T_{\text{м}}s+1}$ – передаточная функция двигателя; $\frac{K_{\text{тг}}}{T_{\text{тг}}s+1}$ – передаточная функция тахогенератора.

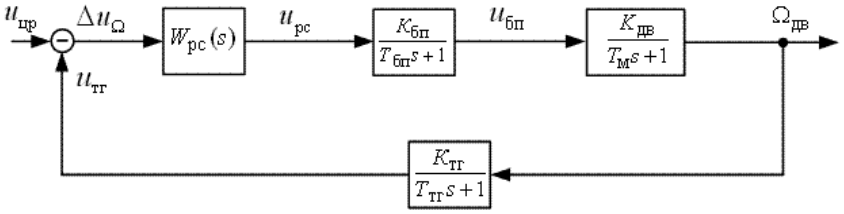


Рис. 1. Структурная схема динамической модели контура скорости

Передаточная функция двигателя соответствует передаточной функции инерционного звена.

Настройка контура скорости на оптимум по модулю производится с помощью регулятора скорости $W_{\text{рс}}(s)$.

Целью исследования является определение погрешностей настройки контура скорости, вызванных допущением о равенстве нулю электромагнитной постоянной времени. Для этого построены переходные характеристики контура скорости в соответствии со структурной схемой динамической модели, показанной на рис. 1, а также переходные характеристики для случая, когда передаточная функция двигателя соответствует выражению (1) при различных соотношениях электромагнитной и электромеханических постоянных времени.

Поскольку для двигателей постоянного тока в большинстве случаев выполняется условие $T_{\text{м}} > 4T_{\text{э}}$, то при проведении моделирования рассматривался следующий диапазон возможного изменения электромагнитной постоянной времени:

$$\frac{T_{\text{м}}}{4} \geq T_{\text{э}} \geq \frac{T_{\text{м}}}{40}.$$

Моделирование структурной схемы динамической модели контура скорости производилось с применением программы Matlab. Переходная характеристика контура скорости без учета индуктивности якоря показана

на рис. 2. Переходные характеристики контура скорости с учетом индуктивности якоря при различных значениях электромагнитной постоянной времени показаны на рис. 3–5.

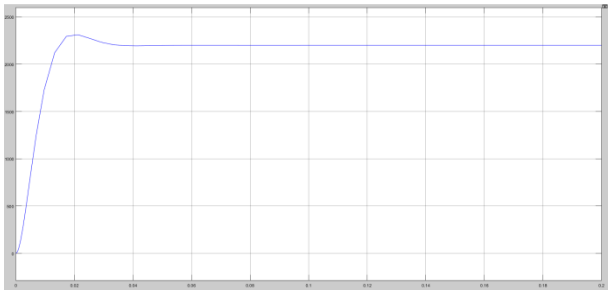


Рис. 2. Переходная характеристика контура скорости без учета индуктивности якоря ($\sigma = 5{,}1$ %)

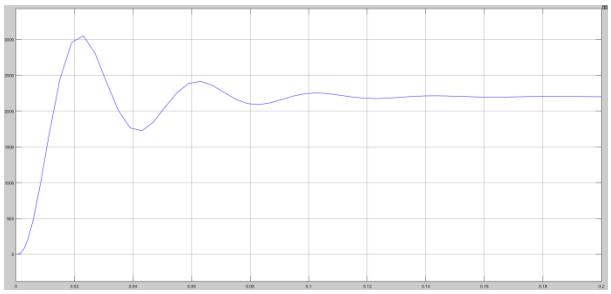


Рис. 3. Переходная характеристика контура скорости при $T_э = \frac{T_м}{4}$ ($\sigma = 36$ %)

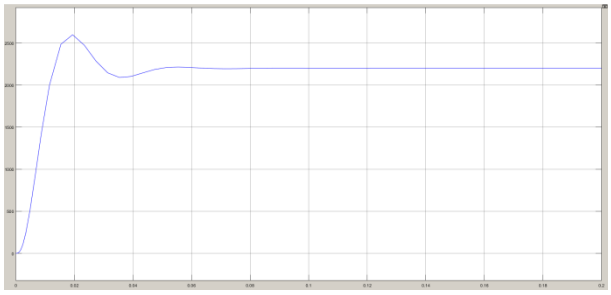


Рис. 4. Переходная характеристика контура скорости при $T_э = \frac{T_м}{10}$ ($\sigma = 18$ %)

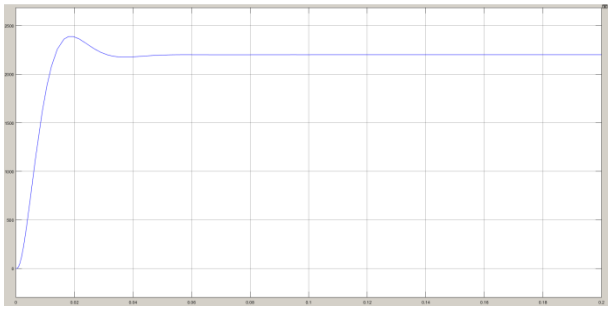


Рис. 5. Переходная характеристика контура скорости при $T_э = \frac{T_м}{30}$ ($\sigma = 8{,}5$ %)

Оценка погрешностей моделирования, вызванных допущением о равенстве нулю индуктивности якоря, производилась путем сравнения величин перерегулирования σ переходных характеристик.

На основе анализа полученных графиков переходных характеристик можно сделать вывод о том, что приемлемое значение погрешности перерегулирования получается при $T_э < \frac{T_м}{30}$.

При больших значениях электромагнитной постоянной времени наблюдается значительная разница в переходных характеристиках, т. е. реальная переходная характеристика контура скорости, полученная с учетом индуктивности якоря, будет иметь большее перерегулирование по сравнению с расчетной, полученной без учета индуктивности якоря.

Источники

1. Бутаков В.М., Гаязов Р.Р., Самигуллин Р.Р. Применение стандартных настроек в электроприводе постоянного тока // Технические науки: от вопросов к решениям: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Томск, 2018. Т. 3. С. 35–39.

2. 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. Т. 3. С. 141–144.

УДК 621.3.019.3

ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ АППАРАТУРЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.Ж. Закирова, Е.С. Снежинская, А.Р.Абдуллина, П.П.Павлов
[1]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]zakirova_nargiza29.01.96@mail.ru , [2]evasnezh@mail.ru, [3]77aida77@gmail.com,
[4]pavlov2510@mil.ru[3]

Современные автоматизированные системы, применяемые в энергетике, представляют собой совокупность технических комплексов различного назначения и принципов действия. Задачи, выполняемые подобными комплексами, осуществляется с помощью аппаратных и программных средств. Их выбор зависит от принципов действия, типа конструкции. Под аппаратными средствами понимается контрольно-проверочная аппаратура (КПА). Конструктивный тип деления КПА не всегда совпадает с функциональным типом. Это происходит по причине того, что элементы функционального устройства могут находиться в разных блоках. Одной из основных задач КПА

является обнаружение, поиск и локализация отказов. Для решения этих задач рекомендуется использовать свойство отказоустойчивости аппаратуры. В основе обеспечения отказоустойчивости лежат процессы диагностирования и принятие многоальтернативного решения о техническом состоянии КПА.

Ключевые слова: надежность, технический комплекс, система, контроль, диагностирование, техническое состояние, локализация отказа

Современные энергетические системы (ЭС) относятся к сложным техническим системам (СТС) и состоят из совокупности технических комплексов (ТК) различного назначения и принципов действия, в том числе цифровых средств управления, контроля и диагностики.

Наиболее важным и сложным является комплекс контрольно-проверочной аппаратуры (КПА), входящий в состав системы управления и контроля (СУ и К) объектами ЭС. Такие ТК должны соответствовать установленным требованиям по надежности [1].

Одной из основных задач такого комплекса является обнаружение, поиск и локализация отказов возникающих в аппаратуре СУ и К.

В процессе функционирования в КПА возникают отказы. Для предотвращения появления и устранения появившихся отказов существует несколько основных направлений:

– предотвращение возникновения отказов;

– улучшение ремонтопригодности;

– обеспечение устойчивости аппаратуры к отказам (отказоустойчивость).

Реализация первого направления на данном этапе развития науки и техники не позволяет полностью исключить появление отказов. При реализации второго направления выполнение задачи комплексом задерживается, а в случае отсутствия резервных элементов (блоков) – срывается. Третье направление связано с отказоустойчивостью, под которой понимается свойство КПА продолжать выполнение своих функций с вероятностью не ниже заданной при возникновении в ней неисправностей (отказов). В основе обеспечения отказоустойчивости лежат процессы диагностирования и принятие многоальтернативного решения о техническом состояния КПА по результатам ее самоконтроля [2].

В современных ЭС свойство отказоустойчивости их КПА используется не в полной мере, так как это не предусмотрено существующей стратегией самоконтроля и действующими инструкциями по эксплуатации (ИЭ). В основе принятия решения лежит двух альтернативная схема, когда любой отказ, возникший в КПА, рассматривается как отказ всей КПА

и влечет за собой прекращение подготовки комплекса к применению. Однако не все отказы приводят к невозможности функционирования КПА, поскольку отдельные из них приводят лишь к потере части присущих ей функций. Поэтому третье направление является наиболее перспективным, особенно в отношении КПА современных ЭС [3, 4].

Проведенный анализ задач, выполняемых КПА, показал, что КПА реализует некоторую совокупность функций в зависимости от выполнения конкретной задачи. Каждая функция КПА реализуется определенной совокупностью аппаратных средств, которые частично пересекаются между собой. В результате, структура КПА может быть представлена в виде совокупности функциональных частей, каждая из которых необходима для реализации конкретной функции или совокупности функций. Это дает возможность оценить степень влияния конкретного отказа с учетом его принадлежности к определенной функциональной части на возможность реализации КПА своих задач [5].

Количество функций в перспективных ЭС имеет тенденцию к увеличению, что отрицательно влияет на безотказность КПА и затрудняет поддержание ее на высоком уровне традиционными приемами. Это требует разработки новых путей снижения влияния отказов КПА на результат подготовки аппаратуры СУ и К к применению.

Неодинаковая значимость отказов из-за принадлежности к различным функциональным частям КПА позволяет, изменяя алгоритма функционирования КПА, исключить проверки, в которых задействованы поврежденные области (элементы). Изменение алгоритма функционирования КПА при отказах можно осуществлять по принципу исключения поврежденных областей с последующим продолжением работы с оставшимися функциями, т. е. использовать свойство отказоустойчивости аппаратуры [6].

Таким образом, необходимость обеспечения отказоустойчивости КПА за счет автоматизированного выявления и локализации возникающих отказов является актуальной научной задачей. Для ее решения необходимо разработать КПА с гибким алгоритмом самоконтроля, который может изменяться в зависимости от вида отказа и условий эксплуатации комплекса. Такой алгоритмом самоконтроля должен учитывать функциональную структуру КПА, возможность оценить степень влияния отказа в различных ее функциональных частях на конечный результат процесса проверки работоспособности и определить целесообразность продолжения функционирования всей системы [7].

Источники

1. Будкин А.Н., Солдатенко С.Н. Концепция создания систем контроля и диагностики современных (перспективных) технических объектов // Контроль и диагностика общей техники. 1992. С. 44–45.

2. Comprehensive Test Procedure for Digital Instruments and Devices of Automated Versatile Systems / E.M. Khusnutdinova [et al.]. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 915, Is. 1.

3. Тарасов А.А. Минимизация времени функциональной реконфигурации распределённой отказоустойчивой системы / Надежность. 2011. № 2 (37). С. 24–29.

4. Pavlov P.P., Butakov V.M., Khusnutdinov A.N. Methods of Optimizing the Troubleshooting Parameters of Electric Power Facilities // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 915, Is. 1.

5. Мукимов А.Х., Сидорова А.А.. Диагностика тяговых электрических двигателей // Молодежная наука в xxi веке: традиции, инновации, векторы развития: матер. Междунар. науч.-исслед. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников. 2018. С. 87–88.

6. Identification of electric traction in the urban electric transport system / A.E. Auhadeev [et al.] // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 643, Is. 1.

7. Гараева А.Р., Корольков А.Ю., Соловьева С.И. Поиск отказов в сложных технических системах // Актуальные вызовы современной науки: матер. IX Междунар. науч. конф. Переяслав-Хмельницкий, 2017. Вып. 9, ч. 2. С. 65–67.

УДК 656.1/+681.3.06

КОМБИНАТОРНАЯ ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

М.А. Истопленников[1], Н.Ж. Закирова[2], Е.С. Снежинская[3]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]istoplennikov97@mail.ru, [2]zakirova_nargiza29.01.96@mail.ru, [3]evasnezh@mail.ru

Науч. рук. П.П. Павлов

Рассмотрены современные энергетические системы (ЭС) относящиеся к сложным техническим системам. Решение задач по обнаружению, поиску и локализации отказов возникающих в аппаратуре цифровых приборов и устройств ЭС обеспечиваются

средствами контроля, методом диагностирования и выбранной математической моделью объекта диагностирования. Предлагается комбинаторно-диагностическая модель (КДМ) аппаратуры цифровых устройств, которая учитывает функциональную структуру аппаратуры ЭС.

Ключевые слова: сложная техническая система, инструкциями по эксплуатации, комбинаторно-диагностическая модель, локализация, математической модели.

Инновационные энергосистемы относятся к сложным техническим системам (СТС), и состоят из совокупности технических комплексов разного назначения и принципов действия, в том числе цифровых средств управления, контроля и диагностирования. Одной из ключевых задач подобных средств считается выявление, поиск и локализация отказов появляющихся в аппаратуре цифровых устройств и приборов [1, 2].

Решение данной задачи обеспечивается средствами контроля, методом диагностирования и подобранной математической моделью объекта диагностирования. В качестве математической модели объекта диагностирования могут использоваться аналитические выражения, дифференциальные уравнения, логические условия, таблицы функций неисправностей, графы причинно-следственных связей, функционально-логические схемы и др.

В соответствии с действующими инструкциями по эксплуатации (ИЭ) какой-либо из отказов, обнаруженный в аппаратуре, рассматривается как отказ всей системы и влечет за собой завершение ее функционирования, вплоть до его ликвидации. Однако не все без исключения отказы приводят к полной невозможности функционирования системы, так как отдельные из них приводят лишь к потере части неотъемлемых ей функций. В нынешних цифровых устройствах и системах свойство отказоустойчивости их аппаратуры используется не в полной мере, так как это не предусмотрено существующей стратегией проведения самоконтроля и ИЭ.

Имеющиеся диагностические модели не дают возможности изменить алгоритм функционирования системы в случае появления отказа и не позволяют оптимизировать глубину самоконтроля аппаратуры цифровых устройств [3].

Предлагаемая комбинаторно-диагностическая модель (КДМ) аппаратуры цифровых устройств дает возможность учитывать функциональную структуру, установить оценку степени воздействия отказа разных функциональных частей аппаратуры на конечный результат процесса проверки работоспособности и возможность продолжения функционирования всей системы.

КДМ состоит из нескольких уровней. В качестве такой модели, для построения КДМ первого уровня иерархии предлагается использовать таблицу весов (состояний). КДМ первого уровня представляется в виде бинарного отношения:

$$\beta: \partial \to \upsilon, \qquad (1)$$

где ∂ – сигналы (действия), необходимые для обеспечения функционирования элементов аппаратуры СТС; υ – элементы анализируемой схемы.

Исходными данными при построении таблицы весов является набор пяти объектов $[A, S, Z, \nu, \xi]$, где $A = \{a_0, a_1, \ldots, a_n\}$ – конечный список входных символов; $Z = \{z_0, z_1, \ldots, z_m\}$ – список выходных символов; $\nu: S \times A \to S$ – функция перехода в следующее состояние; $\xi: S \times A \to S$ - функция выхода.

При наличии таблицы весов и алгоритма функционирования цифрового устройства имеется возможность разработать перечень взаимосвязей между функциями выхода и перехода. Такой перечень взаимосвязей определяет соответствие между каждым начальным состоянием устройства s_i, $i = \overline{0, r}$ и определенной совокупности входных символов, конкретную совокупность выходных символов. Для рассматри-ваемого примера этот перечень имеет следующий вид:

$$\nu: (s_0, 0) \to S_1; \quad (s_0, 1) \to S_0; \quad (s_1, 0) \to S_2; \quad (s_1, 1) \to S_1;$$

$$(s_2, 0) \to S_0; \quad (s_2, 1) \to S_2;$$

$$\xi: (s_0, 0) \to 0; \quad (s_0, 1) \to 1; \quad (s_1, 0) \to 1; \quad (s_1, 1) \to 0; \quad (s_2, 0) \to 1; \quad (s_2, 1) \to 0.$$

Перечень взаимосвязей с помощью таблицы весов определяется по следующим правилам:

– определить перечень всех элементов из множества Φ_j, $j = \overline{1, N}$;

– определить перечень взаимосвязей, применяя таблицу весов между множествами Φ_1, ξ и ν для всех элементов множества Φ_j, $j = \overline{2, N}$;

– определить рабочие веса (состояния) устройства, которые соответствуют алгоритму функционирования устройства;

– определить перечень входных и выходных сигналов для каждого элемента из множества Ф;

– полученный перечень будет представлять собой бинарное отношение сигналов к элементам.

Возможность локализации отказа в аппаратуре цифровых устройств, позволяет повысить надежность СТС и снизить затраты на их восстановление [4, 5].

Источники

1. Диагностирование, ремонт и техническое обслуживание систем управления бытовых машин и приборов: учеб. / Ж.А Романович [и др.]. М.: Дашков и К°, 2016. 316 с.
2. Литвиненко Р.С., Аухадеев А.Э., Павлов П.П.Оценка влияния надежности элементов наземного городского электрического транспорта на его пропускную способность // Надежность и качество сложных систем. Организация и безопасность движения. 2017. № 8. С. 95–103.
3. Сидорова А.А., Мукимов А.Х., Надежность электроподвижного состава // Молодежная наука в xxi веке: традиции, инновации, векторы развития: матер. Междунар. науч.-исслед. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников. 2018. С. 107–108.
4. Identification of electric traction in the urban electric transport system / A.E. Auhadeev [et al.] // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 643, Is. 1.
5. Pavlov P.P., Butakov V.M., Khusnutdinov A.N. Methods of Optimizing the Troubleshooting Parameters of Electric Power Facilities // IOP Conf. Ser.: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 915, Is. 1.

УДК 621-313.3

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕТКРОМОБИЛЕЙ

Р.А. Рашитова[1], Д.И. Тухбатуллина[2], Б.И. Сафиуллин[3], Г.Р. Ахсаниев[4]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]r.rashitova97@mail.ru, [2]dtukhbatullina@inbox.ru, [3]gougle2011@yandex.ru, [4]gakkhsaniev@mail.ru

Науч. рук. А.Э. Аухадеев

Рассматривается проблема выбора контроллеров зарядных станций электромобилей. Исследуются контроллеры зарядки фирмы ООО «Феникс Контакт РУС» CHARX control, имеющих множество встроенных функций, направленных на выполнение конкретных задач.

Ключевые слова: зарядная станция, контроллер, электромобиль, инфраструктура.

За последнее десятилетие развитие электромобилей вышло на новый уровень, приобретая при этом все большую популярность. Для комфортной эксплуатации данного вида транспорта необходима соответствующая зарядная инфраструктура, которая должна включать в себя ряд элементов, основными из которых являются зарядные станции электрических транспортных средств [1].

Зарядная станция электромобилей это сложное электротехническое устройство, конструктивно похожее на автомобильную заправочную станцию. В состав комплекса технических средств зарядной станции электромобилей входят: контроллер, кабельная сборка, розеточная панель с индикацией и запираемой створкой [2].

Контроллер зарядки автомобиля считается мозгом зарядного устройства. Он предназначен для контроля процесса зарядки электромобилей в соответствии с действующими международными нормами и стандартами, и в зависимости от того какой стандарт зарядки, используются различные контроллеры. Так, например, фирма ООО «Феникс Контакт РУС» предлагает широкий ассортимент продукции для процесса зарядки электромобилей, в том числе контроллеры зарядки CHARX control постоянным и переменным током.

Контроллеры используются как автономно, так и от сети. Встроенные коммуникационные интерфейсы осуществляют не только сбор информации о состоянии, но и управление процессом зарядки.

Контроллер зарядки постоянным током CHARX control basic представляет собой компактную и недорогую для простых пунктов зарядки установку из небольшого количества компонентов. Подключение модулей RCM CHARX control rcm для регистрации тока утечки способствует увеличению уровня защиты зарядной станции.

Зарядный контроллер CHARX control advanced включает в себя широкий спектр функций, он подходит для управления нагрузкой и энергопотреблением на зарядных стоянках. Встроенный RS-485 интерфейс данного контроллера позволяет подключать различные энергоизмерительные приборы.

Программируемый контроллер зарядки постоянным током CHARX control professional является мозгом современных зарядных станций CCS и CHAdeMO для быстрой зарядки. Контроллер обменивается данными с электромобилем и опционально выполняет визуализацию на панели управления. 3G-модем обеспечивает возможность удобного дистанционного обслуживания.

Контроллеры зарядки переменным током CHARX control регулируют и контролируют соответствие зарядки электромобилей в режиме 3 стандартам (см. рисунок). Устройство дифференциальной защиты обеспечивает защиту от поражения электрическим током людей и оборудования при нарушении изоляции в электромобиле [3].



Котроллер зарядки постоянным током CHARX control professional

В развитии зарядной инфраструктуры лежит необходимость параллельного контроля процесса зарядки электромобилей и выбор контроллеров при проектировании зарядных станций имеет очень важную роль.

Источники

1. Карамян О.Ю., Чебанов К.А., Соловьева Ж.А. электромобиль и перспективы его развития // Фундаментальные исследования. 2015. С. 693–696.

2. Кашкаров А.П. Современные электромобили. Устройство, отличия, выбор для российских дорог. М.: ДМК-Пресс, 2018. 92 с.

3. «Контроллеры CHARX control для станций быстрой зарядки» [Электронный ресурс]. URL: режим доступа: https://www.phoenixcontact.com (дата обращения: 07.03.2021).

УДК 681.513

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОШИБОК СКОРОСТНОГО СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОТ ВИДА СТАНДАРТНОЙ НАСТРОЙКИ

А.В. Росляков[1], М.Б. Оморов[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]roslyakov3987@gmail.com, [2]omorovmeder23@gmail.com
Науч. рук. В.М. Бутаков

Рассмотрен скоростной следящий электропривод постоянного тока, построенный по принципу подчиненного регулирования координат, проведено исследование зависимости ошибок от вида стандартной настройки контура скорости при различных задающих и возмущающих воздействиях.

Ключевые слова: электропривод, двигатель постоянного тока, контур тока, контур скорости, настройка на оптимум по модулю, настройка на симметричный оптимум.

В качестве электромеханического преобразователя в разрабатываемом электроприводе применен двигатель постоянного тока МИ-32. Электропривод имеет контур тока, настроенный на оптимум по модулю, и контур скорости, для исследования ошибок которого применялись различные стандартные настройки [1, 2].

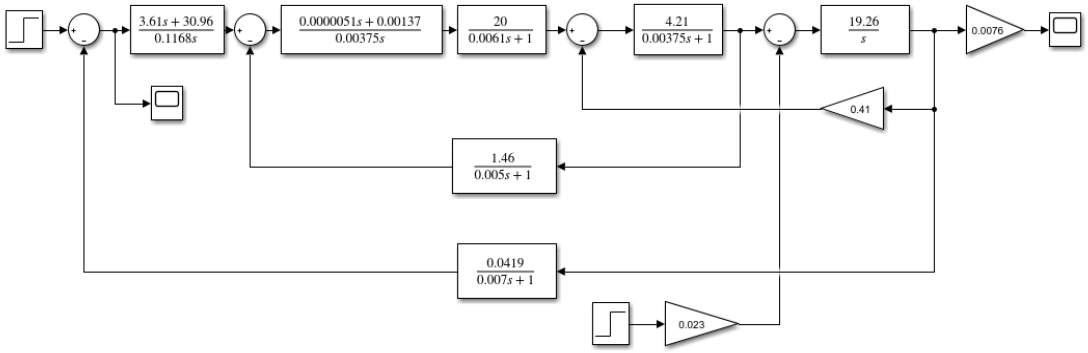


Рис. 1. Структурная схема динамической модели скоростного следящего электропривода

Для настройки контура скорости на оптимум по модулю применялся пропорциональный регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\text{рс}}(s) = K_{\text{рс}} = 3{,}61.$$

Для настройки контура скорости на симметричный оптимум применялся пропорционально-интегральный регулятор с передаточной функцией:

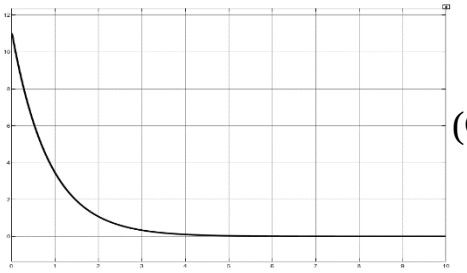
$$W_{\text{рс}}(s) = \frac{K_{\text{рс}} T_{\text{рс}} s + K_{\text{рс}}}{T_{\text{рс}} s} = \frac{3{,}61s + 30{,}96}{0{,}1168s}.$$

Моделирование структурной схемы динамической модели электропривода производилось с применением программы Matlab. Результаты моделирования показаны на рис. 2–7, из которых видно, что ошибки системы существенно зависят от вида стандартной настройки и задающих и возмущающих воздействий.

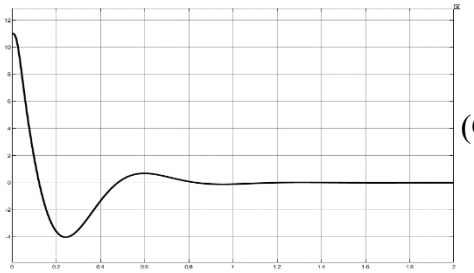
В левом столбце показаны графики ошибок при настройке контура скорости на оптимум по модулю (ОМ), а в правом – при настройке на симметричный оптимум (СО).

Из рисунков видно, что в некоторых случаях ошибка сводится к нулю, что является наилучшим вариантом функционирования системы.

В других случаях она сводится к постоянному значению, что не нарушает работоспособности системы при условии не превышения ошибкой допустимого значения.

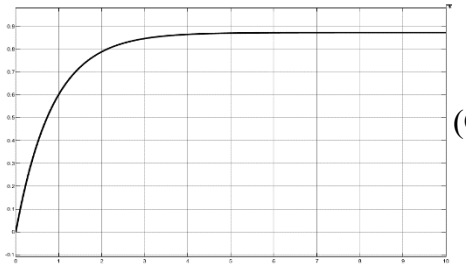


(ОМ)

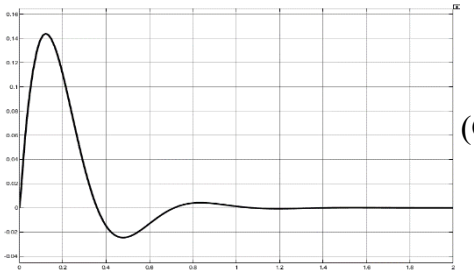


(СО)

Рис. 2. Графики ошибки при ступенчатом задающем воздействи

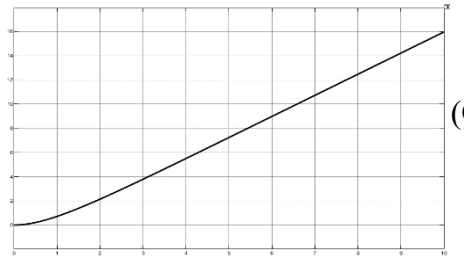


(ОМ)

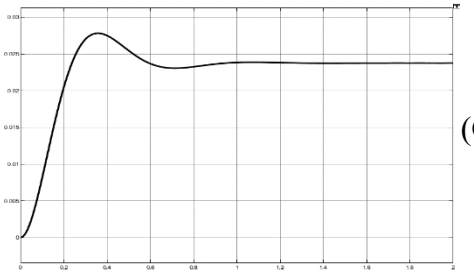


(СО)

Рис. 3. Графики ошибки при линейно возрастающем задающем воздей

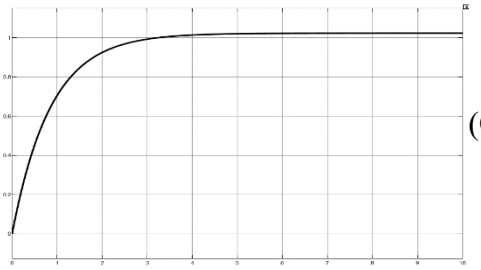


(ОМ)

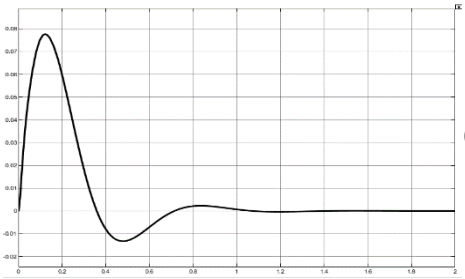


(СО)

Рис. 4. Графики ошибки при квадратично возрастающем задающем воздей

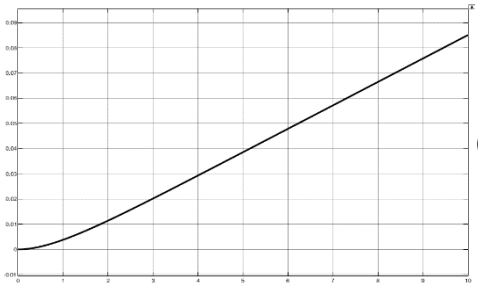


(ОМ)

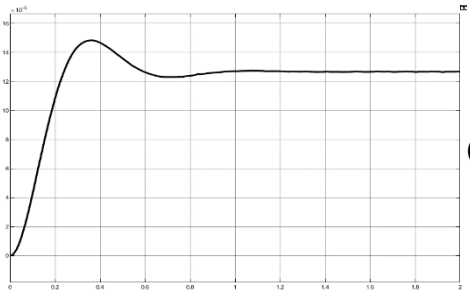


(СО)

Рис. 5. Графики моментной ошибки при ступенчатом возмущающем возд



(ОМ)



(СО)

Рис. 6. Графики моментной ошибки при линейно возрастающем возмущающем воздействии

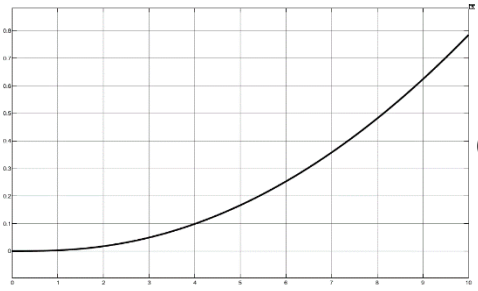
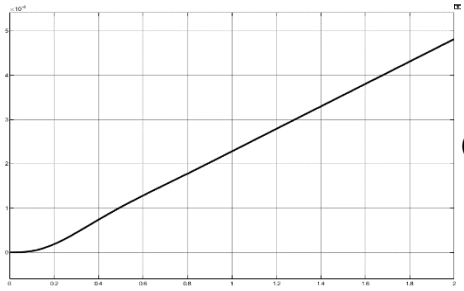

(ОМ)

(СО)

Рис. 7. График моментной ошибки при квадратично возрастающем возмущающем воздействии

В каких-то случаях ошибка стремится к бесконечности, что приводит к неработоспособности системы.

Так же из графиков ошибок можно сделать вывод, что система, настроенная на симметричный оптимум, характеризуется более качественным процессом управления при различных видах задающих и возмущающих воздействий.

Источники

1. Бутаков В.М., Гаязов Р.Р., Самигуллин Р.Р. Применение стандартных настроек в электроприводе постоянного тока // Технические науки: от вопросов к решениям: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Томск, 2018. Т. 3. С. 35–39.

2. 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. Т. 3. С. 141–144.

УДК 621.314.58

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ АКТИВНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ В ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Б.И. Сафиуллин[1], К.Т. Ле[2], Г.Р. Ахсаниев[3]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]gougle2011@yandex.ru, [2]thinhlk@vlute.edu.vn, [3]gakhsaniev@gmail.com
Науч. рук. А.Э. Аухадеев

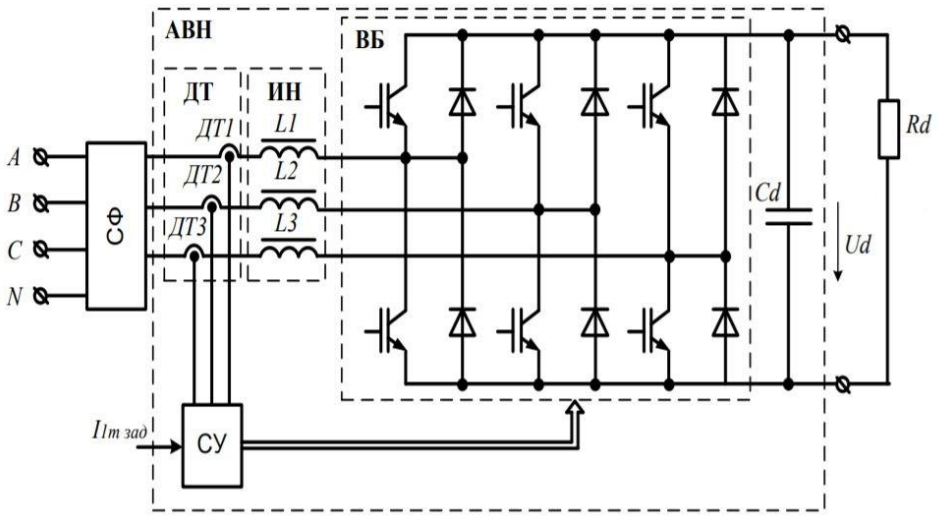
В современном мире наблюдается тенденция роста числа электромобилей на дорогах. Одним из сдерживающих факторов является доступность и качество зарядных станций. Перспективным направлением развития является применение

быстрых зарядных станций постоянного тока, позволяющие заряжать аккумуляторные батареи электромобилей в кратчайшие сроки, что является важным показателем для зарядных станций, расположенных в общественных местах и участках с высоким трафиком движения. В тезисе предлагается вариант использования трехфазных активных выпрямителей в качестве источников постоянного тока.

Ключевые слова: электромобиль, зарядная станция, силовые полупроводники, IGBT транзисторы.

Трехфазные активные выпрямители напряжения относятся к классу преобразователей, работающие в выпрямительном и инверторном режиме, передавая энергию из сети переменного тока в цепь постоянного и обратно, то есть меняя направление потока мощности. При этом изменяется направление тока при неизменной полярности напряжения. В данных преобразователях улучшен гармонический состав тока, потребляемого из сети, а также имеется возможность получения необходимого значения коэффициента мощности, значение которого может достигать единицы. активные выпрямители напряжения могут применяться в ряде задач, включающих в себя получения стабильного постоянного напряжения от сети переменного тока [1].

На рисунке представлена принципиальная схема трехфазного двухуровнего активного выпрямителя [2].



Принципиальная схема трехфазного двухуровнего активного выпрямителя

В состав схемы входят следующие блоки: ДТ – датчики тока фаз *A*, *B* и *C*; ИН – индуктивный накопитель, необходимый для работы схемы в импульсном режиме и возможности регулирования выходного напряжения *Ud* с применением импульсной модуляции; ВБ – вентильный блок,

состоящий из IGBT транзисторов и фильтра выходного напряжения *Cd*; СУ – система управления, реализующая режимы работы вентильного блока на основе задающего воздействия $I_{1m\,зад}$.

Активные выпрямительный фильтры имеют ряд преимуществ, по сравнению с классическими импульсными блоками, на основе трансформаторов высокой частоты, такие как: малые коэффициенты гармоник, влияющих на качество напряжения питающей сети; высокий КПД (97 – 98 %), что позволяет уменьшить массогабаритные показатели и стоимость индуктивного накопителя и системы охлаждения [2, 3].

Источники

1. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. 672 с.

2. Брылина О.Г., Гельман М.В. Исследования трехфазного активного выпрямителя напряжения // Электротехнические системы и комплексы. 2014. № 1. С. 47–50.

3. Брылина О.Г., Гельман М.В. Исследование двухзвенных преобразователей частоты // Электротехнические системы и комплексы: сб. науч. тр. / под ред. Г.П. Корнилова и Е.А. Пановой. Магнитогорск, 2013. С. 270–278.

УДК 621-313.3

СТАРТОВЫЕ НАБОРЫ ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦИИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛКТРОМОБИЛЕЙ

Д.И. Тухбатуллина[1], Р.А. Рашитова[2], К.Т. Ле[3], Б.И. Сафиуллин[4]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]dtukhbatullina@inbox.ru, [2]r.rashitova97@mail.ru, [3]gougle2011@yandex.ru,

[4]thinhlk@vlute.edu.vn

Науч. рук. А.Э. Аухадеев

Исследуется зарядная инфраструктура для электромобилей. Изучаются стартовые комплекты для зарядных станций. Рассматриваются возможности использования наборов зарядных станций самостоятельной сборки.

Ключевые слова: стартовые комплекты, зарядные станции, зарядная инфраструктура, контроллеры, электромобили.

Ухудшающаяся экологическая обстановка современного мира заставляет исследовать всевозможные способы ее улучшения. В связи с тем, что одной из основных причин загрязнения окружающей среды является автомобиль, большую популярность набирают электромобили. Электрический транспорт является одним из самых перспективных вид ов транспорта и представляет собой экологически выгодную альтернативу традиционному автотранспорту с ДВС.

Развитая зарядная инфраструктура – сеть зарядных станций, единые стандарты, механизмы доступа к услугам и взаиморасчетам – является необходимостью для комфортного пользования электромобилем. На территории нашей страны создание такой инфраструктуры – дорогостоящий и долгосрочный проект. Хоть на сегодня и действуют сотни стационарных зарядных станций по России, этого все равно не достаточно для полноценного использования электромобилей в масштабах страны [1].

Причинами медленного развития зарядной инфраструктуры, помимо финансовых, являются и процедурные вопросы, связанные с выбором места установки, прокладки питающих кабелей, административными согласованиями землеотвода под стационарную станцию, утверждением проекта, монтажа оборудования и т. д. Поэтому для более комфортной эксплуатации электромобилей разрабатываются стартовые наборы зарядных станций, предназначенные для самостоятельной сборки. На российском рынке зарядных станций, который является достаточно емким и коммерчески привлекательным, появляется все больше производителей, предлагающих собственные модели [2].

В свою очередь перед разработчиками стоит серьезная задача, связанная с выбором основных компонентов разрабатываемой зарядной станции таких, как контроллер зарядки, зарядный кабель со штекером, клеммные блоки и многое другое. С легкостью такую задачу решает компания Phoenix Contact – предлагает стартовые наборы для сборки зарядных станций [3].

Существуют стартовые комплекты для частных отдельных зарядных точек и для коммерческих двойных зарядных точек. Основной состав комплектации представляет собой спецификацию со схемой кабельной разводки, контроллер зарядки, руководство по монтажу и установке. Типы стартовых наборов различаются между собой количеством следующих компонентов: зарядная розетка, держатель, зарядный кабель, защитная крышка, энергоизмерительные приборы и модули разблокировки [4]. Также стартовые комплекты можно выбрать по следующим характеристикам: длина кабеля, стандарт МЭК, режим заряда, ток зарядки, тип зарядного тока, режим заряда и зарядная мощность.

Ниже рассмотрим пример стартового бора второго типа CHARX start twin, предназначенного для простой сборки зарядной станции коммерческих двойных зарядных точек.

Набор EV-SET-T2AC-ADV-RCM2-32ASE12-1628082 содержит отдельный модуль с функцией разблокировки механизма фиксации для отсоединения зарядного штекера от зарядной розетки. Характеризуется следующими параметрами: стандартами МЭК 62196-2, МЭК 61851-1; режимом заряда 3, случай *B*; зарядной мощностью 22 кВт; током зарядки 32 А; зарядным напряжением 400 В АС и длиной кабеля 0,7 м [5]. Схема подключения такого набора представлена на рисунке ниже.

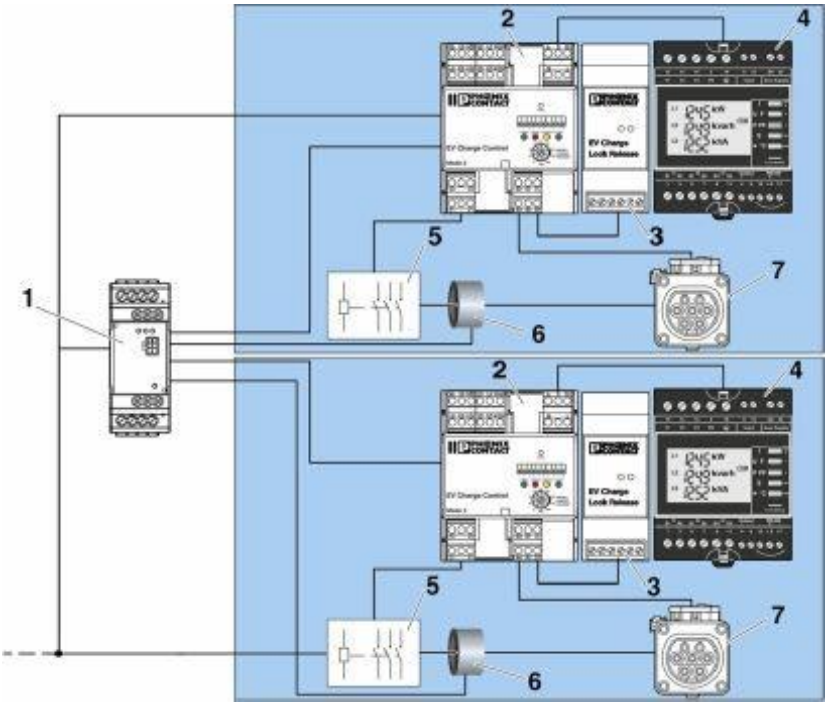


Схема подключения

На схеме подключения представлены: 1. RCM (модуль контроля тока утечки), 2. Зарядный контроллер, 3. Модуль включения блокировки при отказе сети, 4. Энергоизмерительное устройство, 5. Зарядный контактор, 6. Измерительная катушка RCM, 7. Инфраструктурная зарядная розетка [3].

Стартовые комплекты зарядной станции для самостоятельной сборки являются достаточно удобным и прогрессивным решением как для разработчиков и производителей, так и для потребителей. Например, компания Phoenix Contact предлагает своим клиентам множество услуг и продукций для зарядных станций и обеспечивает: безопасность использования благодаря подбору согласованных между собой

компонентов, высокую гибкость благодаря большому количеству возможностей конфигурации, возможность подключения к сети при помощи стандартных интерфейсов связи, самостоятельную сборку по протестированным схемам монтажа [4].

Источники

1. Вахламов В.К. Автомобили. Конструкция и элементы расчета. М.: Академия, 2006. 343 с.

2. Ставров О.А. Электромобили. М.: Транспорт, 1968. 100 с.

3. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей и электромобилей. М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 483 с.

4. Кашкаров А.П. Современные электромобили. Устройство, отличия, выбор для российских дорог. М.: ДМК-Пресс, 2018. 92 с.

5. «Стартовые комплекты для создания станций зарядки» [Электронный ресурс]. URL: https://www.phoenixcontact.com (дата обращения: 03.02.2021).

УДК 621.331.4

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Д.Ш. Фахертдинов[1], К.Р. Заббарова[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]damir.1997student2015@mail.ru, [2]karinagilyazova97@mail.ru
Науч. рук. Р.С. Литвиненко

Говорится о надежности электрооборудования. Рассматриваются все виды отказов. Надежность является комплексным свойством, которая включает в себя: безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость.

Ключевые слова: надежность, отказ, электрооборудование.

Надежность – свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения его эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям применения, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортировки[1].

Надежность применительно к электрооборудованию: бесперебойная работа и выполнение заданных функций в пределах допустимых значений. При этом объект должен быть работоспособным. Под работоспособностью

понимается такое состояние элементов электрооборудования, при котором они способны выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах установленных нормативно-технической документацией [2].

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности оборудования, называется отказом.

Рассмотрим какие бывают отказы: внезапный, постепенный, необратимый, конструкционный и эксплуатационный [3].

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от специфики электроустановок и условий ее эксплуатации, может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость в отдельности или в определенном сочетании, причем как для электроустановок, так и для отдельных ее элементов [4].

Безотказность – свойство технических средств непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени. Это наиболее важная составляющая надежности электроустановок, зависящая от безотказности элементов, схемы их соединения, конструктивных и функциональных особенностей, условий эксплуатации.

Долговечность – свойство технических средств сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ремонтопригодность – свойство технических средств, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причины возникновения отказов и устранению их последствий путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство технических средств непрерывно сохранять исправное (новое) и работоспособное состояние в процессе хранения и транспортировки. Сохраняемость элементов ЭУ характеризуется их способностью противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортирования [5].

Невосстанавливаемыми называются такие элементы электроустановок, работоспособность которых в случае возникновения отказа не подлежит восстановлению в процессе эксплуатации.

Восстанавливаемыми являются изделия, работоспособность которых в случае возникновения отказа подлежит восстановлению в процессе эксплуатации [6].

Надежность восстанавливаемых изделий обуславливается их безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и сохраняемостью, а надежность невосстанавливаемых изделий – их безотказностью, долговечностью и сохраняемостью [7].

Источники

1. Литвиненко Р.С., Павлов П.П., Аухадеев А.Э. Практическое применение нормального закона распределения в теории надежности технических систем // Известия вузов. Электромеханика. 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. С. 37–47.

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., Аухадеев А.Э., Филина О.А. Исследование технической надежности городской электротранспортной системы // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 8. С. 60–71.

6. Павлов П.П., Идиятуллин Р.Г., Литвиненко Р.С. К вопросу оценки надежности электротранспортной системы города // Бюллетень транспортной информации. 2017. № 5. 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 ЗАВИСИМОСТИ ОШИБОК ПОЗИЦИОННОГО СЛЕДЯЩЕГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОТ ПОРЯДКА АСТАТИЗМА

А.Н. Филиппов[1], И.И. Зайнуллин[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]cs.s1997@yandex.ru, [2]ilnur1996@gmail.com
Науч. рук. В.М. Бутаков

Рассмотрен синтез регулятора контура положения позиционного следящего электропривода постоянного тока с астатизмом первого и второго порядка. Проведено исследование зависимости ошибок от порядка астатизма, при различных задающих и возмущающих воздействиях.

Ключевые слова: следящий позиционный электропривод, электродвигатель постоянного тока, регулятор положения, астатизм первого порядка, астатизм второго порядка.

В качестве электромеханического преобразователя применен электродвигатель постоянного тока МИ-32. Параметры динамической модели двигателя: электромеханическая постоянная времени $T_{\text{м}} = 0{,}034$ с; электромагнитная постоянная времени $T_{\text{э}} = 0{,}0033$ с; передаточное число редуктора $i = 138{,}4$.

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 [1, 2]. Для расчета ПИ-регулятора контура тока и П-регулятора контура скорости приняты 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.

Передаточная функция синтезированного регулятора положения при астатизме первого порядка [3]:

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{K_{\text{рп}}(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{T_1 s(T_3 s + 1)} = \frac{32(0{,}33s + 1)(0{,}00028s + 1)}{(4{,}5s + 1)(0{,}0025s + 1)}.$$

Передаточная функция синтезированного регулятора положения при астатизме второго порядка [3]:

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{K_{\text{рп}}(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{T_1 s(T_3 s + 1)} = \frac{4{,}43(0{,}625s + 1)(0{,}02s + 1)}{0{,}625s(0{,}0058s + 1)}.$$

Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом первого и второго порядка показана на рис. 1 и 2, соответственно.

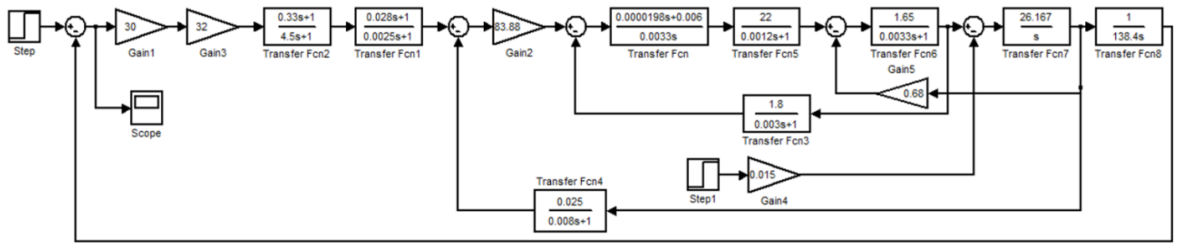


Рис. 1 Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом первого порядка

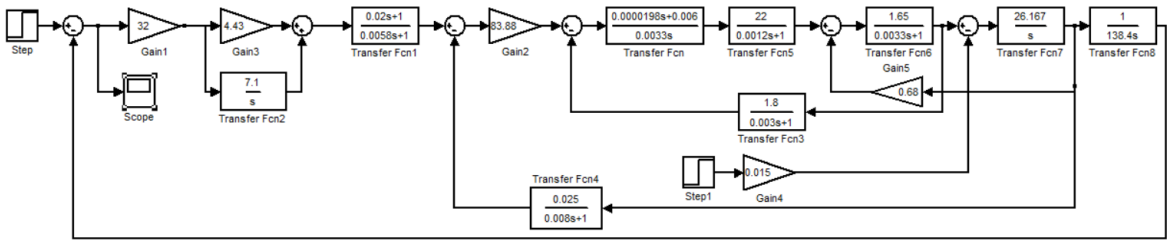


Рис. 2. Структурная схема динамической модели следящего позиционного электропривода постоянного тока с астатизмом второго порядка

Моделирование структурной схемы динамической модели производилось с применением программы Matlab. Результаты моделирования показаны в таб. 1 и 2.

Таблица 1

Графики ошибок системы при различных задающих воздействиях

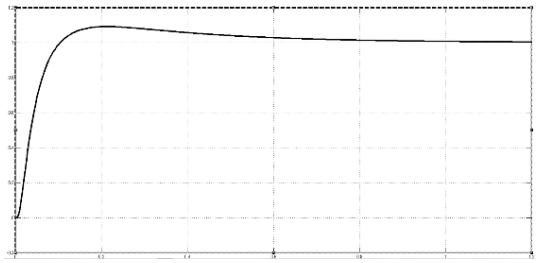
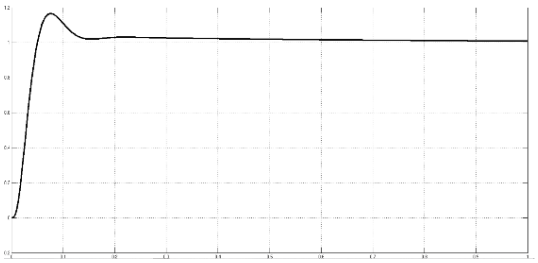
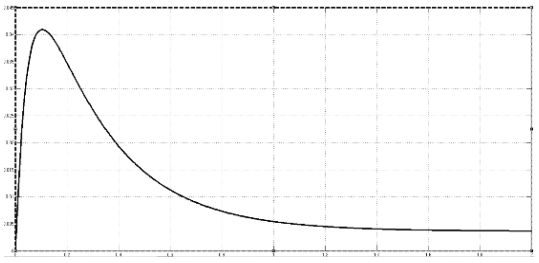
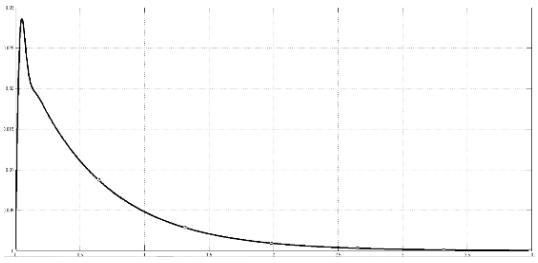
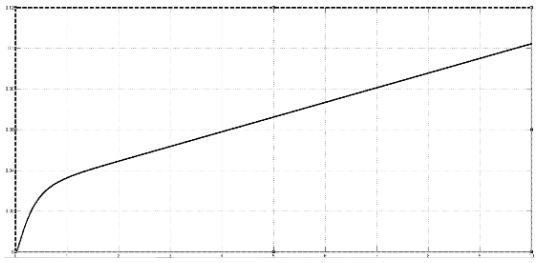
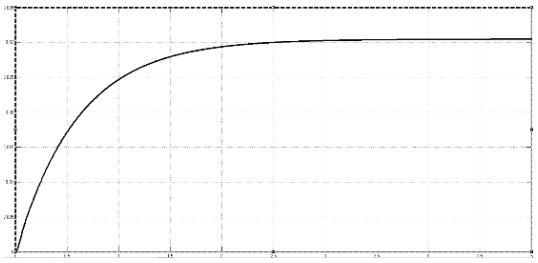
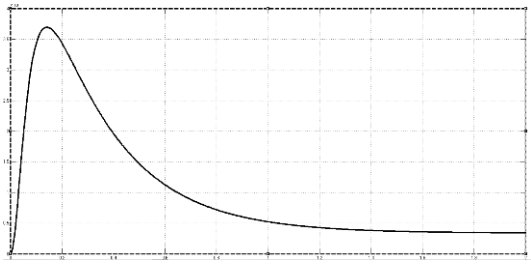
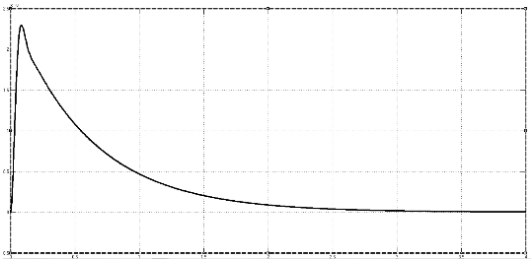
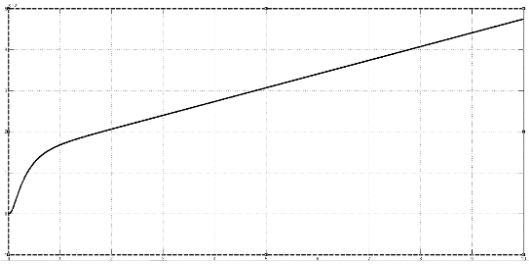
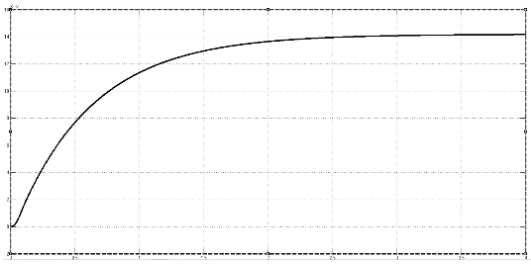
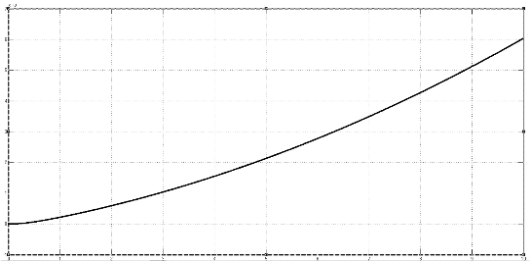
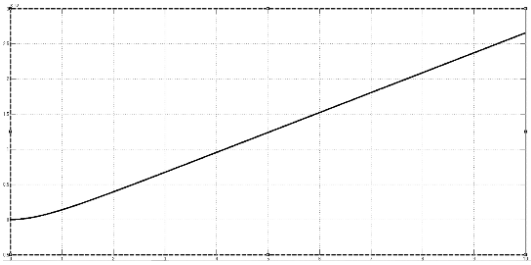
Астатизм первого порядка	Астатизм второго порядка
При ступенчатом задающем воздействии	
	
При линейно возрастающем задающем воздействии	
	
При квадратично возрастающем задающем воздействии	
	

Таблица 2

Графики моментных составляющих ошибок системы при различных возмущающих воздействиях

Астатизм первого порядка	Астатизм второго порядка
При ступенчатом моменте сопротивления	
	
При линейно возрастающем моменте сопротивления	
	
При квадратично возрастающем моменте сопротивления	
	

Из анализа графиков ошибок следует, что позиционный следящий электропривод с астатизмом первого порядка работоспособен при ступенчатом и линейно возрастающем задающем воздействии. При квадратично возрастающем задающем воздействии работа такого электропривода невозможна, поскольку ошибка стремится к бесконечности.

Электропривод с астатизмом второго порядка работоспособен при любом из рассмотренных видов задающих воздействий.

Вид возмущающего воздействия оказывает большее влияние на работу электроприводов с астатизмом, как первого, так и второго порядков. Однако и в этом случае электропривод с астатизмом второго порядка

обладает преимуществом, поскольку работоспособен при ступенчатом и линейно возрастающем возмущающем воздействии. Работа электропривода с астатизмом первого порядка возможна лишь при ступенчатом возмущающем воздействии.

Источники

1. Бутаков В.М., Гаязов Р.Р., Самигуллин Р.Р. Применение стандартных настроек в электроприводе постоянного тока // Технические науки: от вопросов к решениям: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Томск, 2018. Т. 3. С. 35–39.

2. 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. Т. 3. С. 141–144.

3. 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. СПб., 2017. Т. 4. С. 94–98.

УДК 621.31

МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ

А.А. Хамзин
НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Нижнекамск
aizat98aidarov@gmail.com
Науч. рук. Р.Н. Ганиев

Изучены процессы рекуперации в многодвигательных электроприводах с общим звеном постоянного тока. Проведен эксперимент, показывающий возможность рекуперации через звено постоянного тока.

Ключевые слова: рекуперация энергии, многодвигательный электропривод, преобразователь частоты.

Переработка сырья и производство качественной продукции зависит от четкого соблюдения технологии. Технологический процесс представляет собой совокупность определённых алгоритмов, связанных работой различного вида механизмов, приводимых в движение электродвигателями.

Электродвигатели позволяют контролировать процесс производства, управляя различными координатами: скорость, момент, положение, расход, давление. Электропривод проектируется таким образом, чтобы соблюдалась требуемая точность в координатах и энергоэффективность [1].

До недавнего времени, в технологических установках, в которых требовалась управление координатами, а также особая точность в управлении, применялись двигатели постоянного тока. Однако из-за сложности конструкции, на смену им пришли более простые по конструкции асинхронные двигатели, управляемые преобразователями частоты. С помощью преобразователей частоты возможно изменять величину напряжения и частоту питающей сети, тем самым регулируется скорость вращения асинхронного двигателя. Преобразователи частоты также позволяют осуществить различные виды торможения: торможение с замедлением, торможение постоянным током, торможение с тормозным резистором, рекуперативное торможение [2]. Существует еще один способ торможения, при котором два или более преобразователей частоты соединяются между собой по звену постоянного тока. При этом один асинхронный двигатель с преобразователем частоты тормозится другой асинхронный двигатель с преобразователем частоты работает [3].

Целью данной работы является изучение многодвигательного электропривода с преобразователями частоты, соединенными между собой по звену постоянного тока.

Для изучения возможности рекуперации была собрана экспериментальная установка, которая включает в себя:

– два преобразователя частоты Danfoss 5,5 кВт (ПЧ1 и ПЧ2);

– два асинхронных двигателя мощность 2,2 кВт (АД1 и АД2);

– двигатель постоянного тока мощность 4 кВт (ДПТ);

– тахогенератор (ТГ);

– измерительные приборы (*A*1, *A*2, *A*3, *V*1, *V*2, *V*3);

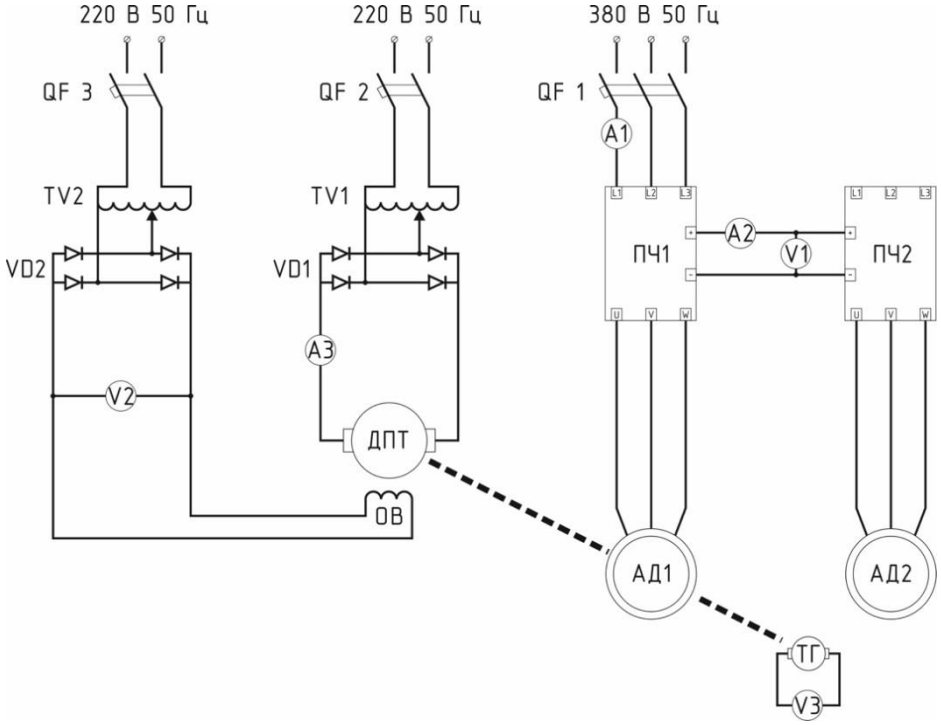
– ЛАТР (*TV*1 и *TV*2);

– выпрямительные диодные мосты (*VD*1 и *VD*2).

Однолинейная схема представлена на рисунке.

Как видно из рисунка, асинхронные двигатели АД1 и АД2 подключены к преобразователям частоты ПЧ1 и ПЧ2 соответственно. Преобразователь частоты ПЧ1 подключен к сети 380 В 50 Гц, а ПЧ2 не подключен. ПЧ1 и ПЧ2 соединены между собой по звену постоянного тока, от которого ПЧ2 получает питание. К валу асинхронного двигателя АД1 присоединен двигатель постоянного тока ДПТ. ДПТ подключен к сети таким образом, чтобы он закручивал вал в ту же сторону, что и АД1.

ДПТ и его независимая обмотка возбуждения ОВ получают питание от выпрямительных диодных мостов *VD*1 и *VD*2 соответственно, которые получают питание от лабораторных автотрансформаторов *TV*1 и *TV*2 соответственно. Напряжение обмотки якоря ДПТ и напряжение обмотки возбуждения можно регулировать при помощи *TV*1 и *TV*2.



Однолинейная схема

Для проверки возможности рекуперации энергии, производили опыты в различных режимах: когда включен только АД1, включен только АД2, включены АД1 и АД2, включены АД1, АД2 и ДПТ. Напряжение питания ДПТ и частота АД1 подбирается таким образом, чтобы ДПТ перекручивал АД1, те есть АД1 работал в генераторном режиме. При каждом опыте на АД1, АД2 и ДПТ подаются одинаковые значения частоты и напряжения соответственно. При проведении эксперимента получены результаты, которые представлены в таблице.

Результаты эксперимента

Режим работы	Показания амперметров, А	
	*A*1	*A*2
Включен только АД1	1	0,1
Включен только АД2	1,3	0,4
Включены АД1 и АД2	1,9	0,4
Включены АД1, АД2, ДПТ	1,1	0,4

Как видно из таблицы, когда АД1 работает в генераторном режиме, потребление тока АД2 снижается, то есть АД2 часть энергии получает из сети, а часть энергии из АД1. Данный эксперимент показывает возможность рекуперации по звену постоянного тока и возможность использования для технологических установок. Если преобразователи частоты, работающие в режиме постоянного разгона и торможения, соединить между собой по звену постоянного тока, во время торможения электродвигателей будет происходить процесс рекуперации энергии в звено постоянного тока. Эту энергию будут использовать другие преобразователи частоты. При этом будет снижаться энергия, потребляемая из сети. При использовании этого метода в электродвигателях, приводящих в движение механизмы с большой инерционностью, можно добиться значимого экономического эффекта.

Источники

1. Ганиев Р.Н. Разработка, исследование и внедрение частотно-регулируемого электропривода экструдера в производстве автомобильных шин: моногр. Нижнекамск: НХТИ ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2015. 116 с.

2. Горбачевский Н.И., Ганиев Р.Н. Г67 Электропривод в нефтехимических предприятиях: учеб.-метод. пособие. Нижнекамск: НХТИ ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2015. 114 с.

3. Ganiev R. Reversible frequency converters in the composition of multi-motor electric drives // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 643.

УДК 62-89

ВОЗМОЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

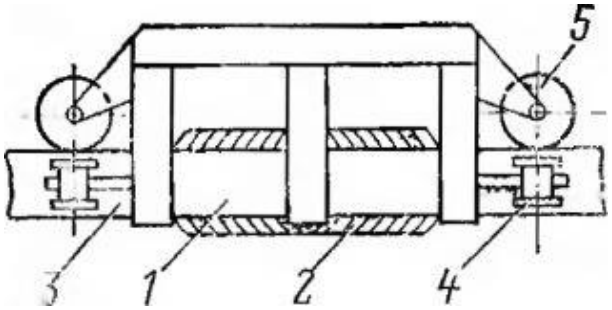
А.В. Яшагина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
yashagina_anya@mail.ru
Науч. рук. О.А. Филина

В наше время возрос интерес к электроприводу на линейных асинхронных двигателях (ЛАД). Такие электроприводы получают поступательное движение без преобразования, это достигается с помощью упрощения кинематической схемы (упрощение или исключение механических передач, совмещая рабочий орган

и вторичную структуру. При этом повышается экономичность и надежность работы привода, а также нет зависимости тягового усилия от коэффициента пары колесо-поверхность.

Ключевые слова: линейный асинхронный двигатель, железнодорожные транспортные линии, тяговая система.

В данной статье рассмотрен вариант применения ЛАД для железнодорожной транспортной системы. Одна из возможных конструктивных схем использования линейного двигателя с рельсовым транспортным средством. ЛАД, укрепленный на тележке подвижного состава, имеет конструкцию с двусторонним статором. Вторичным элементом (ВЭ) является укрепленная между рельсами полоса. Схожую схему имеет монорельсовые пассажирские и грузовые дороги. На рисунке схематически изображен линейный двигатель, используемый для монорельсовой дороги. Конструкция состоит из двустороннего статора с обмоткой, внутри которого находится ВЭ в виде полосы. Статор двигателя перемещается по полосе с помощью несущих роликов, которые служат для взаимной фиксации статора и ВЭ в горизонтальном направлении. За счет того, что ВЭ является рельс, масса двигателя снижается. Отсутствие механических передач (вращающихся деталей) снижает эксплуатационные расходы в среднем на 25 %. КПД двигателя составляет 45 %, коэффициент мощности 0,39. Максимальная сила тяги двигателя 3750 Н [1].



Линейный двигатель для монорельсовой дороги

Применение ЛАД с неподвижным первичным элементом может быть рациональным решением на железнодорожных транспортных линиях с высокой пропускной способностью. Такая тяговая система позволит централизовать управление транспортными поездами, позволит включать секции первичной части линейного двигателя в момент, когда поезд находится в этой зоне, снимет проблему мощного энергоснабжения подвижного состава при высоких скоростях.

Выявлены следующие недостатки при эксплуатации тягового линейного асинхронного двигателя: линейные асинхронные двигатели отличаются от вращающихся электрических машин характером протекания в них электромагнитных процессов, существуют так называемые краевые эффекты [2]; первичный и вторичный элементы ЛАД работают в разных тепловых режимах; неравномерное распределение усилий по длине ВЭ; трудность обеспечения прохождения кривых участков пути и стрелочных переводов.

Характеристики тяговых ЛАД

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	Масса, кг
ЛАД1	50	65	680
ЛАД2	50	64	710
ЛАД3	125	73	880

Целесообразность использования тяговых линейных двигателей не стоит рассматривать на примере существующих железных дорог, иначе стоит учитывать необходимость изменения не только дорожного полотна, но и самого подвижного состава (вагон нужно конструировать с учетом особенностей линейных двигателей) [3]. При этом создание новых может быть осуществлено с применением ЛАД, такой вывод можно сделать исходя из их механических характеристик и достоинств эксплуатации, необходимы дальнейшие исследования и работы, направленные на изучение и техническую модернизацию данного привода.

Источники

1. Майоров М.И., Майоров А.М. Передаточные функции и частотные характеристики асинхронного короткозамкнутого двигателя // Машиностроение: наука, техника, образование: матер. XI Всерос. науч.-практ. конф. Рузаевка, 2017. С. 45–48

2. Гоман В.В., Иваницкий С.В., Миронов С.Е. Моделирование тепловых и электромеханических процессов в линейных асинхронных двигателях // Промышленная энергетика. 2010. № 5. С. 37–40.

3. Епифанов Г.А., Мазнев А.С. Расчет характеристик линейного асинхронного двигателя транспортного модуля в условиях депо // Электроника и электрооборудование транспорта. 2012. № 2-3. С. 29–32.

Секция 6. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.31

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В.В. Борисовский
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск
borisovskiyvv@gmail.com
Науч.рук. В.В. Шевченко

Рассмотрена возможность снижения потерь активной мощности в распределительных сетях и предложен способ повышения оптимизации режимов работы системы электроснабжения, путем внедрения систем искусственного интеллекта на основе нечеткой логики

Ключевые слова: Управление режимами, Нечеткая логика, снижение потерь активной мощности, система электроснабжения.

Одной из важнейших проблем современной энергетики выделяют энергосбережение – экономное использование топливно-энергетических ресурсов. Быстрое исчерпание, проблема транспортировки природных ресурсов ведет к удорожанию выпускаемой предприятиями продукции. Эта проблема особенно остро стоит в регионах Крайнего Севера и Дальнего Востока России из-за отсутствия собственного производства топливно-энергетических ресурсов и дорогой транспортировки ресурсов из более развитых регионов России.

В настоящее время значительная часть России от 50 до 60 % территории остаются неохваченными единой энергетической системой России в силу своего географического положения, и электрификация этих районов осуществляется только локальными системами электроснабжения [1].

Отличие локальной системы электроснабжения является снабжение группы потребителя электрогенератором и электросетями без изменения источника напряжения, т. е. является системой, основу, которой составляют автономные электростанции малой и средней мощности, так называемыми электростанциями собственных нужд. В основном такие системы

используются преимущественно на территории Крайнего Севера и Дальнего востока в связи с трудной доступностью данных районов и отдельных населенных пунктов, а также многих промышленных предприятий, не имеющих связи с единой энергетической системой России. Поскольку прекращение подачи энергии может привести к нежелательным последствиям, то для данных систем также необходимо поддерживать качество и надежность энергоснабжения потребителей.

С целью оптимизации режимов работы системы электроснабжения следует рассмотреть возможность снижения потерь активной мощности в распределительных сетях. Снижение потерь активной мощности может быть достигнуто путем управления значениями напряжений в узлах сети. На рис. 1 представлена простая схема замещения участка сети, состоящая из источника питания, линии с комплексным сопротивлением $Z = R + jX$ и нагрузки с величиной полной мощности $S = P + jQ$.

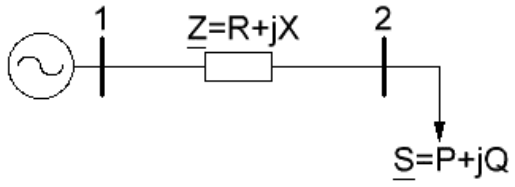


Рис. 1. Схема замещения участка сети

Модуль напряжения в узле *2* можно определить по выражению:

$$U_2 = U_1 - \Delta U = U_1 - \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\text{ном}}},$$

где U_1 – напряжение в узле *1*; ΔU – потери напряжения в линии; $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети.

По представленному выражению видно, что параметрами, влияющими на величину потери напряжения в линии, являются активная и реактивная мощность нагрузки, а также активное и реактивное сопротивление линии. Известно, что из всех данных величин для воздействия на потери напряжения, а соответственно и на величину напряжения U_2, удобнее всего регулировать реактивную мощность, т. е. осуществлять ее компенсацию с помощью специальных устройств (батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы и т. д.). Таким образом, компенсация реактивной мощности является одним из способов уменьшения потерь активной мощности в сетях.

Другим наиболее распространенным средством для управления напряжением и, как следствие, для снижения потерь активной мощности в сети, является изменение добавок напряжения на трансформаторах с помощью переключения отпаек РПН в зависимости от режима нагрузки [2].

Так как в наше время регулирование активной и реактивной мощности наиболее перспективно при помощи автоматизированных систем управления (АСУ), то в качестве повышения качества электроэнергии можно рассмотреть повышение эффективности работы данных систем.

Под АСУ подразумевается человеко-машинная система, которая обеспечивает с помощью средств вычислительной техники сбор и обработку информации и на её основу реализацию управляющих воздействий на объект управления. Автоматические системы управления позволяют решить задачи автоматизации, но поскольку система электроснабжения относится к классу сложных систем, в которых закон распределения действующих на систему параметров неизвестен и функционирование системы происходит в условиях неопределенности, то переменные системы могут иметь количественно-качественное описание, поэтому одной из основных отличительный черт АСУ-ТП является присутствие человека-оператора.

На рис. 2 можно рассмотреть структуру работы автоматизированной системы управления с человеком-оператором в режиме непосредственного управления.

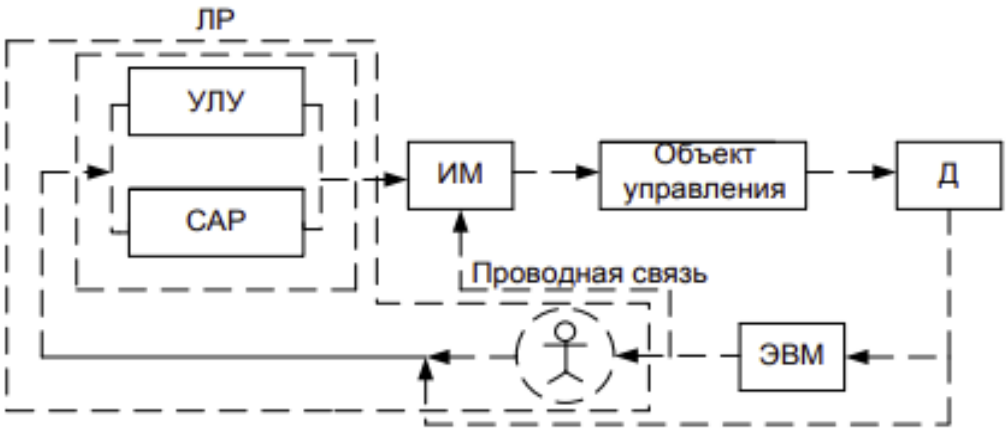


Рис. 2. Структура АСУ ТП с человеком-оператором в режиме прямого управления:
ИМ – исполнительный механизм; УЛУ – устройство логического управления;
САР – система автоматизированного регулирования; Д – датчик информации;
ЛР – локальные регуляторы ЭВМ – электронная вычислительная машина

Но наличие человека-оператора является как положительным фактором, так и отрицательным фактором, что выражается в том, что человек значительно уступает автоматизированным системам в надежности, человек быстро утомляется, склонен к ошибкам, уступает в скорости реакции [3]. На человека влияет: Плохие условия работы, недостаточное материальное или моральное стимулирование, перегрузки от большого количества информации. С увеличением систем будет увеличиваться и количество информации, что отрицательно влияет на эффективность человеческого фактора.

Поэтому в качестве решения данной проблемы предлагается рассмотреть замену человеческого фактора активно развивающимися системами искусственного интеллекта на основе нечеткой логики. Совершенствование и развитие новых интеллектуальных технологий в настоящее время создает благоприятные условия для рассмотрения и внедрения данных систем.

Использование нечеткой логики позволяет учесть различные условия, оказывающие влияния на качество электрической энергии. Принцип работы нечеткого алгоритма можно представить так: есть список нечетких правил и входные данные, понимаемые устройством как нечеткие, далее применяя один из алгоритмов нечеткого вывода, контролер обрабатывает информацию по созданным правилам и производит управление исполнительным механизмом по каждому правилу [4].

Схема нечеткого регулятора представлена на рисунке 3. Данная схема представлена тремя блоками: первый блок – блок фазификации в данном блоке определяются функции принадлежности к тому или иному нечеткому значению лингвистической переменной. Во втором блоке происходит нечеткий вывод, основанный на алгоритме Сугено, формируются нечеткие значения выходных лингвистических переменных. Третий блок отвечает за дефаззификацию – получение определенных четких значений управляющих сигналов [5].

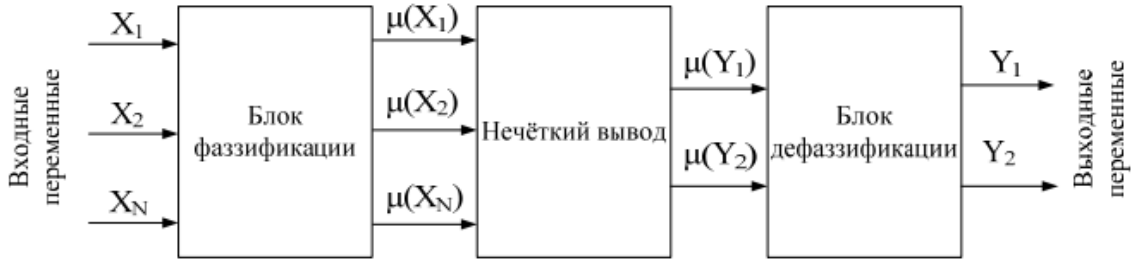


Рис. 3. Схема нечеткого регулятора

Использование нечеткого регулирования позволяет симулировать человеческое мышление с присущей автоматизированным системам скоростью и точностью. Что позволяет поддерживать напряжение энергосистемы на необходимом уровне без участия оперативного персонала в дополнение к этому использование нечеткого регулирования позволяет достаточно легко расширить входные параметры при появлении необходимости в расширении системы энергоснабжения.

Источники

1. Веников В.А., Идельчик В.М., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. М.: Энергоатомиздат. 1985. 214 с.

2. Туликов А.Н., Пантелеев В.И. Методы искусственного интеллекта в управлении режимами систем электроснабжения предприятий // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. Томск, 2008. С. 91–93.

3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. 2-е изд. М.: БИНОМ, 2013. 802 с.

4. Пантелеев В.И., Филатов А.Н. Управление режимами реактивной мощности и напряжения промышленного предприятия. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. 125 с.

5. Пантелеев В.И., Петухов Р.А., Сизганова Е.Ю. Анализ эффективности применения нечеткого регулирования уровня напряжения в распределительных сетях // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2018. Т. 11, № 5. С. 536–549.

УДК 681.3

О ВОЗМОЖНОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Я.С. Высковеркина, Н.С. Соколова,
ВИВТ – АНОО ВО, г. Воронеж
gorbenkoon@yandex.ru
Науч. рук. О.Н. Чопоров

Даются предложения по возможностям управления энергетическими системами. Показана структура системы, на основе которой возможно осуществление процессов управления.

Ключевые слова: управление, энергетическая система, модуль.

Когда ведется производство элементов энергетического оборудования, тогда важно отметить требования, которые существуют для подсистемы управления и контроля технологическими процессами производств. Ее используют, если изготавливаются опытные образцы компонентов энергетических комплексов. Такие энергетические модули, которые были созданы, требуется отправлять на экспертизу. При этом можно определять выходные параметры. Еще видны условия реакции на внешние воздействия.

В настоящее время большое число из используемых на практике алгоритмов основываются на способах математической статистики. Тогда возникают возможности для того, чтобы контролировать и управлять качеством происходящих процессов [1] и использовать процедуры оптимизации [2]. Укажем их ключевые преимущества. Алгоритмы рассматриваются как универсальные. Из этого следует, что широкий класс наблюдаемых процессов может описываться на основе них. Необходимо иметь некоторые статистические данных, а также программные продукты. Это определяет простоту реализации алгоритмов на практике. Возникают возможности для того, чтобы поэтапным образом промоделировать отдельные операции в процессах. Затем будет сформирована модель всего процесса создания энергетического оборудования. При том, что статистические методы считаются как один из перспективных инструментов при создании компонентов энергетического оборудования, их недостаток будет заключаться в необходимости в использовании требуемого количества экспериментальных данных. Исследователи должны принимать во внимание, что для определенного технологического процесса необходима конкретная статистическая модель. Тогда учитываются параметры и настройки в технологическом оборудовании [3]. Помимо этого, отмечается способ производств. Если привлекать экстраполяцию, тогда необходимо быть готовым к тому, что будут наблюдаться большие ошибки.

На основе проведенного анализа мы выяснили, возможности использования одного из методов адаптивного управления для создаваемой подсистемы. Она связана с тем, как идет управление и контроль по технологическим процессам производств компонентов энергетического оборудования.

С точки зрения практики необходимо ориентироваться на системы автоматизированного проектирования (САПР). Это связано с тем, что исполнение современных элементов энергетических комплексов происходит достаточно сложным техническим образом. САПР дают возможности

обеспечивать их эффективную разработку. В представляемой вниманию работе мы предлагаем использовать модуль оптимизации технологических процессов. На его основе в ходе производства элементов энергетических комплексов происходит имитационное моделирование. При этом учитываются причинно-следственные связи. Они наблюдаются между показателями качества компонентов, а также параметрами создаваемой системы. Есть возможности для учета неконтролируемых параметров [4]. Они будут возникать в технологических процессах, когда производится энергетическое оборудование. На рисунке показана сформированная модульная структура процесса того, как интегрируются выходные файлы САПР в процессы производства элементов энергетических комплексов.

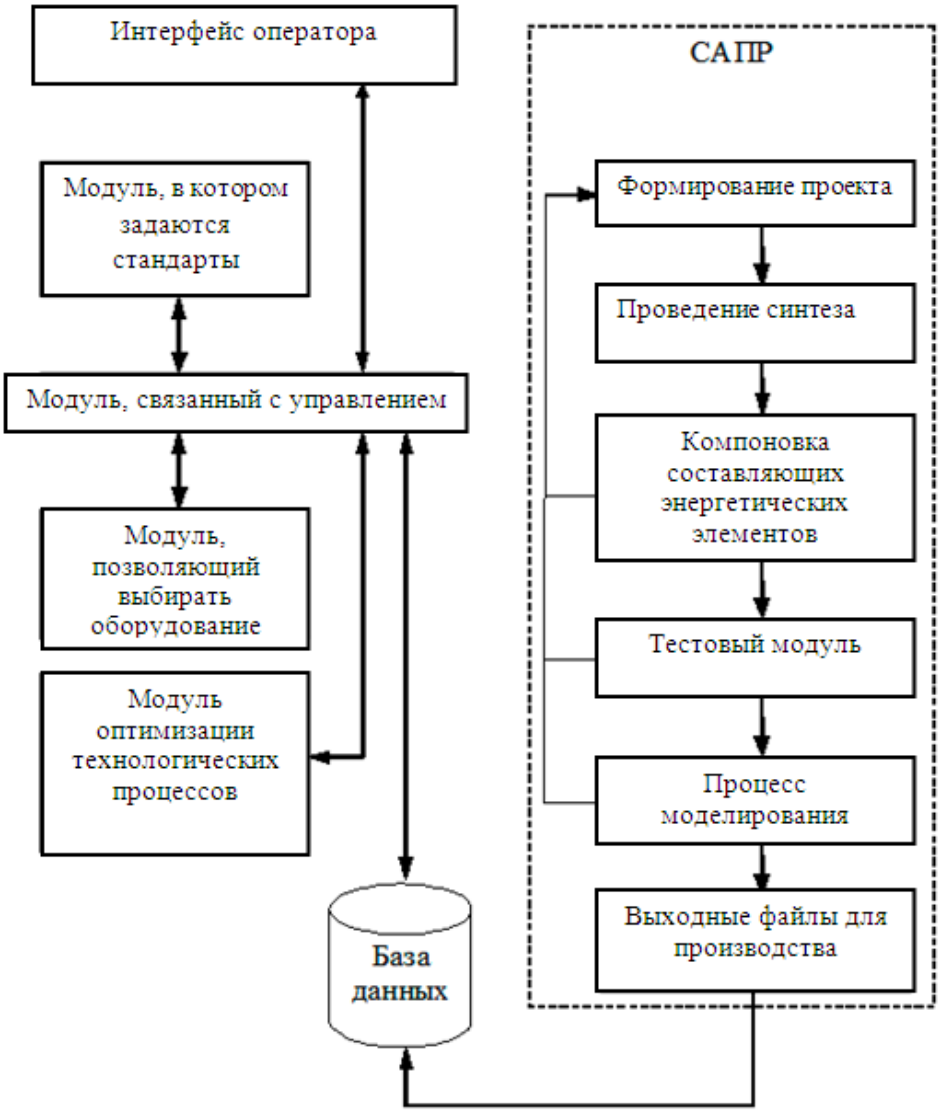


Рис. 1. Схема расположения модулей созданной системы, позволяющей интегрировать файлы САПР

Мы исходим из того, что взаимодействие модулей базируется на принципе: в ходе производства, происходит загрузка выходных файлов в базу данных.

После этого процесс осуществляется ручным образом (у оператора есть интерфейс). Также возможен и автоматический режим по выбору оборудования при производстве. Стандарты качества позволяют определять значения по допускам, критическим величинам и выходным значениям в параметрах элементов в энергетических комплексах. Это будет в модуле задания стандартов.

На базе модуля управления идет направление данных процессов в АСУ [5].

Операторы, когда происходит реализация технологических процессов на базе модуля оптимизации смогут получать данные по тому, какая надежность формируемых энергетических элементов. Это связано с результатами физико-технической экспертизы. Также будет осуществляться оценка по тому, каким образом влияют факторы на работоспособность энергетического оборудования на базе анализа данных, которые были сохранены в ходе производств более ранних компонентов энергетического оборудования.

Тогда предлагаемая структура предоставляет возможности для того, чтобы сохранять и учитывать в последующих разработках нескольких видов настроек оборудования. Они могут быть применены в последующем на реальных производствах, чтобы определять конкретные диапазоны допусков по каждой из технологических операций.

Таким образом, создаваемая система позволит повысить эффективность разработок элементов энергетических систем.

Источники

1. Альтварг М.С. О некоторых проблемах, связанных с управлением энергетическими системами // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сб. науч. ст. Всерос. науч. конф. перспективных разработок. Курск, 2020. С. 426–428.

2. Преображенский Ю.П., Паневин Р.Ю. Формулировка и классификация задач оптимального управления производственными объектами // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6, № 5. С. 99–102.

3. Милошенко О.В. Проблемы распределенного производства энергии // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2013. № 10. С. 40–45.

4. Завьялов Д.В. Вопросы надежности электроснабжения // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 12–14.

5. Горбенко О.Н., Рожкова А.А. Свойства подходов, связанных с управлением электрическими сетями // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2014. № 4 (7). С. 20.

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА

О.В. Исаева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г.Казань
isaeva.olga01@mail.ru
Науч. рук. А.Р. Денисова

Статья посвящена проблеме источников света с нелинейными вольтамперными характеристиками и внедрению в электрические системы современные и безопасные энергосберегающие технологии. Изменения в текущих кривых, создаваемых нелинейными нагрузками, часто обнаруживаются в осветительной сети. Переход к энергосберегающим технологиям приводит к повышению уровня высших гармоник. В результате проведенных исследований были выявлены негативные последствия использования светодиодных светильников, которые приводят к увеличению тока в нулевом проводе, понижению напряжения в нейтральном и фазовом проводниках.

Ключевые слова: светильник, диммер, энергосбережение, высшие гармоники, показатели качества электроэнергии, светодиод.

В настоящее время во всем мире стремительно расширяется сфера применения светодиодных технологий освещения. Данные источники света в настоящее время вне конкуренции по таким параметрам, как световая отдача, температурные диапазоны эксплуатации, срок службы, электро- и пожаробезопасность, минимум затрат на техническое обслуживание. Постоянный рост доли и мощности источников света с нелинейными вольтамперными характеристиками приводит к возникновению проблемы качества электроэнергии.

Ухудшение параметров качества электроэнергии влечет за собой увеличение потерь в сети, нарушение работы электроприемников, создает опасность возникновения резонанса и перегрузку емкостных цепей.

Нами разработана система регулирования светового потока ADL-System на основе светодиодных светильников.

Актуальность проекта определена тем, что в офисных, административных и учебных помещениях освещение является основным потребителем и используется в течение всего светового дня. При этом в этих помещениях чаще всего проектом закладываются большие оконные проемы, через которые проникает естественное освещение. Это влечет за собой избыточное неравномерное освещение помещений и высокое энергопотребление, а также создает низкий уровень зрительного комфорта.

Качество освещения влияет на утомляемость, психологическое состояние и работоспособность сотрудников и обучающихся, а так же оказывает воздействие на зрительное здоровье. Поэтому внедрение современных и безопасных энергосберегающих технологий в эти системы имеет большое значение.

Вопросы по улучшению ПКЭ актуальны не только в России, но и за рубежом. Об этом свидетельствуют регулярно проходящие конференции, посвящённые вопросам электромагнитной совместимости и качества электроэнергии: CIGRE (Международная конференция по большим электрическим системам), CIRED (Международная конференция по системам распределения электроэнергии), IEC (Международная электротехническая комиссия) и др. Можно выделить некоторые причины, вызывающие повышенный интерес к проблеме качества электроэнергии: сокращение долговечности электрооборудования (плохое качество электроэнергии может повлечь за собой сокращение долговечности и (или) повреждение электрооборудования, что сопровождается производственными потерями), увеличение производственных издержек.

Вопрос влияния светодиодных ламп на ПКЭ изучается научными группами [1], однако отсутствует информация, насколько изменятся характеристики электроэнергии, если источники света имеют функцию регулирования светового потока в системах автоматизированного управления освещением. Внедряемая нами система автоматического регулирования светового потока ADL-System включает в себя ряд устройств (см. рисунок), подключенных к светильнику с возможностью регулирования (светодиодный светильник), которые автоматически поддерживают освещенность на рабочей поверхности на нормируемом уровне, уменьшая или повышая световой поток светильника.

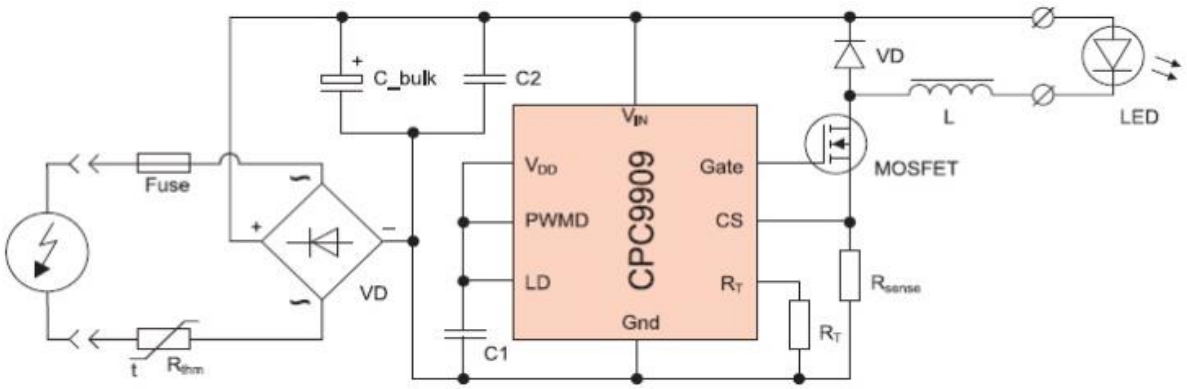


Схема LED-драйвера на базе CPC9909, используемая в светодиодных светильниках с регулированием

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. Для работы в автоматическом режиме в стандартную схему каждого светодиодного светильника добавляется контролер и оптический фотодатчик. Оптический фотодатчик направлен на рабочую поверхность под светильником, чтобы максимально точно измерять величину освещенности [2].

Ранее не изучался вопрос влияния модуля автоматического регулирования на ПКЭ. С целью выявления влияния светодиодных светильников с системой регулирования светового потока на ПКЭ нами планируется провести исследования с помощью анализатора качества электрической энергии для группы светильников с автодиммированием.

Источники

1. Иванова В.Р., Роженцова Н.В. Инновационные системы управления освещением // Новые технологии, материалы и оборудование в энергетике: в 3 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова, Э.В. Шамсутдинова. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Т. 2. С. 198–221.

2. Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1 (58). С. 38–39.

УДК 620.91

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATLAB/SIMULINK

И.Н. Киселев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
igorkiselev17@gmail.com
Науч. рук. А.И. Рудаков

Предложена имитационная модель автономной фотоэлектрической системы, выполненной в среде Matlab/Simulink. Представлены результаты моделирования системы и практическая ценность модели в проектной практике.

Ключевые слова: модель, автономная фотоэлектрическая система, аккумуляторная батарея, солнечная батарея, контроллер заряда.

Повышение эффективности, стабильности и надежности фотоэлектрической системы – это важная задача в настоящее время [1]. Для достижения этой цели вся фотоэлектрическая система должна быть испытана в изменяющихся погодных условиях. Однако большое разнообразие устройств и алгоритмов управления делает практическое тестирование системы сложным и дорогостоящим. Поэтому в данном тезисе используются инструменты моделирования Matlab/Simulink для разработки модели автономной фотоэлектрической системы, которая может быть использована для моделирования любого сценария или неисправности, что существенно упрощает выбор проектных решений.

Структурная схема фотоэлектрической системы показана на рис. 1. Чаще всего используются солнечные панели на основе кремния. Контроллеры заряда делятся на два типа: ШИМ и MPPT. ШИМ контроллеры соединяют солнечную батарею с аккумулятором напрямую. Напряжение на солнечной батарее снижается до напряжения аккумуляторной батареи. MPPT контроллер является более сложным и более дорогим устройством. Помимо снижения напряжения он регулирует напряжение и ток солнечной панели таким образом, чтобы получать от солнечной батареи максимальную мощность [2]. Таким образом, на стороне аккумуляторов чаще может быть 12/24 В, а на стороне солнечной батареи гораздо выше (70–230 В). Инвертор предназначен для преобразования постоянного тока в переменный и повышения напряжения до 220 В переменного тока.

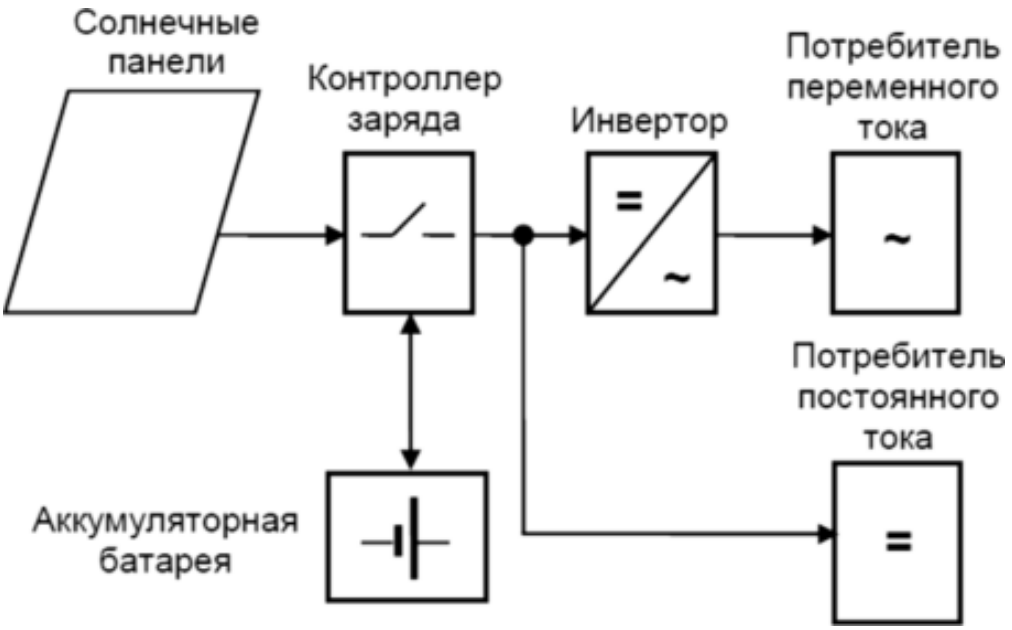


Рис. 1 Состав автономной фотоэлектрической системы

Разработанная модель в среде Matlab & Simulink моделирует часть фотоэлектрической системы, исключая инвертор и потребитель переменного тока (рис. 2). В модели на выходе солнечной панели используется повышающий преобразователь (*boost converter*) для реализации алгоритма MPPT, а также двунаправленный преобразователь постоянного тока для реализации заряда аккумуляторной батареи, разряда ее на нагрузку и поддержания заданного напряжения на нагрузке Load.

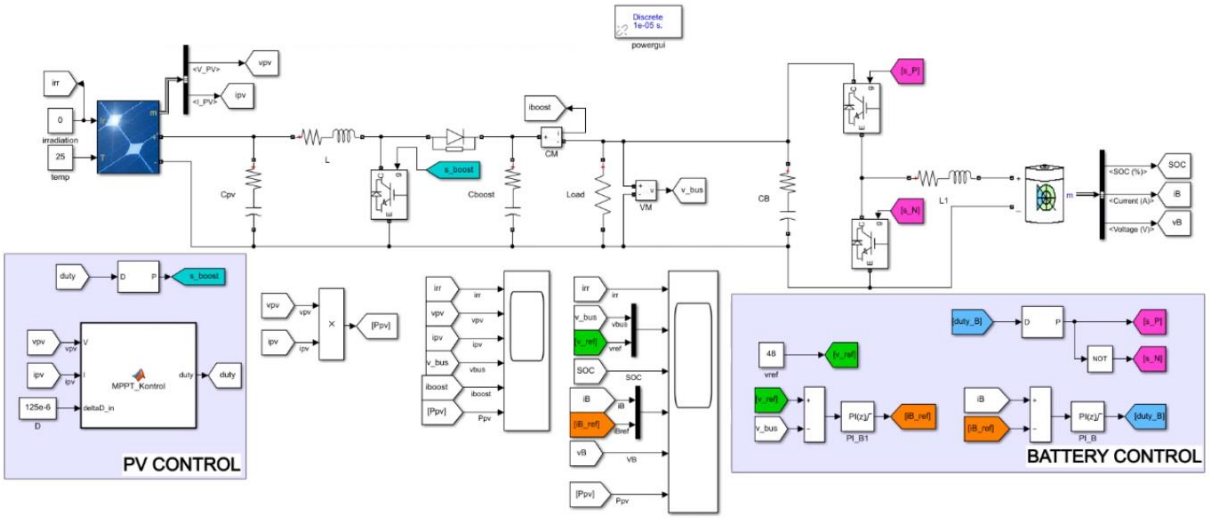


Рис. 2. Модель автономной фотоэлектрической системы в Simulink

В созданной модели можно исследовать при каких значениях солнечного излучения происходит заряд и разряд батареи аккумуляторов по знаку ее тока, изменение степени заряда аккумуляторной батареи

(SOC), напряжение на нагрузке и батарее, а также мощность солнечных панелей при разных значениях солнечного излучения и температуры панелей. Например, из рис. 3 видно, что при солнечном излучении 300 Вт/м^2 в ток аккумулятора положителен и уровень заряда SOC падает, следовательно, аккумулятор разряжается на нагрузку, но мощность солнечных батарей порядка 350 Вт, что означает что нагрузка одновременно питается и от аккумулятора и от солнечных панелей. При излучении в 400 Вт/м^2 ток аккумулятора равен 0, аккумулятор не заряжается и не разряжается, нагрузка питается от солнечных панелей. При излучении больше 400 Вт/м^2 аккумулятор заряжается, чтобы, например, питать нагрузку ночью, когда мощность солнечных панель мала.

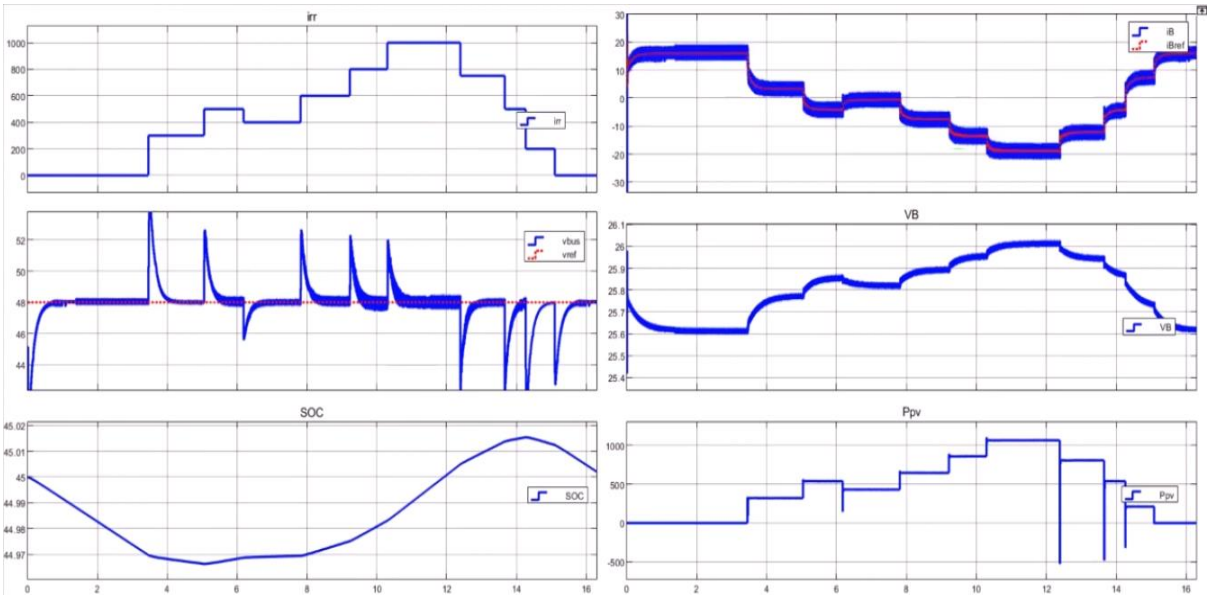


Рис. 3. Изменение параметров модели фотоэлектрической системы

Источники

1. Рудаков А.И., Максимова В.А., Фаттахов И.И. Повышение энергоффективности и оптимизация фотоэлектрических панелей // Стратегии развития современной науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2019.

2. Рудаков А.И., Максимова В.А. Повышение энергоэффективности солнечных фотоэлектрических установок // Наука. Технология. Производство – 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий: сб. Всерос. науч.-метод. конф. Салават, 2019. С. 193–196.

УДК 620.91

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА ДВУХОСЕВОГО СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА НА БАЗЕ ПЛАТЫ ARDUINO UNO R3

И.Н. Киселев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
igorkiselev17@gmail.com
Науч. рук. А.И. Рудаков

Предложен макет двухосевого солнечного трекера на базе платы Arduino UNO R3. Представлена схема внешних соединений трекера. Произведена оценка энергоэффективности использования солнечного трекера.

Ключевые слова: солнечный трекер, солнечная панель, Arduino, сервопривод, энергоэффективность.

Производство электроэнергии за счет сокращения использования традиционных источников энергии – актуальная проблема в современной энергетике. Одним из наиболее перспективных средств возобновляемой энергетики является солнечная энергетика . В последние годы наблюдается повышенный спрос на фотоэлектрические системы из-за их относительно низких и постоянно снижающихся затрат на производство электроэнергии по сравнению с другими технологиями использования возобновляемых источников энергии и низким воздействием на окружающую среду [1]. С другой стороны, недостатком технологий возобновляемой энергетики являются низкие плотности энергии источников энергии. Кроме того, непостоянный характер солнечного излучения препятствует работе фотоэлектрических систем на оптимальном экономическом уровне. Это означает, что электростанции, преобразующие энергию возобновляемых источников энергии, должны использоваться как можно энергоэффек-тивнее. В этом контексте система слежения за солнечными батареями является лучшей альтернативой для повышения энергоэффективности солнечных панелей. Солнечные трекеры поворачивают солнечную панель в течение дня таким образом, чтобы на поверхность солнечной панели приходилось большее количество солнечного излучения. В этом тезисе предлагается двухосная система слежения за Солнцем, разработанная с использованием платы Arduino Uno, а также серводвигателя SG-90 и двух фоторезисторов.

Принцип работы солнечного трекера иллюстрируется рис. 1. Солнце движется в течение дня с Востока на Запад, вследствие этого солнечная панель поворачивается так, чтобы угол падения солнечного излучения на панель был как можно ближе к прямому [2]. Вращение солнечной панели относительно вертикальной оси в течение дня осуществляется сервоприводом автоматически, а наклон солнечной панели к горизонту задается вручную, например, каждый месяц или неделю (рис. 1).

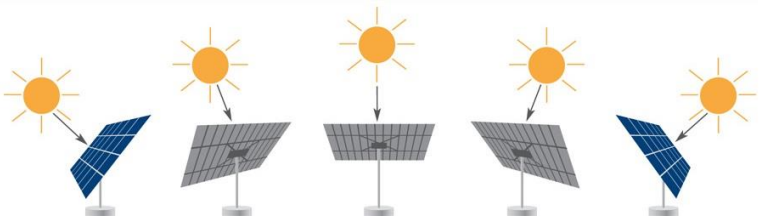


Рис. 1. Принцип работы солнечного трекера

Схема внешних соединений солнечного трекера показана на рис. 2. сопротивления фоторезисторов *LDR*1 и *LDR*2, расположенные по краям солнечной панели на одном горизонтальном уровне, изменяются с изменением интенсивности падающего на них излучения, поэтому онисоединены таким образом, что изменение сопротивления преобразуется в аналоговый сигнал напряжения, который подается на аналоговые входы *A*1 и *A*0 платы Arduino. Контроллер периодически считывает значения с двух датчиков и сравнивает их. Если значения с датчиков одинаковы, значит панель наведена на солнце. В случае, если значение одного из датчиков отличается от другого, контроллер дает команду на серводвигатель для поворота платформы. Команда на серводвигатель работает до тех пор, пока значения с датчиков не сравняются и солнечная панель не зафиксируется в данном положении [2].

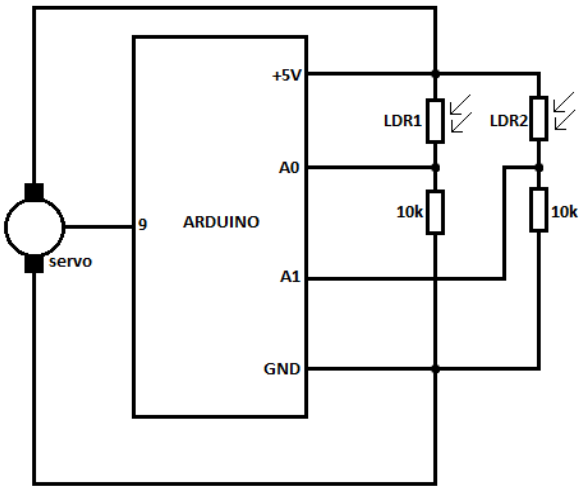


Рис. 2. Схема внешних соединений солнечного трекера

В течение дня осуществлено сравнение выходной мощности вращающейся солнечной панели и фиксированной солнечной панели с максимальной мощностью 0,5 Вт. Результаты измерений приведены в таблице.

Сравнение мощностей неподвижно установленной и вращающейся солнечной панели

Время	Мощность СП, мВт	
	фиксированной	вращающейся
08:00	41,2	124,8
09:00	77,6	135,0
10:00	88,4	154,4
11:00	141,2	188,8
12:00	174,5	219,2
13:00	210,2	297,2
14:00	250,6	254,4
15:00	212,6	204,8
16:00	174,4	195,4
17:00	143,2	174,6
18:00	90,0	128,6

Из таблицы следует, что энергоэффективность солнечной панели с солнечным трекером на 14 % больше, чем у неподвижной солнечной панели.

Источники

1. Рудаков А.И., Максимова В.А. Повышение энергоэффективности солнечных фотоэлектрических установок // Наука. Технология. Производство – 2019: Моделирование и автоматизация технологических процессов и производств, энергообеспечение промышленных предприятий: сб. Всерос. науч.-метод. конф. Салават, 2019. С. 193–196.

2. Иванова В.Р., Галиев А.Ф. Перспективы использования солнечных панелей для энергообеспечения жилых домов // Вестник современных исследований. 2018. № 12 (27). С. 83–85.

УДК 621.316

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

П.А. Корнева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
korpolik.ru@gmail.com
Науч. рук. А.Р. Денисова

Рассматриваются способы определения энергоэффективности жилых помещений, их энергоаудит и решения по повышению энергосбережения.

Ключевые слова: энергоэффективность, класс энергоэффективности, энергоаудит.

В настоящее время в стране и мире прослеживается тенденция повышения внимания к вопросам энергоэффективности.

Энергоэффективность – это совокупность комплекса мер по повышению организационных, экономических и технологических показателей рационального использования энергетических ресурсов в промышленной, бытовой и научно-технической областях. На практике энергоэффективность выражается в снижении потребляемого количества ресурсов необходимых для поддержания того же уровня энергетического обеспечения строений и технологических процессов.

Специалистами в области электроэнергетики [1, 2] поднимаются вопросы энергосбережения не только промышленных производств, но и энергоаудита и энергосбережения жилых помещений.

Под понятием энергоэффективности жилых помещений понимается отношение полученного значения эффективности при рациональном использовании разнообразных энергетических ресурсов, применяемых на конкретном объекте к их непосредственному расходу. Расчёт энергоэффективности осуществляется по формуле:

$$\Delta = \frac{q - q_{\text{баз}}}{q_{\text{баз}}} \cdot 100\ \%,$$

где Δ – величина отклонения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня; q – значение фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов; $q_{\text{баз}}$ – значение нормируемого базового уровня удельного годового расхода энергетических ресурсов.

Характеристикой энергоэффективности зданий является класс энергоэффективности, который демонстрирует, насколько эффективно сооружение расходует ресурсы. В России выделяют следующие классы энергоэффективности: *A++, A+, A, B+, B, C+, C, C–, D, E* (*A++* – наивысший, *E* – низший).

Согласно Федеральному закону № 261-ФЗ от 23 ноября 2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации» [3], класс энергетической эффективности здания или помещения устанавливается Центром энергоэффективности на основании результатов энергоаудита, исходя из величины отклонения фактического удельного годового расхода энергетических ресурсов от базового уровня. В таблице представлена градация классов энергоэффективности в зависимости от величины отклонения.

Классы энергетической эффективности

Обозначение класса энергетической эффективности	Наименование класса энергетической эффективности	Величина отклонения фактического удельного годового расхода энерг. ресурсов от базового уровня Δ, %
A++	Близкий к нулевому	–90 и менее
A+	Высочайший	от –70 до –90
A	Очень высокий	от –50 до –70
B	Высокий	от –30 до –50
C	Повышенный	от –15 до –30
D	Нормальный	от 0 до –15

Рассматривая пример, где многоквартирному дому был присвоен высокий класс энергоэффективности (от *A++* до *B*), согласно [3], затраты жителей на оплату коммунальных услуг снижаются. Также такие дома меньше загрязняют экологию, чем строения с низким классом энергоэффективности. Поэтому для зданий, имеющих высокий и очень высокий классы энергоэффективности действующим законодательством предусмотрено освобождение собственников зданий от имущественного налога на первые три года нахождения здания в собственности.

Согласно упомянутому закону [3], уже введённые в эксплуатацию здания могут иметь класс *D* и требуют утепление или модернизацию. Новые же здания, в том числе реконструируемые, должны иметь класс энергоэффективности не ниже *C*.

Из этого следует, что повышение энергоэффективности зданий основывается на обеспечении максимально экономичного расхода ряда энергоресурсов: электрической и тепловой энергии, горячего и холодного водоснабжения. Данные мероприятия проводятся на стадии строительства, реконструкции и в рамках энергоаудита. Мерами и способами повышения энергоэффективности зданий являются [4]: использование качественной и усиленной теплоизоляции крыши, стен и пола, на которые приходится большая часть тепловых потерь; использование для возведения стен материалы с более высоким показателем теплостойкости (например, газобетонные и керамические блоки); установка входных и общедомовых дверей и окон с повышенными теплоизоляционными свойствами; замена старых трубопроводов для горячего водоснабжения на новые с меньшими потерями тепловой энергии; установка в помещениях современных радиаторов отопления с индивидуальной регулировкой мощности и параллельной схемой подключения к источнику тепла; использование в сооружениях энергоэффективного освещения, электрооборудования и т. п. с высоким классом энергоэффективности; уменьшение времени использования общедомового освещения путём установки специальных датчиков движения.

Применение данных мер позволит повысить значение энергоэффективности зданий, что приведет к удешевлению стоимости как владения, так и эксплуатации строения и положительно скажется на экологической обстановке.

Источники

1. Роженцова Н.В., Пятникова М.В. Энергосбережение и повышение энергоэффективности в сфере ЖКХ // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов: матер. V Всерос. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов. Тольятти, 2019. С. 120–124.

2. Денисова А.Р., Сибгатуллин Э.Г. Повышение энергоэффективности при использовании системы автоматического регулирования светового потока // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № 1 (58). С. 38–39.

3. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 04.02.2021).

4. Кондратьев М.А. Способы повышения энергоэффективности зданий // Наука и образование сегодня. 2019. № 4 (39).

УДК 621.31

РЕГУЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Е.Г. Рокина[1], А.Г. Рокина[2]
НИТУ «МИСиС», г. Москва
[1] helena-r2009@yandex.ru, [2] anrokina@yandex.ru
Науч. рук. Ю.В. Шевырев

Режим работы энергосистемы определяется в первую очередь степенью нагрузки на нее со стороны отдельных потребителей. Как правило, максимальная нагрузка фиксируется в дневное время, а ночью потребление электроэнергии значительно снижается. Все колебания и неравномерность энергопотребления учитываются в значении тарифа на электрическую энергию. В связи с этим, возникает необходимость рассмотрения мероприятий по снижению нагрузки энергосистемы и затрат отдельных предприятий на оплату электрической энергии (мощности) для предприятий.

Ключевые слова: график электрической нагрузки, пиковые нагрузки, регулирование, экономический эффект.

Графики нагрузок энергопотребления не только наиболее полно отражают режим работы предприятия, но и позволяют оценить влияние нагрузки на энергосистему в целом.

Для анализа рассмотрено предприятие г. Н. Новгород, которое занимается производством электрического и электронного оборудования для автотранспортных средств. Питание осуществляется с РП 10 кВ, графики электрических нагрузок сняты с приборов учета, установленных в ячейках № 20 и № 21 (рис. 1).

На основании полученных данных, можно сделать вывод, что нагрузка, питающаяся от ячейки № 20, имеет равномерный характер в течение месяца. Нагрузка с ячейки № 21 имеет пики потребления электрической энергии в будние дни.

Для оптимизации работы и снижения затрат необходимо регулировать суточное потребление электрической энергии и выравнивать график нагрузок предприятия путем заполнения ночного провала и переноса нагрузок во вне пиковые часы суток с помощью регулирования режимов электропотребления [1, 2].

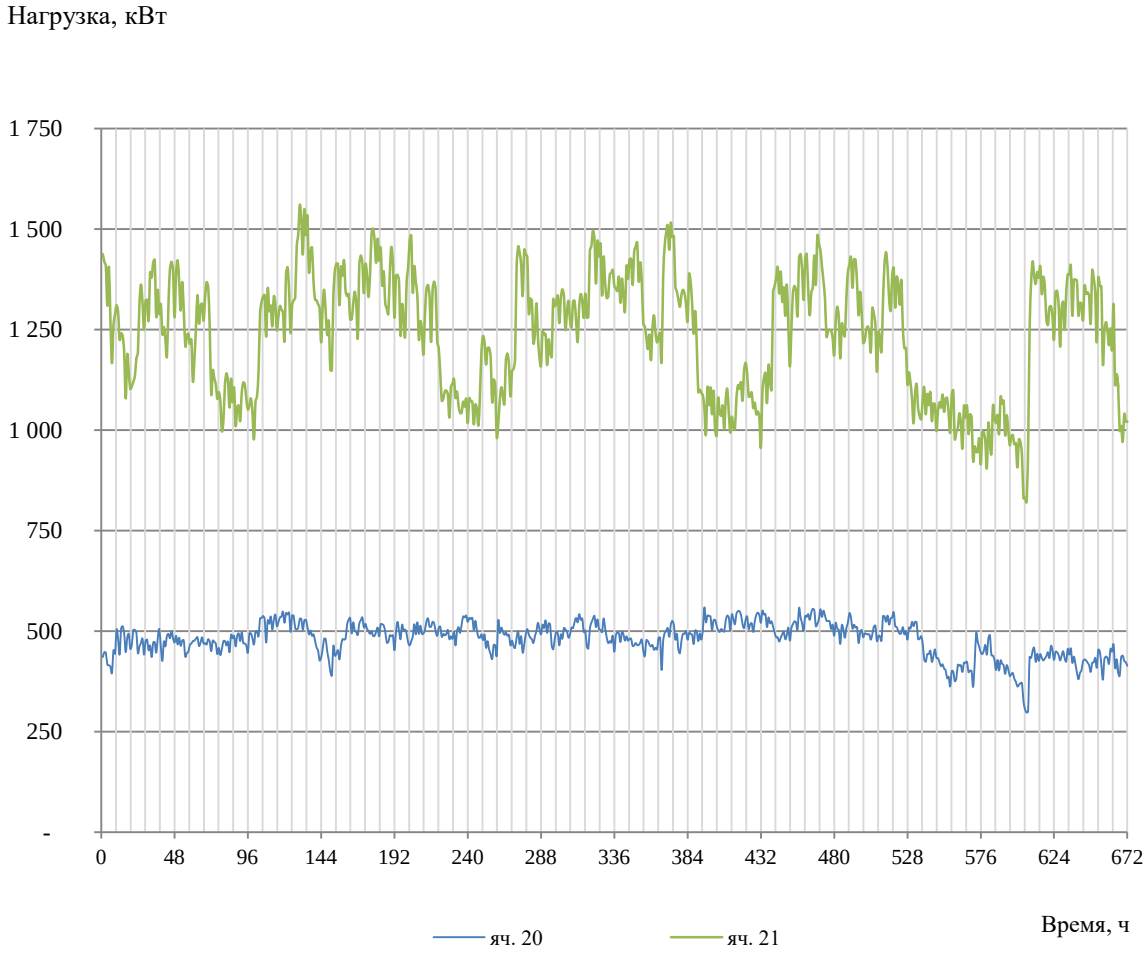


Рис. 1. График активной нагрузки (февраль, 2018г.)

Одним из перспективных направлений регулирования графиков электрических нагрузок является применение собственной генерации. Для качественного регулирования мощности предприятия необходимо иметь представление об условиях формирования графика нагрузки, временных диапазонов ввода генерации и распределения значений тарифов на электрическую энергию (мощность).

Согласно постановлению Правительства РФ № 442 от 4 мая 2012 г. выделяют плановые часы пиковой нагрузки, которые утверждаются ОАО «СО ЕЭС» на календарный год, и часы пиковой нагрузки, публикуемые организацией коммерческой инфраструктуры оптового рынка (ОАО «АТС») [3].

В работе проведено исследование регулирования режимов электропотребления с помощью газопоршневой генераторной установки (ГПУ) мощностью 1,2 МВт [4]. График электрической нагрузки после ввода собственной генерации представлен на рис. 2.

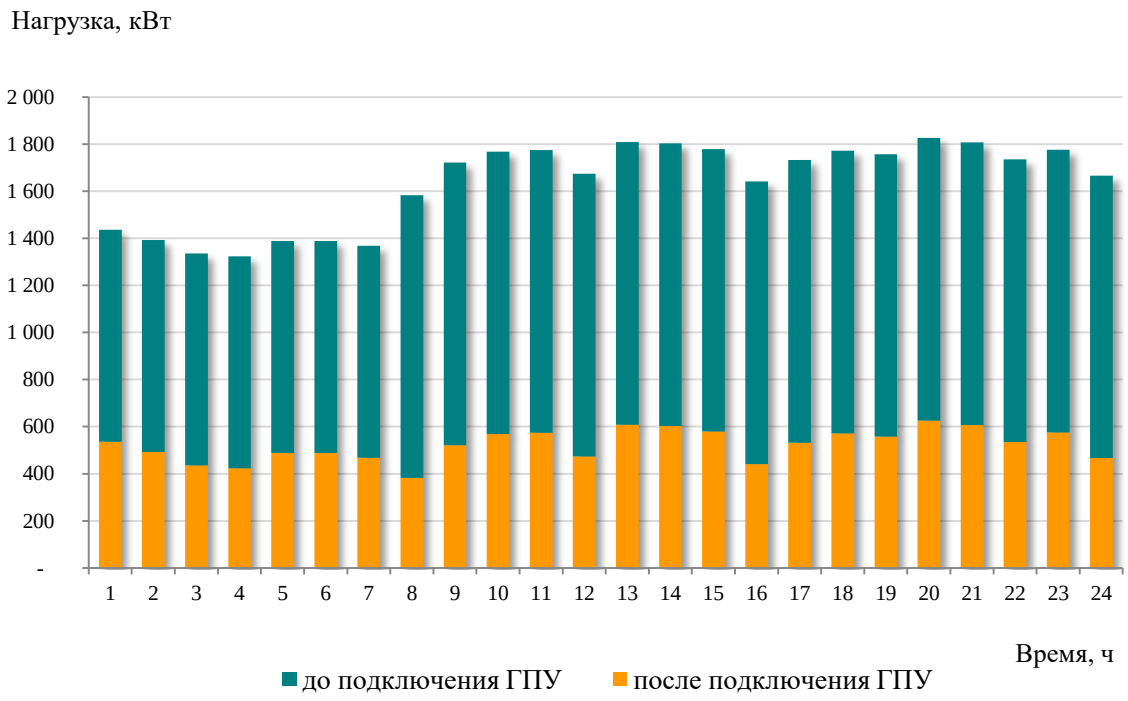


Рис. 2. График электрических нагрузок с учетом генераторной установки

Эффективность ввода в работу генератора на основе ГПУ в часы пиковой нагрузки предприятия способствует снижению тарифа на электрическую энергию более 5 %, а совокупных затрат более 11 %.

Таким образом, эффективное регулирование пиковых мощностей промышленного предприятия способствует повышению надежности энергосистемы в целом, а также снижению величины тарифа за электрическую энергию для предприятия и, соответственно, издержек, связанных с производством продукции.

Источники

1. Гущина Е.В. Повышение энергоэффективности путем регулирования режимов энергопотребления [Электронный ресурс] // Молодёжь и наука: матер. VI Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Красноярск, 2011 URL: http://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/4585 (дата обращения: 10.03.2021).

2. Ковалев А.А., Шаюхов Т.Т. Выравнивание графиков нагрузки // Энергетика, электропривод, энергосбережение и экономика предприятий, организаций, учреждений: матер. молод. Межрегион. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2013. С. 61–64.

3. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 4 мая 2012 г. (в ред. от 22 июня 2019 г. № 442). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 10.03.2021).

4. Ховалова Т.В. Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию [Электронный ресурс] // СРРМ. 2017. № 3 (102). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-effektivnosti-perehoda-na-sobstvennuyu-generatsiyu (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 621.31

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ КОЭФФИЦИЕНТАМИ НЕЛИНЕЙНЫХ И ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ И УСТРАНЕНИЮ ИХ РАЗНОЧТЕНИЯ

О.Д. Семенова, Р.Х. Тукшаитов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ollivka5001@gmail.com, trh_08@mail.ru

Установлено наличие в электротехнической литературе большого количества терминов, являющихся по существу синонимами. Во избежание разночтения для характеристики качества электроэнергии, обоснована необходимость применения единого, кратко излагаемого, термина - «коэффициент нелинейных искажений». Показана аналитическая и графическая связь между ним и коэффициентом гармонических искажений.

Ключевые слова: коэффициент нелинейных искажений, коэффициент гармонических искажений, разночтение, аббревиатура THD_f.

Для характеристики уровня нелинейных искажений входного тока электрооборудования и напряжения электросети в одних источниках используемый показатель именуют коэффициентом нелинейных искажений [1–3], а в более ранних, коэффициентом гармонических искажений [4, 5], между которыми имеется определенное соотношение [6]. Переход в последние два десятилетия на несколько разнообразную терминологию привело к тому, что в отдельных источниках измеряют коэффициент нелинейных искажений (КНИ), а именуют его коэффициентом гармонических

искажений (КГИ), а в других наоборот [1, 5]. Нередко разночтение или неопределенность возникает и по той причине, что оба коэффициента в отечественной литературе приводятся единой аббревиатурой в виде THD (*Total Harmonic Distortion*) без дополнительных поясняющих индексов.

В силу многообразия применяемых терминов (до 6-7), как при написании научных статей, так и при ознакомлении с научной литературой, нередко возникает вопрос, что же в действительности приводится в работах и насколько приводимые значения соответствует применяемому автором термину [5, 7, 8].

В ГОСТ 32144-2013 приводится термин «коэффициент гармонических составляющих», который в немалой степени ассоциируется с термином «коэффициент гармонических искажений», который имеет другое смысловое содержание. Все это требует проведения систематизации и унификации термина – показателя качества электроэнергии на основе более детального изучения данного вопроса.

Согласно нормативному документу [9] коэффициент нелинейных искажений определяется по формуле:

$$\mathrm{THD}_f = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + ... + I_n^2}}{I_1} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где I_i – действующее значение тока i-й гармоники; I_1 – действующее значение тока основной гармоники; n – номер гармоники.

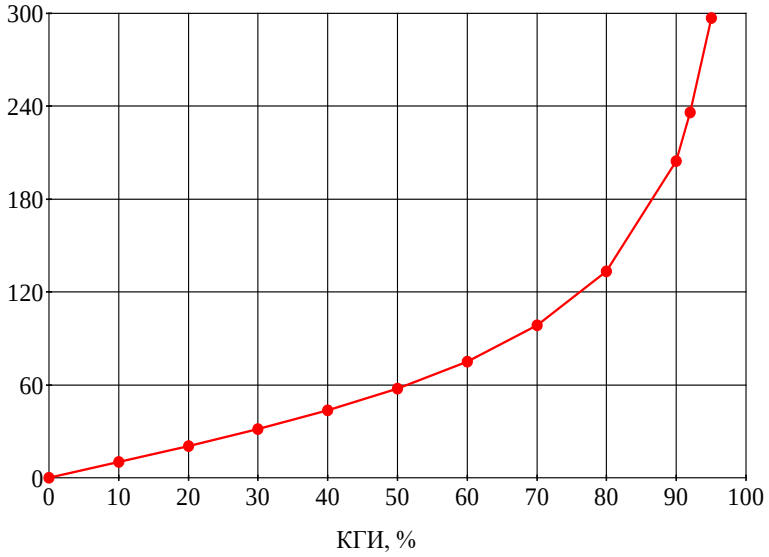
Обоснование необходимости в применении только коэффициента нелинейных искажений в научной и нормативной документации практически отсутствует. Для внесения ясности приводим формулу, по которой ранее вычислялся КГИ [1, 6]:

$$\mathrm{THD}_r\ (\mathrm{КГИ}) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + ... + I_n^2}}{I} \cdot 100\ \%. \qquad (2)$$

Связь между КНИ (THD_f) и КГИ (THD_r) описывается выражением [1]:

$$\mathrm{THD}_f = \frac{\mathrm{THD}_r}{\sqrt{1 - \mathrm{THD}_r^2}}. \qquad (3)$$

На основе данной формулы, имея значение THD_r, всегда можно результаты измерения выразить через THD_f. Поскольку на практике трудно оперативно сравнивать значение одного показателя относительно значения другого, то на основе выражения (3) построен график (см. рисунок), упрощающий задачу.



Взаимосвязь между коэффициентом гармонических искажений (THD_r) и коэффициентом нелинейных искажений (THD_f)

Из данного рисунка следует, что если THD_r изменяется в пределах от 0 до 100 %, то THD_f изменяется в значительно больших пределах, то есть данный показатель обладает большей чувствительностью, что имеет большее практическое значение при изучении параметров входного тока целого ряда устройств (компьютер, телевизор, люминесцентная лампа с ПРА и светодиодная лампа) не столько с нелинейным их характером, сколько с выраженным импульсным характером входного тока [10–12]. Выражения (1)–(3) представлены, исходя из условия, что кривые напряжения питания и входного тока симметричны относительно нулевой линии.

При небольших значениях THD_f (до 20…25 %) он практически равен THD_r. При КНИ > 40…50 % он начинает заметно отличаться от КГИ. При значении THD_r равному 90…95 %, он соответствует значению THD_f уже равному 200…300 %.

Таким образом, во избежание разночтения, в дальнейшем рекомендуется пользоваться единым термином для характеристики уровня искажения синусоидальности тока или напряжения – коэффициентом нелинейных искажений (КНИ) и английским его написанием в виде THD_f.

Источники

1. «Коэффициент нелинейных искажений (КНИ, THD), коэффициент гармонических искажений (КГИ, Кг, THDr) – различные подходы к определению» [Электронный ресурс]. URL: https://www.стабилизатор.рф/reference/tech-articles/231-thd-special (дата обращения: 25.02.2021).

2. Управление качеством электричества / И.И. Карташев [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.

3. О коэффициенте мощности светодиодных ламп (в связи с требованиями ГОСТ Р 55705-2013) / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Светотехника. 2018. № 1. С. 49–51.

4. Резников Г.И. Курс основных радиотехнических измерений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Связь, 1966. 423 с.

5. Теория электрических и магнитных цепей. Электрические измерения: учеб. пособие для вузов / П.А. Бутырин [и др.]. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. 505 с.

6. URL: 380V.ru/refrenc/tech-articles/2331-thd-special (дата обращения: 25.02.2021).

7. Тукшаитов Р.Х., Шириев Р.Р. К устранению разночтения и неопределенности в представлении коэффициента мощности светодиодных осветительных приборов // Практическая силовая электроника. 2019. № 73. С. 32–36.

8. О величине погрешности измерения коэффициента мощности светодиодных ламп в течение суток в зависимости от коэффициента искажения напряжения электросети / Р.Х. Тукшаитов [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы физики: матер. X Междунар. науч.-техн. конф. 2017. С. 18–22.

9. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2015. 41 с.

10. Тукшаитов Р.Х., Шириев Р.Р. Определение уровня нелинейных искажений входного тока разных типов нагрузок на основе измерения коэффициента мощности и его сомножителя cosφ // Практическая силовая электроника. 2018. № 72. С. 30–36.

11. Высшие гармоники в сетях низкого напряжения с элементами силовой электроники. Опыт непрерывного мониторинга / Л.Л. Хруслов [и др.] // Управление качеством электрической энергии: матер. Междунар. науч.-практ. конф. М., 2018. С. 181–186.

12. Тукшаитов Р.Х., Сагдиев Р.К., Роженцова Н.В. Определение характера изменения длительности входного тока выпрямителя методами моделирования и ее влияния на cosφ и коэффициент мощности // Практическая силовая электроника. 2020. № 77. С. 45–48.

УДК 621-311.42

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КРУПНЫХ ПОДСТАНЦИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ТЕПЛА ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А.С. Сигель[1], М.В. Попова[2]
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
[1]frodomoget@gmail.com, [2]kovmasha21@yandex.ru
Науч. рук. Е.Г. Зенина

Рассмотрен один из способов повышения КПД трансформаторной подстанции за счет модернизации системы охлаждения силовых масляных трансформаторов и последующей, энергоэффективной с точки зрения функционирования предприятия, утилизации вторичного тепла на обогрев подстанции и близлежащих населенных пунктов.

Ключевые слова: модернизация системы охлаждения трансформаторов, повышение энергоэффективности трансформаторной подстанции, теплоснабжение удаленных населенных пунктов, теплонасос.

Силовые масляные трансформаторы одни из основных элементов электротехнических установок. Стабильность и безопасность их эксплуатации напрямую влияет на качество поставляемой потребителям электроэнергии. Нормативный срок эксплуатации трансформаторов, как правило, не превышает 25–30 лет, а стоимость электроустановки весьма высока, поэтому для энергопредприятий естественно стремление продлить срок службы оборудования. Одним из путей решения этой задачи является модернизация систем охлаждения силовых трансформаторов. Существующие системы зачастую не обеспечивают достаточной эффективности отвода тепла, что приводит к сокращению рабочего ресурса и снижению надежности и мощности работы трансформатора.

Также стоит отметить, что даже при наличии эффективной системы охлаждения, отведенное тепло никак не утилизируется, рассеиваясь в окружающую среду. Современные трансформаторы имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия, который в зависимости от мощности может достигать 99 % и более. Однако при работе трансформатора часть трансформируемой электромагнитной энергии теряется и выделяется в виде тепла, снижая полезное действие установки [2]. Тепловые потери в трансформаторах большой мощности составляют сотни киловатт, и на трансформаторных подстанциях различной мощности могут достигать 2 % от номинальной мощности каждого трансформатора [1]. Например потери электроэнергии на холостом ходу трансформаторов в 2010–2012 гг. составили 1700…1734 млн кВт·ч в год. Переменные потери за тот же период находились в диапазоне 1100…1300 млн кВт·ч в год. В сумме годовые потери электроэнергии в силовых трансформаторах и автотрансформаторах составляют 2800…3000 млн кВт·ч, или 12,4…13,5 % от суммарных потерь электроэнергии [3]. И так как в настоящее время вопросам энергосбережения и энергоэффективности предприятий уделяется пристальное внимание, становится актуальным вопрос возможности модернизации систем охлаждения силовых трансформаторов с возможностью дальнейшего использования отведенного тепла, к примеру, на отопительные нужды самой подстанции, а также близлежащих населенных пунктов. Разработка и внедрение способа усовершенствования систем охлаждения и отопительной системы с теплоносителем, получаемым благодаря отведенному от трансформаторов теплу, позволит повысить мощность каждого трансформатора, КПД всей подстанции, а также обеспечить дешевый способ отопления и горячего водоснабжения удаленных от ТЭЦ и котельных некрупных потребителей.

В качестве решения данной задачи рассмотрим использование источника холодной воды (далее – ИХВ) для централизованного снабжения трансформаторов холодной водой и их охлаждения, в связке с тепловым насосом (далее – ТН) для отбора тепла трансформаторов и последующей его утилизацией на бытовые нужды.

Принципиальная схема предлагаемой системы включает в себя ИХВ совместно с системой трубопровода (рис. 1). Трубопровод состоит из первичной трубы большого диаметра, которая на подходе к блоку трансформаторов разветвляется на вторичные трубы меньшего диаметра сечения. Каждая из вторичных труб идет к «своему» трансформатору. В зависимости от конструктивного исполнения, мощности и индивидуальности схем сборки, установка тепловых насосов необходима на каждый, либо на связку из двух-трех силовых трансформаторов. После нагрева

воды в теплообменнике, вторичные трубы вновь объединяются в основную трубу, подключенную к отопительной системе потребителя-подстанции, либо к теплоцентрали, работающей на близлежащие населенные пункты.

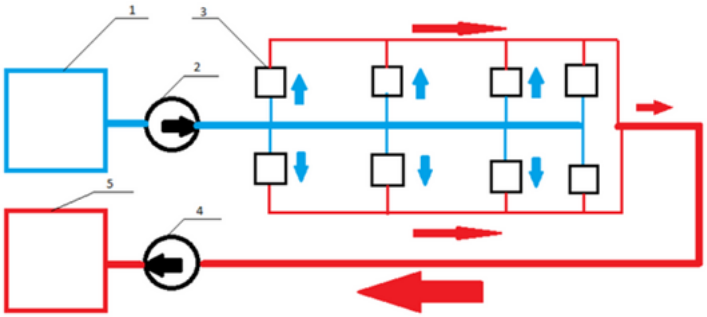


Рис. 1. Принципиальная схема централизованного снабжения трансформаторов с использованием ИХВ: *1* – источник холодной воды; *2* и *4* – насосы; *3* – трансформатор; *5* – потребитель

Так как полученный теплоноситель можно использовать и для отопления, и для горячего водоснабжения, основную трубу снова следует разделить на несколько меньших, в зависимости от количества потребителей. Следует учесть, что возвращаемый по отопительному контуру теплоноситель не будет соответствовать требованиям, предъявляемым к охлаждению силовых трансформаторов, так как будет иметь температуру выше 25 °С. Исправить это можно путем установки градирен вентиляторного типа. Данные градирные установки более компактны и экономичны, чем градирни башенного типа, а также обеспечивают осуществимость расширения подстанции за счет возможности последующей установки их большего количества. После охлаждения в градирне, вода по дополнительной системе трубопроводов вновь поступает в основную охладительную систему.

В роли ИХВ могут служить скважины, реки и озера или искусственные бассейны. Основным ограничением по выбору ИХВ является соответствие температуры воды требованиям по охлаждению трансформаторов, как в холодный, так и в теплый период года.

Производить отбор тепла летом достаточно в простом теплообменнике, установленным на одном фундаменте с трансформатором. Вода от ИХВ по системе трубопровода будет проходить через теплообменник масло – вода, где масло будет циркулировать из верхней части бака трансформатора путем перекачки его масляными насосами и производить теплообмен с водой (рис. 2). При температуре наружного воздуха от +5 до −10 °С практически достижимые температуры воды на выходе из теплообменника находятся в диапазоне 45…55 °С [3].

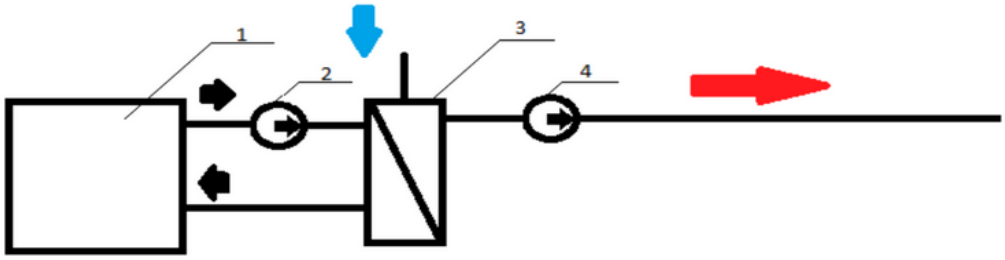


Рис. 2. Принципиальная двухконтурная схема отбора тепла через теплообменник масло-вода: *1* – трансформатор; *2* – масляный насос; *3* – теплообменник масло-вода; *4* – водяной насос

В зимний период использование ТН обуславливается невозможностью теплообменника обеспечить нормативную температуры горячей воды для ЖКХ. Для подключения ТН используется дополнительный третий контур (рис. 3).

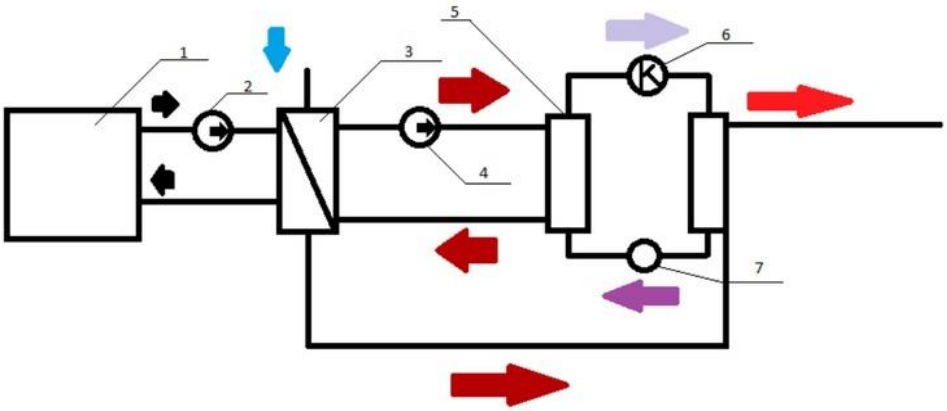


Рис. 3. Принципиальная схема отбора тепла, при помощи теплового насоса: *1* – трансформатор; *2* – масляный насос; *3* – теплообменник масло-вода; *4* – водяной насос; *5* – испаритель; *6* – компрессор; *7* – дроссельный вентиль

Вода по системе трубопровода (рис. 3) попадает в теплообменник масло-вода *3*, где происходит охлаждение трансформатора *1*. Затем вода из теплообменника при помощи водяного насоса *4* попадает в испаритель питательного насоса *5* и передает тепло промежуточному теплоносителю, на пример фреону. Фреон при контакте с водой начинает кипеть, и посредством насоса перекачивается в компрессор *6*. После сжатия компрессором и конденсации в конденсаторе теплового насоса температура фреона повышается, и его теплота передается воде, подаваемой потребителям. Охлаждение фреона происходит в дроссельном вентиле *7*. При температуре масла в 20…30 °С, температура воды достигает значений 60…70 °С [3].

Такая система отбора тепла с использованием ТН очень маневренная, что позволяет в случае резкой необходимости отключать или подключать его без каких-либо долгосрочных промежутков.

Таким образом, предложенная система «охлаждение трансформатора – отопление потребителя» дает возможность обеспечения малых населенных пунктов, а также самих подстанций централизованной системой отопления, в комплексе с ростом энергоэффективности работы предприятий с силовым оборудованием.

Источники

1. ТИ-075-2008. Подстанции комплектные трансформаторные типа КТП-СЭЩ-А КТП-СЭЩ-П КТП-СЭЩ-СН напряжением до 10 кВ мощностью 250–315 кВА. Самара, 2018. 77 с.

2. Гридин С.В., Петренко А.Ф. Энергоэффективность способов утилизации отработанного тепла систем охлаждения силовых трансформаторов [Электронный ресурс] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2013. № 7 (113). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnost-sposobov-utilizatsii-otrabotannogo-tepla-sistem-ohlazhdeniya-silovyh-transformatorov (дата обращения: 06.03.2021).

3. Воротницкий В.Э. Системы утилизации тепла трансформаторов и автотрансформаторов 220−750 кВ // Энергия единой сети. 2015. № 6 (17). С. 32–42.

УДК 621.316

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Р.Р. Яппаров
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
hatakesasuke2015@yandex.ru
Науч. рук. Н.В. Роженцова

Рассматриваются способы энергосбережения жилых помещений с помощью системы «умный дом». Проведён анализ тарифных планов стоимости электроэнергии в Республике Татарстан.

Ключевые слова: система «Умный дом», дифференцированный тариф, энергосбережение, энергоэффективность.

Анализируя ситуацию с тарификацией электроэнергии в Республике Татарстан выявляется тенденция роста стоимости за коммунальные услуги. Рассматривая период с 1 января 2017 г. по 1 января 2021 г. тарифный план за электроэнергию повысился с 3,43 руб./кВтч до 3,93 руб./кВтч. Данный фактор заставляет задуматься об оптимизации использования энергоресурсов.

Наиболее эффективными способами экономии являются следующие методы:

– экономия потребляемой энергии;

– использование энергии с учётом дифференцированного тарифного плана.

Экономия ресурсов реализуется множественными способами:

– переходом на светодиодные лампы, с регулируемым световым потоком [1];

– поддержание оптимального уровня температуры в комнате/доме; отключение электроприборов в период их неэффективного использования [2] и т. д.

Реализация данных методов возможна при помощи использования системы «умный дом». Данная технология позволяет с помощью пульта или же голосовой команды изменить яркость лампочек, находящихся в комнате, в зависимости от рода проводимых занятий. Например, для учёбы необходим яркий тёплый свет, а для просмотра телевизора необходим тусклый свет или вовсе его отсутствие.

Дифференцированные тарифные планы позволяют использовать энергию в периоды её пониженной стоимости. Дифференциация стоимости электроэнергии в разные периоды времени связана с пиковыми нагрузками, во время которых большая часть потребителей используют энергоресурсы.

В таблице [3] представлены дифференциальные тарифы в Республике Татарстан на 2021 г.

При переходе на двухставочный или трёхставочный тариф с использованием «умного дома» можно сэкономить стоимость того же количества затраченной энергии. С помощью этой системы можно настроить «Умный дом» так, чтобы самые энергозатратные электроприборы работали в период с самым дешёвым тарифом (в период ночной зоны). Например, запустить стиральную машину, робот-пылесос ночью.

Тарифы на электроэнергию в Казани и Республике Татарстан на 2021 г.

Группы / Тарифы	Городское население	Городское население, проживающее в домах, оборудованных электроплитами и (или) электроотопительными установками	Население, проживающее в сельских населенных пунктах	Граждане, владеющие отдельно стоящими гаражами
Цена (тариф) руб/кВтч (с учетом НДС) с 1 января 2021 г. по 30 июня 2021 г.				
Одноставочный тариф	3,93	2,75	2,75	3,93
Тариф, дифференцированный по двум зонам				
Дневная зона 7:00–23:00	4,52	3,16	3,16	4,52
Ночная зона 23:00–7:00	2,75	1,92	1,92	2,75
Тариф, дифференцированный по трем зонам				
Пиковая зона 7:00–10:00; 17:00–21:00	4,79	3,35	3,35	4,79
Полупиковая зона 10:00–17:00; 21:00–23:00	3,93	2,75	2,75	3,93
Ночная зона 23:00–7:00	2,75	1,92	1,92	2,75

В заключении можно отметить, что по оценкам экспертов технология «умного дома» позволяет экономить 30 % от стоимости энергоресурсов ежемесячно [4]. Однако стоимость внедрения подобных систем является дорогостоящей. Оценочная стоимость реализации системы «Умный дом» в жилых помещениях составляет от 1,5 тыс. руб. за 1 $м^2$ [4]. Но в связи цифровизацией общества предполагается дальнейшее удешевление и доступность данной технологии.

Источники

1. Савин Н.А., Денисова А.Р., Афонина Н.К. Энергоэффективная система автоматического регулирования светового потока светодиодных светильников // Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: матер. XV Всерос. открытой молод. науч.-практ. конф. Казань, 2020. С. 75–78.

2. Булатова В.А. Интеллектуальная автоматизированная система энергосбережения «Умный дом» // Эпоха науки. 2015. № 4. С. 111.

3. Действующие тарифы на электрическую энергию на первое полугодие 2021 г. для населения [Электронный ресурс] // Татэнергосбыт URL: https://tatenergosbyt.ru/people/tariffs/ (дата обращения: 28.02.2021).

4. Вопрос: Как «умный дом» экономит электричество [Электронный ресурс]. URL: https://www.houzz.ru/statyi/vopros-kak-umnyy-dom-ekonomit-elektrichestvo-stsetivw-vs~126349072 (дата обращения: 28.02.2021).

Секция 7. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

УДК 621.3.064

РАСЧЁТ СЕЛЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКС PSS SINCAL

М.Ф. Агзамов[1], Р.В. Кинзебаева[2], Э.Ф. Хакимзянов[3], М.Н. Симонова[4]
[1,2,3,4]ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие» г. Казань
[2,3]ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» г. Казань
[1,3,4]ФГБОУ ВО «КГЭУ» г. Казань
agzamovmf@energo-razvitie.ru

Приведен расчёт селективности устройства релейной защиты типа СИРИУС-2-Л, для распределительной электрической сети 6 кВ. В качестве программного инструмента выбрана платформа компании Siemens – PSS Sincal.Для проверки и визуализации выбрана действующая схема Азнакаевского РЭС, причём уставки реле настроены в соответствии с предоставленными данными сетевой компании. Вычисления выполнены в соответствии с общепринятой методикой, согласно [1]. Селективность срабатывания отражает диаграмма времятоковых характеристик, с указанием на схеме зоны отключения.

Ключевые слова: релейная защита, PSS Sincal, координация защит, времятоковая характеристика, селективность.

Введение

В распределительных сетях 6–110 кВ применяются такие токовые защиты, как токовая отсечка (ТО), максимально-токовая (МТЗ) и защита от перегрузки, отличающимися друг от друга способами обеспечения селективности. ТО ограничивает зону действия выбором уставки по току и захватывает более 20 % от всего защищаемого участка. МТЗ – это защита, ступень селективности которой отстраивается от предыдущего устройства защиты. В зависимости от предъявляемых требований различают четыре вида МТЗ: с независимой от тока выдержкой времени, с зависимой от тока выдержкой времени с ограниченно-зависимой от тока выдержкой времени и с ограниченно-зависимой от тока выдержкой времени.

Методика расчёта уставок токовых защит производится согласно утверждённым нормативам, представленным в пособиях М.А. Шабада. Для выбора тока срабатывания МТЗ основным требованием является надёжное отключение на защищаемом участке, с учётом следующих условий [2]:

1) защита не должна приходить в действие от тока нагрузки, самозапуска электродвигателей;

2) токовые реле, сработавшие при КЗ в сети, должны надёжно возвращаться в исходное положение после отключения при оставшемся в защищаемой линии рабочем токе.

Цель исследования – оценить точность настройки устройств релейной защиты в распределительной сети 6 кВ. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1) создать цифровую модель в программном комплексе PSS Sincal;

2) смоделировать симметричное КЗ в середине участка защищаемой ЛЭП;

3) провести проверку селективности срабатывания защиты;

4) выполнить корректировку уставок защит с целью улучшения времятоковых характеристик (при необходимости).

Основная часть

Расчёт повреждения производится в программном комплексе PSS Sincal. Имитируется симметричное трёхфазное КЗ в конце защищаемой линии. Фидер для анализа выбран, как наиболее нагруженный, защита стоит типа СИРИУС-2-Л. Устройство защиты предназначено для реализации функций релейной защиты и автоматики присоединений напряжением 6–35 кВ. Вычисление токов короткого замыкания в PSS Sincal производится в соответствии с ГОСТ Р 52735-2007. Времятоковая характеристика терминала выводится в виде диаграммы. Зависимость тока от времени настраивается для каждого вида защит в соответствии с руководством по эксплуатации этого устройства. Программный комплекс позволяет использовать уже встроенный характер зависимости характеристики. Для более наглядного представления весь рассматриваемый участок разделён на зоны, которая выделяется определённым цветом на графике (схеме сети), в соответствии со своим статусом срабатывания (рис. 1).

Для проверки уставки тока срабатывания защиты вводится коэффициент чувствительности, как отношение минимального тока КЗ к току срабатывания защиты. Неправильная настройка коэффициента чувствительности может привести к неоправданным отключениям в сети. Следовательно, проблема неселективного срабатывания в разветвлённой сети остаётся актуальной.

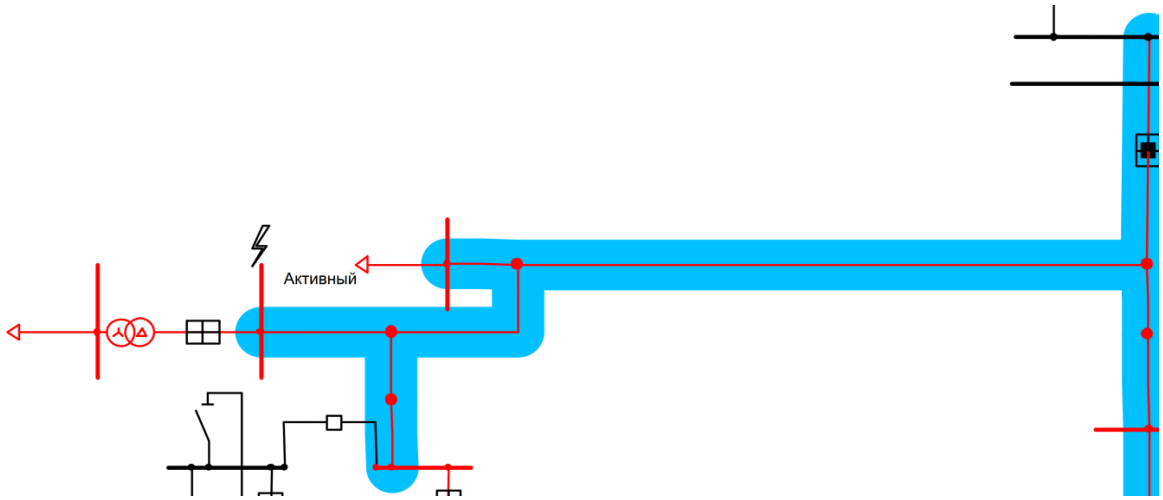


Рис. 1. Графическое выделение рассматриваемой зоны защиты

При анализе координации защит необходимо определить место и вид моделируемого КЗ. Далее производиться расчёт повреждения. Если защита срабатывает, то на схеме сети наблюдается соответствие между временем срабатывания выключателя и временем устранения повреждения, с учётом готовности привода (рис. 2).

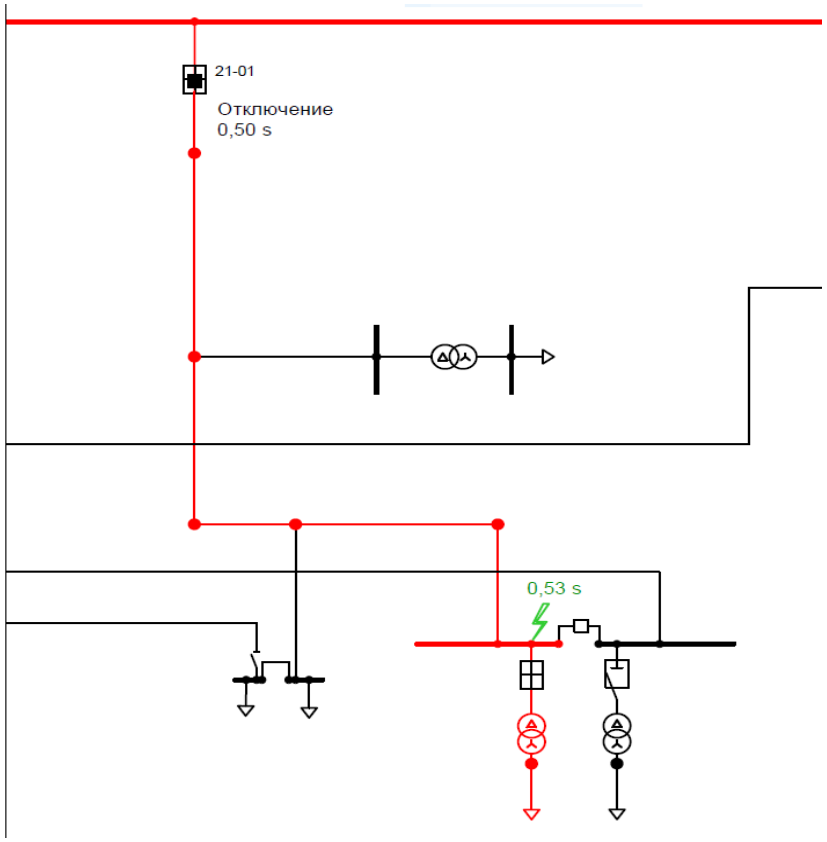


Рис. 2. Фрагмент участка сети в режиме проверки координации устройства релейной защиты

Фрагмент разветвлённой сети 6 кВ представлен на рис. 3. МТЗ реализована на базе терминалов Сириус-2-Л, предназначенных для выполнения функций релейной защиты и автоматики присоединений напряжением 6–35 кВ. Действующая уставка токовых защит представлена на рис. 3 красным цветом, при этом на объекте выведена основная быстродействующая ступень и введены только две ступени МТЗ с выдержками времени 0,5 с. и 60 с.

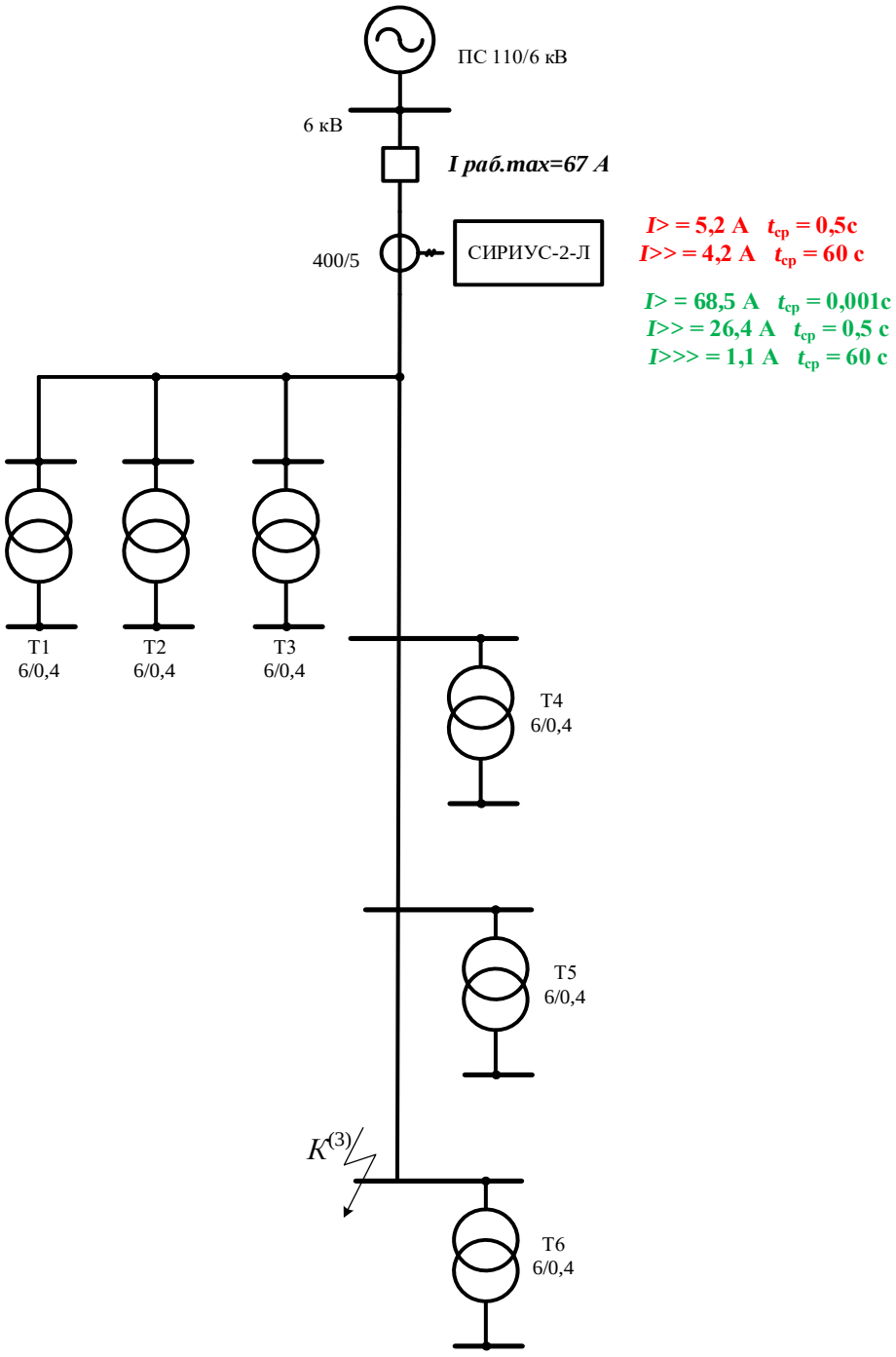


Рис. 3. Фрагмент схемы анализируемой развлетлённой сети 6 кВ

Для проверки селективности моделируется симметричное трёхфазное КЗ в конце защищаемой линии, на шинах подстанции ТП-6. При этом ток моделируемого повреждения составляет 4,3 кА, а отключение линии происходит с выдержкой времени 0,53 с (рис. 4). Защита сработала через 0,53 с с учётом времени готовности привода выключателя (0,03 с). Аналогичное время срабатывания наблюдается и при повреждении вблизи установки защиты, из которого следует, что действующие уставки некорректны.

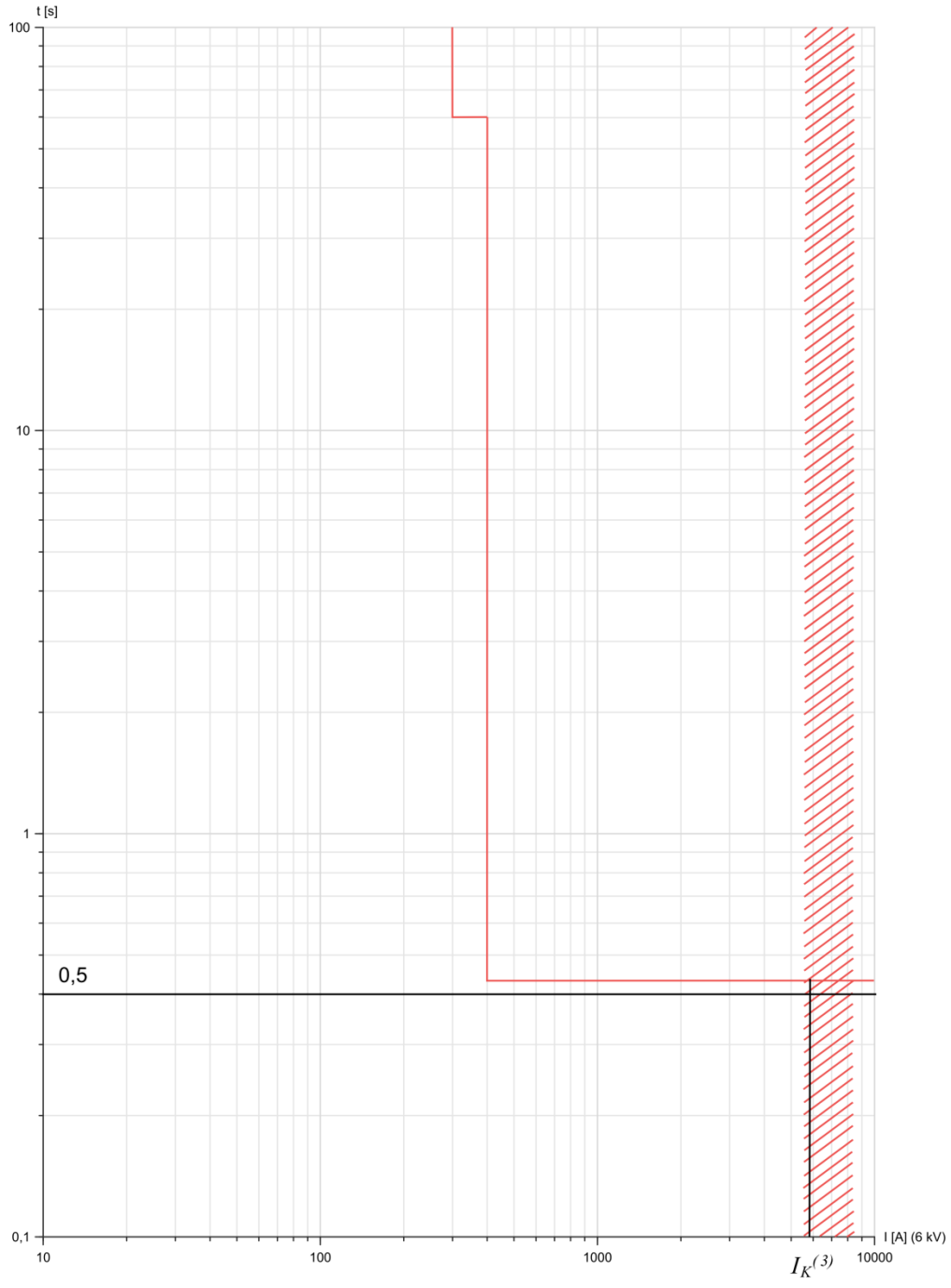


Рис. 4. Времятоковая характеристика модели устройства релейной защиты

Комплексная проверка защиты также возможна с помощью встроенного модуля «Анализ защиты», который позволяет в автоматическом режиме проверить срабатывание защиты при условии аварийных режимов в различных точках анализируемой сети. Результаты анализа защиты в данном случае приводятся в виде таблицы, где зонами отмечены участки от места КЗ, а повреждения имитируются в диапазоне от 1 до 99 % участка (табл. 1).

Таблица 1

Анализ координации защит рассматриваемого участка
(при действующих уставках) в PSS Sincal

Зона	Начало	Конец	1 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	99 %
Зона 1	ПС	ТП-1	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
		ТП-2	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
		ТП-3	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
		ТП-4	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53

Исходя из проведенных расчетов анализа действия защит выявлено, что действующие уставки защиты не обладают быстродействием при близких КЗ. Как видно из рис. 5, повреждения на линии отключаются с временем 0,53 с.

Для повышения быстродействия и селективности срабатывания релейной защиты произведена коррекция уставок на основе общепринятых рекомендаций к выбору уставок. Так, была введена:

– первая ступень защиты с уставкой, равной 68,5А, время срабатывания составило 0,001 с;

– вторая ступень защиты с уставкой, равной 26,4 А и временем срабатывания 0,5 с;

– защита от перегрузки с уставкой, равной 1,1 А и временем срабатывания 60,0 с.

Времятоковые характеристики защиты представлены на рис. 5. Анализ координации защиты показал, что в режиме повреждения в наиболее удаленной точке защищаемого участка сети, срабатывает вторая ступень с выдержкой времени 0,53 с, но при близких повреждениях время срабатывания защиты составляет 0,03 с.

Результаты проверки действия защиты с измененными уставками приведены в табл. 2. Как видно, выделяются участки сети, где защита отключает за 0,031 с, что существенным образом повышает эффективность действия устройства релейной защиты.

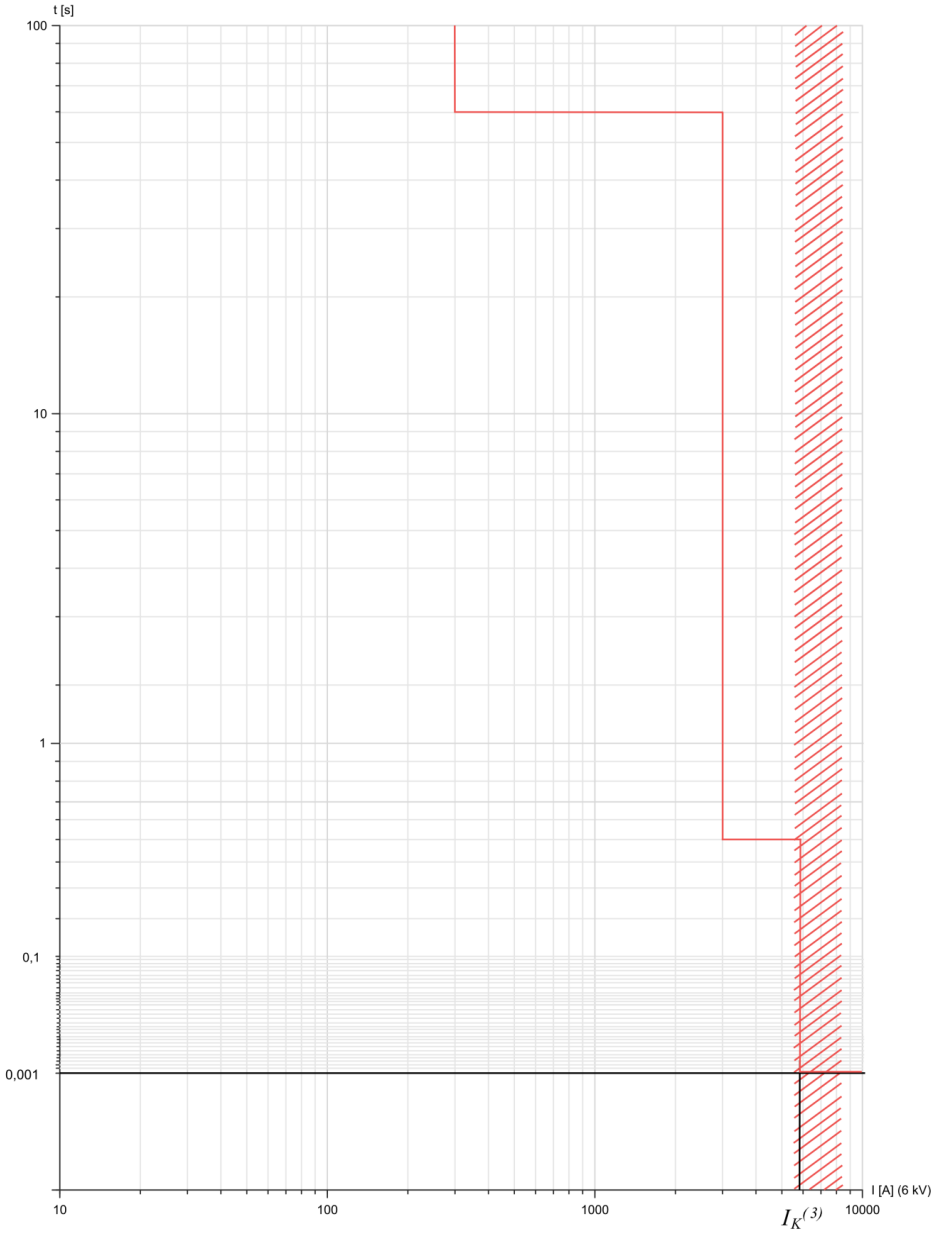


Рис. 5. Времятоковая характеристика сработавшей защиты после пересчёта уставок

Таблица 2

Анализ координации защит рассматриваемого участка
после пересчёта уставок в PSS Sincal

Зона	Начало	Конец	1 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	99 %
Зона 1	ПС	ТП-1	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,530
		ТП-2	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
		ТП-3	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,530	0,530	0,530
		ТП-4	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,530	0,530	0,530	0,530

Таким образом, использование встроенных модулей по проверке действия устройств релейной защиты позволяет производить проверку селективности защит при изменениях уставок.

Заключение

При проектировании системы защиты распределительной сети необходимо обеспечить быстродействие срабатывания. PSS Sincal позволил смоделировать повреждение и улучшить надёжность электрической сети, путём уменьшения времени отключения устройств. Модуль координации защит наглядно отображает время отключения согласно своему участку. Каждая зона в соответствии со своим статусом отключения выделяется определённым цветом, как на схеме, так и в самой таблице результатов. В итоге, можно достаточно быстро проработать слабые места и актуализировать действующую модель сети.

Источники

1. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007. 36 с.

2. Хакимзянов Э.Ф., Кузьмин И.Л., Губаев Д.Ф. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие. Казань: КГЭУ, 2013. 175 с.

УДК 621.311.1

АВТОМАТИКА НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ХОЛОСТОГО ХОДА ТРАНСФОРМАТОРОВ

А.А. Ворошилов НГТУ,
г. Нижний Новгород
Науч. рук. А.Л. Куликов
pinusaristata@mail.ru

Вопрос снижения потерь в электрических сетях стоит достаточно остро. В качестве одного из решений, предложен вариант снижения потерь холостого хода на понизительных подстанциях путем отключения недогруженных трансформаторов и перевода части нагрузки на трансформаторы, оставшиеся в работе, при помощи автоматики нормального режима.

Ключевые слова: автоматика, потери х.х., сокращение потерь, тренд, гипотеза.

Проблема сокращения потерь электроэнергии в электрических сетях РФ является весьма актуальной. Согласно Перечню приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ а также перечню критических технологий РФ [1], энергоэффективность является приоритетным направлением развития науки, технологий и техники, а технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии - критической технологией РФ.

Проблема сокращения потерь электроэнергии может быть решена сочетанием двух основных подходов [2]:

1) весьма дорогостоящей модернизацией всего электросетевого комплекса за счет применения энергоэффективного оборудования и технологий;

2) оптимальным управлением существующим оборудованием электросетей.

Во втором подходе наиболее эффективным методом снижения потерь на понизительных подстанциях (ПС) является отключение трансформаторов в часы минимума нагрузки. При эксплуатации трансформаторов ПС с низким средним коэффициентом загрузки доля потерь холостого хода значительно возрастает и коэффициент полезного действия подстанции снижается. Соответственно, для снижения потерь холостого хода и повышения экономичности передачи электроэнергии необходимо повысить средний коэффициент загрузки трансформаторов за счет временного отключения части трансформаторов подстанции и перевода всей нагрузки на трансформаторы, оставшиеся в работе. В настоящее время такой метод снижения потерь выполняется оперативным персоналом. Так же, существуют устройства, повышающие коэффициент загрузки трансформаторов, но они имеют некоторые недостатки, не позволяющие их активное применение [3].

Поэтому целью данной работы является разработка автоматики отключения силовых трансформаторов на ПС с целью снижения технологических потерь.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать [4]:

1) метод выбора числа работающих трансформаторов в произвольно заданной трансформаторной группе ПС по критерию минимума технических потерь электроэнергии;

2) дополнительные критерии выбора и метод многокритериальной оптимизации;

3) метод прогнозирования тренда графика нагрузки;

4) программно-аппаратную архитектуру данной системы управления.

На основе современных интеллектуальных устройств (ИЭУ или IED) возможно создание новой автоматики нормального режима – автоматики отключения силовых трансформаторов, выполняющей переключения силовых трансформаторов на ПС в зависимости от текущей трансформируемой мощности с целью снижения потерь электроэнергии.

Очевидно, что для максимально эффективного функционирования такой автоматики нормального режима требуется отслеживание тренда графика нагрузки ПС. Прогнозирование необходимо для исключения ложных и излишних переключений при изменениях нагрузки (суточных, сезонных и др.) [5].

Перспективными являются адаптивные методы прогнозирования тренда графика нагрузки, основанные на критериях принятия решения статистической теории обнаружения [6].

Основные компоненты простейшей системы распознавания тренда графика нагрузки представлены на рис. 1. Устройство защиты (ИЭУ) «наблюдает» с заданной частотой за параметрами режима секции (или отдельного присоединения) – током, напряжением и др. Используя полученные значения параметров наблюдений и заданное правило решения, ИЭУ классифицирует наблюдаемый режим как режим с нисходящим трендом графика нагрузки или как режим с восходящим трендом графика нагрузки. Соответственно распознанному тренду ИЭУ принимает решение либо о блокировании перевода нагрузки на один силовой трансформатор ПС, либо о его разрешении.

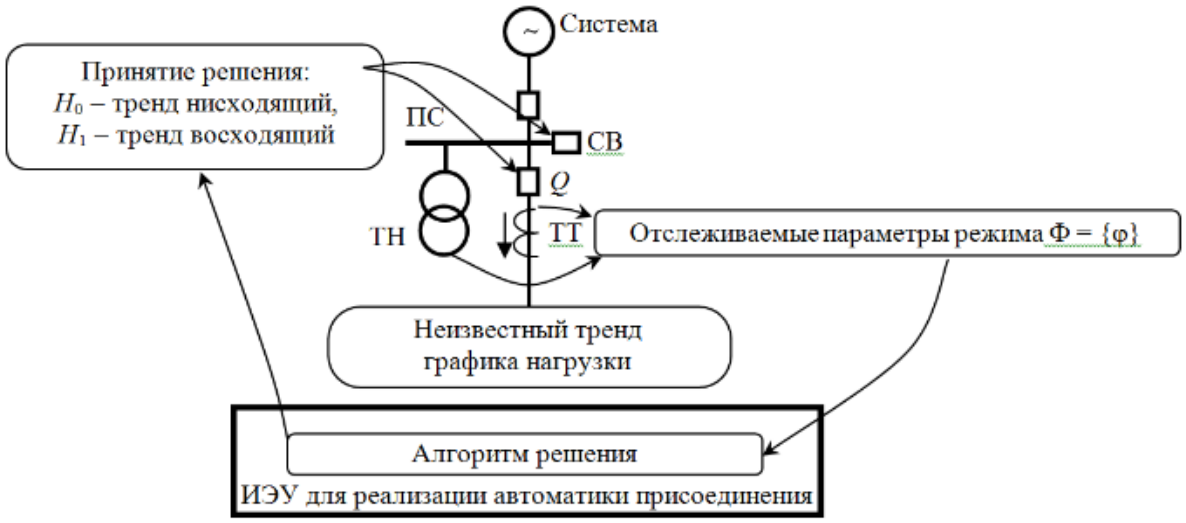


Рис. 1. Элементы двухгипотезной задачи распознавания тренда графика нагрузки присоедения (секции шин)

Основная идея статистического подхода, основанного на методах проверки гипотез, применительно к рассматриваемой автоматике отключения силовых трансформаторов, заключается в следующем (рис. 2).

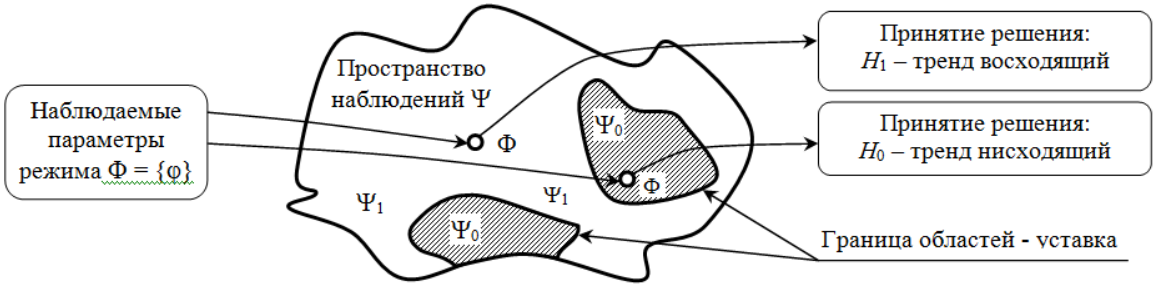


Рис. 2. Разбиение области решений – получение правила решения

Пусть устройство защиты (ИЭУ) [4] «наблюдает» с заданной частотой за параметрами режима. Пусть пространство наблюдаемых параметров является многомерным. Тогда правило решения представляет собой способ разбиения пространства наблюдений Ψ на две части: Ψ_0 и Ψ_1. Если текущее наблюдение Ф попадает в область Ψ_0, то однозначно принимается гипотеза H_0, если текущее наблюдение Ф попадает в область Ψ_1, то принимается гипотеза H_1. Граница, разделяющая Ψ на две части Ψ_0 и Ψ_1, или правило получения границы будет являться уставкой автоматики.

Выводы

Эффективным методом снижения потерь является временное отключение недогруженных трансформаторов на понизительных подстанциях. Для этого целесообразно использование автоматики нормального режима, выполняющей переключения в зависимости от текущей трансформируемой мощности.

С целью устранения излишних переключений и повышения эффективности работы автоматики отключения трансформаторов ПС требуется прогнозировать тренд графика нагрузки.

Перспективными являются адаптивные методы прогнозирования тренда графика нагрузки, основанные на критериях принятия решения статистической теории обнаружения

Источники

1. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федераци [Электронный ресурс]: утв. Указом Президента Рос. Федерации от 7 июля 2011 года № 899. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 23.01.2021).

2. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем. СПб.: Центр подготовки кадров РАО «ЕЭС России», 2001. 389 с.

3. Гуминский А. Н., Евминов Л.И. Устройство управления режимом работы трансформатора // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2009. № 1. С. 72–78.

4. Куликов А.Л., Шарыгин М.В., Ворошилов А.А. Автоматика отключения силовых трансформаторов на понизительных подстанциях в целях снижения технических потерь электроэнергии // Энергетик. 2018. № 5. С. 14–18.

5. Методы прогнозирования электропотребления в распределительных сетях (обзор) / А.М. Абдурахманов [и др.] // Электротехника. 2016. Т. 3, № 1. С. 3–23.

6. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1. Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции / пер. с англ.; под ред. проф. В.И. Тихонова. М.: Советское радио, 1972. 744 с.

УДК 621.315

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОКОЛА SAMPLED VALUES В СИСТЕМАХ РЗА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

С.А. Гиниятов[1], Р.Г. Мустафин[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]Aisela06@mail.ru, [2]Ramil.Mustafin@gmail.com

Выполнен анализ использования протокола Sampled Values (SV) при передаче мгновенных выборок аналоговых значений от трансформаторов тока и напряжения. Представлена «традиционная» модель передачи данных и цифровая модель по протоколу SV. Описаны свойства передачи данных по протоколу SV.

Ключевые слова: цифровая подстанция, sampled values, протокол передачи данных, МЭК 61850.

Мировая наука четко указывает на прогрессивность развития микропроцессорных устройств релейной защиты по всем направлениям энергетики. Внедрение микропроцессорных технологий в электроэнергетическую отрасль целесообразно и обосновано множеством неоспоримых преимуществ.

Стандарт МЭК 61580 позволил создавать подстанции нового поколения – цифровые, которые должны стать элементами умной сети, а точнее, «интеллектуальной электроэнергетической системы с активно-адаптивной сетью». Внедрение МЭК 61850 дало возможность связать всё технологическое оборудование подстанции единой информационной сетью, по которой передаются не только данные от измерительных устройств к терминалам РЗА, но и сигналы управления.

Стандарт МЭК 61850 «Сети и системы связи на подстанциях», описывает форматы потоков данных, правила описания элементов энергетического объекта, виды информации и свод правил для организации событийного протокола передачи данных. Протокол Sampled Values (МЭК 61850-9-2) – это широковещательный протокол передачи данных, используемый для передачи мгновенных выборок аналоговых значений [1].

Использование протокола МЭК 61850-9-2 (Sampled Values) тесно связано с понятием «шина процесса». Шина процесса – это коммуникационная шина данных, к которой подключены устройства полевого уровня подстанции (измерительные трансформаторы и коммутационные аппараты). Под понятием «шина» подразумевается система передачи данных между устройствами. К шине процесса могут быть подключены как измерительные преобразователи, так и другое оборудование: разъединители, выключатели и т. д. Но наибольшую нагрузку на информационную сеть «шины процесса» производит именно передача мгновенных значений от трансформаторов тока и напряжения (ТТ и ТН).

В «традиционном», нецифровом исполнении цепи, связывающие измерительные трансформаторы тока и напряжения и терминалы релейной защиты и автоматики (РЗА) прокладываются в виде электрических кабелей согласно рис. 1.

Информационная сеть (шина процесса) представлена на рис. 2.

Все сигналы, включая мгновенные значения токов и напряжений, оцифровываются прямо в аппарате и передаются устройствам РЗА в виде цифрового потока данных.

Передача данных по протоколу Sampled Values (SV) имеет следующие особенности:

1. Передача данных выполняется с высокой частотой. Это приводит к возникновению больших объёмов информации, передаваемых по сети. При этом существует возможность выбора различных частот. К примеру, меньшая частота может быть использована для целей релейной защиты и большая частота для контроля качества электрической энергии.

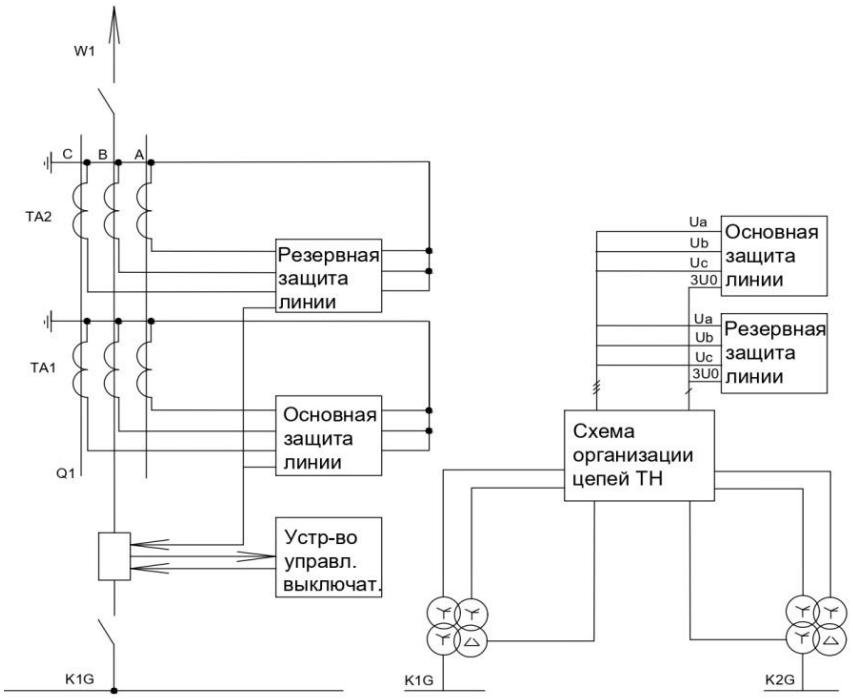


Рис. 1. «Традиционная» схема подключения ТТ и ТН к устройствам РЗА

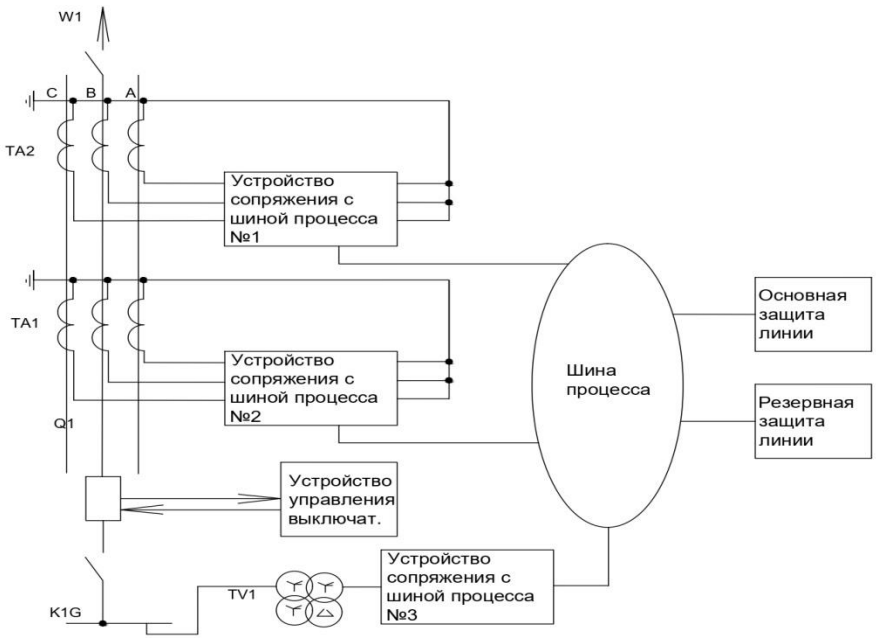


Рис. 2. Схема подключения ТТ и ТН к устройствам РЗА
с использованием шины процесса

2. Потоки SV сообщений передаются быстро. При медленной передаче измерений терминалы РЗА могут вовремя не получить значение тока или напряжения, необходимое для срабатывания защиты, и тогда короткое замыкание или аварийный режим вызовет повреждения электрической сети.

3. Обеспечивается синхронизация по времени измерений, полученных с различных источников одним приёмником (например, значения тока и напряжения от различных устройств сопряжения). При невыполнении данного условия возможна некорректная работа устройств РЗА.

4. Обеспечивается возможность выявления искажений и потерь данных при передаче. Благодаря этому, становится менее вероятным излишнее или ложное срабатывание устройств РЗА.

5. Обеспечивается возможность передачи данных по нескольким адресам, так как один поток данных может быть востребован различными устройствами. Например, данные от устройства сопряжения ТН о напряжении на шинах. Передача потоков мгновенных значений Sampled Values осуществляется в многоадресной рассылке Multicast. Для адресации кадров на канальном уровне используются MAC- адреса.

6. Присутствует гибкость при формировании кадров данных, так как измерения могут поступать как с группы трёхфазных трансформаторов тока или напряжения, так и с комбинированных измерительных преобразователей [2].

Одной из главных особенностей цифровой подстанции является приближение устройств сбора дискретных и аналоговых сигналов и выдачи управляющих воздействий к оборудованию с последующей передачей всей информации, необходимой для функционирования комплексов РЗА и автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП ПС), в цифровой форме. Благодаря этому достигается сокращение длины электрических кабелей и вторичных цепей. Вследствие этого происходит снижение вероятности их повреждения и повышение наблюдаемости вторичных систем. Поэтому, применение протокола Sampled Values является актуальным в условиях развития цифровых технологий в энергетике [3].

Источники

1. IEC 61850-9-2. Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3. 2020. Pp. 6–7.

2. Аношин А.О., Головин А. В. Протокол передачи мгновенных значений тока и напряжения [Электронный ресурс]. URL: http://news.elteh.ru/arh/2013/80/06.php (дата обращения: 28.02.2021).

3. СТО 56947007- 29.240.10.299-2020. Цифровая подстанция: метод. указания по проектированию ЦПС. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2020. 125 с.

УДК 621.31

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С КАБЕЛЬНЫМ УЧАСТКОМ В НАЧАЛЕ ЛИНИИ

А.М. Давлетшина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
dalsu1997@mail.ru
Науч. рук. А.Н. Гавриленко

Рассмотрены дифференциальный и дистанционный принципы определения места повреждения на кабельно-воздушных линиях, когда кабельный участок находится в конце линии, при помощи устройств релейной защиты. Предложены варианты реализации каждого из них, приведены структурные схемы. Сделаны выводы о возможности применения с учетом достоинств и недостатков каждого принципа.

Ключевые слова: место повреждения, исследование методов определения расстояния до мест повреждения линий, кабельные линии.

В настоящее время для определения места повреждения (ОМП) линий электропередачи (ЛЭП) разработано и используется большое количество приборов, основанных на различных принципах действия, такие как ИМФ-3Р, Сириус-2-ОМП, БЭ2704v920 и т.п. Эти приборы с высокой точностью позволяют определить место повреждения на ВЛЭП. Однако, на кабельных линиях электропередачи (КЛ) данные приборы не обеспечивают необходимой точности и не используются. В связи с этим тема определения места повреждения на кабельных и воздушно-кабельных линиях электропередачи особо актуальна. Повреждение и отключение кабельного участка ЛЭП должно сопровождаться запретом автоматического повторного включения (АПВ), в то время как на воздушных ЛЭП имеет место восстановление изоляционного промежутка с последующим успешным АПВ.

Кабельные вставки могут находится в различных участках линии (рис. 1).

В зависимости от конфигурации кабельно-воздушных линий (КВЛ) по количеству и расположению кабельных участков различают:

– один (рис. 1, *а* и *б*) или несколько (рис. 1, *в*) кабельных заходов;

– один (рис. 1, *г*) или несколько удаленных кабельных участков (рис. 1, *д*).

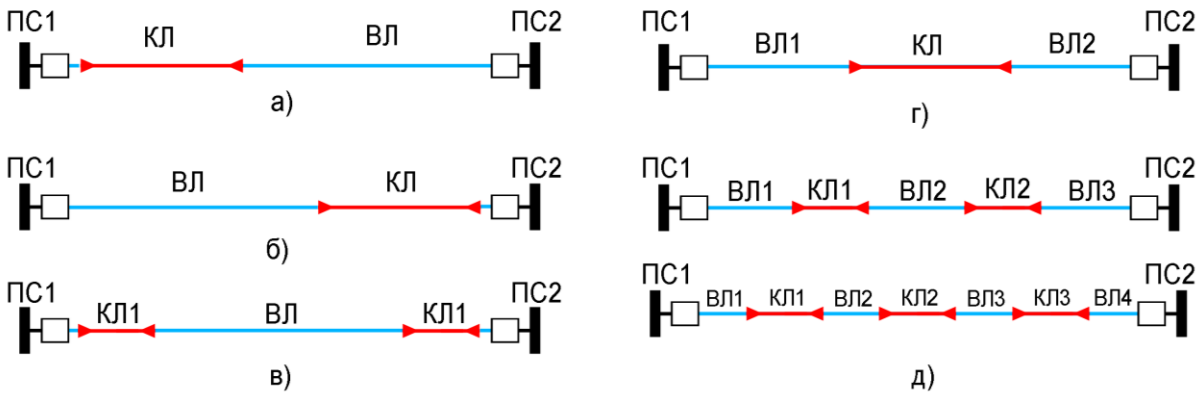


Рис. 1. Конфигурации КВЛ по количеству и расположению кабельных участков

В данной статье рассмотрим принципы определения повреждения на кабельных участках, находящихся в начале линии (рис. 1, *а* и *б*), при помощи устройств релейной защиты.

Первым из них является дифференциальный принцип определения места повреждения на КВЛ (рис. 2). Сутью данного метода является установка дополнительного трансформатора тока (ТТ) в месте окончания кабельного участка. К ТТ в распределительном устройстве (РУ) объекта электроэнергетики и ТТ на ЛЭП подключается дифференциальная защита. Действие данной дифференциальной защиты выполняется на отключении линии с запретом АПВ, остановом ВЧ приемопередатчика защиты с абсолютной селективностью и пуском команды телеотключения на противоположный конец ЛЭП.

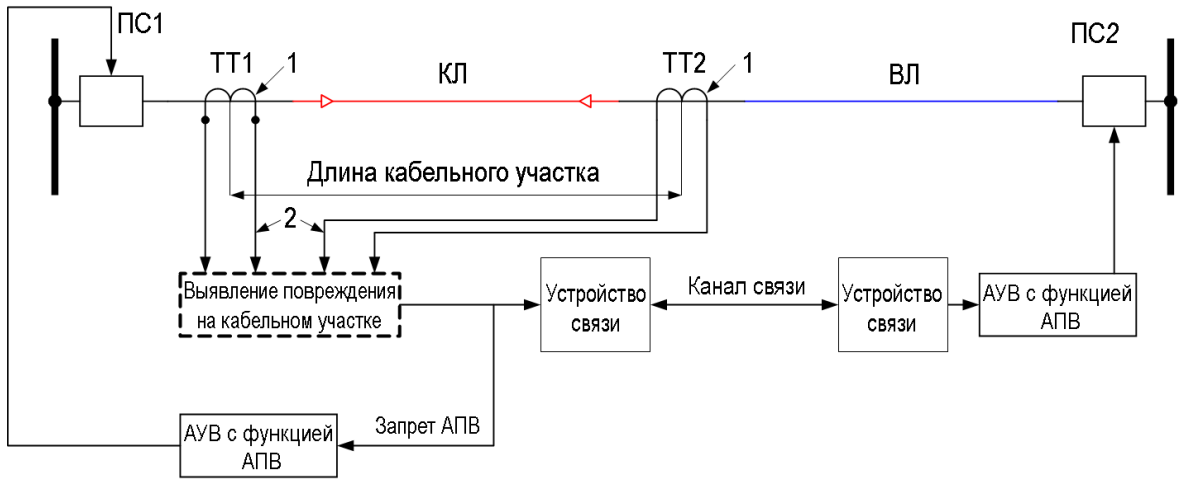


Рис. 2. Дифференциальный принцип определения места повреждения

Следующим принципом определения места повреждения является дистанционный принцип определения места повреждения на КВЛ (рис. 3). Рассмотрим данный принцип на примере шкафа ШЭ2607 021 производства ООО НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары). Данные шкафы предусматривают наличие ступени ДЗ от однофазных КЗ и дополнительных ступеней от междуфазных КЗ. Уставки I ступени ДЗ от КЗ «на землю» и IV ступени ДЗ от междуфазных КЗ выбираются по условию чувствительности к КЗ на кабельной вставке [1]. Сигналы срабатывания данных ступеней объединяются и действуют на отключение ЛЭП с запретом АПВ, останов ВЧ-приемопередатчика защиты с абсолютной селективностью и пуском команды телеотключения на противоположный конец ЛЭП.

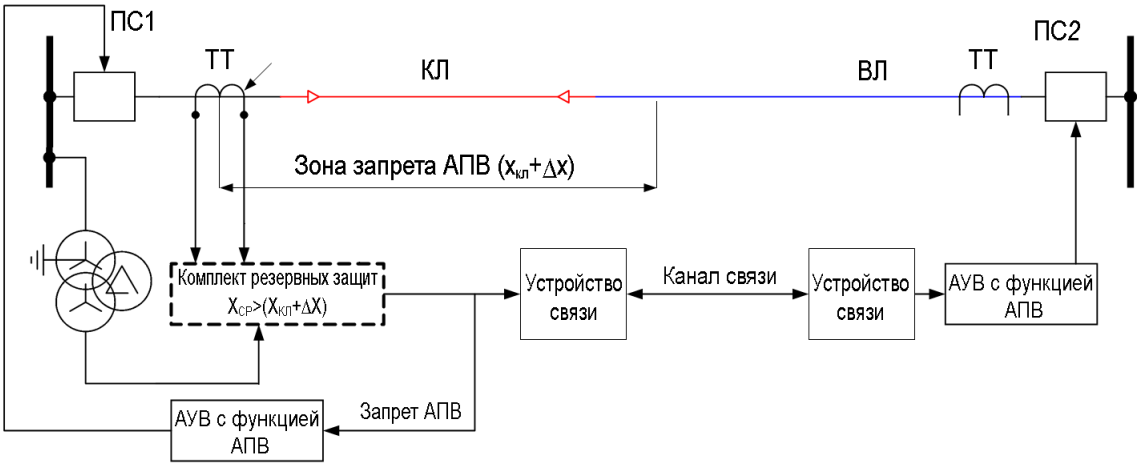


Рис. 3. Дистанционный способ определения места повреждения

Предложенные способы позволяют точно определить место повреждения на кабельном участке на КВЛ и выполнить запрет АПВ с обеих сторон ЛЭП при помощи устройства передачи аварийных сигналов и команд. Достоинством дифференциального принципа является отсутствие зависимости от цепей переменного напряжения, а основным недостатком является необходимость установки трансформатора тока в конце кабельного участка. Также применение дифференциального принципа усложняется на КВЛ с длинным кабельным участком из-за большой протяженности кабеля в цепях переменного тока. Применение дистанционного принципа определения места повреждения с использованием дополнительных ступеней дистанционных защит в составе шкафа ШЭ2607 021 позволяет выполнить поставленную задачу без дополнительных капитальных вложений, однако, данный принцип неработоспособен при наличии неисправности цепей переменного напряжения на подстанции.

Источники

1. ЭКРА.656453.049 РЭ. Шкаф дистанционной и токовой защит линии типа ШЭ2607 021, ШЭ2607 021021 (версия 021_200): руководство по эксплуатации. Чебоксары, 2015. 164 с.

УДК 621.3

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

П.А. Зудкин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
pashazuda@mail.ru
Науч. рук. Д.Ф. Губаев

Рассмотрены основные преимущества использования оптических измерительных трансформаторов на цифровой подстанции, в сравнении с электромагнитными измерительными трансформаторами. Обозначена проблема их широкого распространения.

Ключевые слова: оптические измерительные трансформаторы, преобразователи аналоговых сигналов, цифровая подстанция.

В современных электроэнергетических системах при возведении новых и реконструкции старых подстанций широко внедряется стандарт МЭК 61850. Такие подстанции называются цифровыми. В связи с этим возникает вопрос о необходимости использования оптических измерительных трансформаторов для измерения тока и напряжения сети.

На цифровых подстанция возможно использование как оптических так и электромагнитных измерительных трансформаторов. Электромагнитные трансформаторы не могут передавать измеряемые параметры в цифровом виде напрямую в устройства защиты, поэтому они используются совместно с устройством, выполняющим преобразование аналогового сигнала в цифровой и его передачу по протоколу IEC 61850-9.2LE. Преобразователи аналоговых сигналов устанавливаются в непосредственной близости с измерительными трансформаторами. Но установка преобразователей аналогового сигнала в цифровой совместно с электромагнитными измерительными трансформаторами не решает проблемы в полной мере, поскольку возникают проблемы электромагнитной

совместимости данного устройства, а также к повышению стоимости реконструкции, необходимости установки дополнительного оборудования на территории открытого распределительного устройства. Решением данной проблемы является использование оптических измерительных трансформаторов с цифровым интерфейсом.

Электромагнитные измерительные трансформаторы обладают рядом значительных недостатков:

1) насыщение магнитопровода апериодической составляющей тока короткого замыкания;

2) отсутствие информации о первичном токе в первые периоды аварийного переходного процесса, когда эта информация наиболее необходима системам релейной защиты и противоаварийной автоматики для успешной локализации и ликвидации аварий [1];

3) погрешности электромагнитных ТТ в переходном режиме достигают 90 %;

4) опасность размыкания вторичных цепей;

5) большой вес и габариты;

6) пожаро- и взрывоопасность не только в маслонаполненных измерительных трансформаторах, но и в элегазовых. Поскольку в элегазовых трансформаторах взрыв неизбежен при пробое главной изоляции, только без пожара;

7) работа электромагнитных ТН во время переходных процессов может приводить к возникновению феррорезонансных явлений, которые в свою очередь приводят к неправильной работе электроэнергетического оборудования, выходу его из строя, развитию крупных аварий [2];

8) узкий диапазон частот современных измерительных электромагнитных трансформаторов напряжения накладывает некоторые ограничения на развитие систем релейной защиты, автоматики и методов определения мест повреждений.

Ряд этих и других проблем можно решить использованием на подстанции оптических измерительных трансформаторов. У оптических измерительных трансформаторов по сравнению с электромагнитными можно выделить следующие основные преимущества:

1) помехоустойчивость к электромагнитным помехам;

2) малый вес и габариты, позволяющие их установку в ограниченном пространстве, в любом положении, с установкой на опору или путем подвешивания к жесткой шине;

3) возможность преобразования и измерения как переменного, так и постоянного тока различного напряжения;

4) оптико-электронное преобразование световых сигналов с отсутствием магнитных потерь, магнитного насыщения и остаточного намагничивания;

5) широкий динамический диапазон (0,1–200 % от $I_{1ном}$) и высокая точность (0,1–0,2 %) для целей измерения и защиты, достигаемые за счет использования поляризованных световых сигналов и их цифровой обработки;

6) широкая полоса пропускания сигналов, дающая возможность производить полный анализ количества и качества электроэнергии (до 100-х гармоник) и переходных процессов (для защиты);

7) возможность использования одного и того же трансформатора на различные первичные номинальные токи за счет электронной перенастройки коэффициентов трансформации;

8) возможность подключения неограниченного количества потребителей измерительной информации;

9) низкая восприимчивость к вибрациям и изменениям температуры;

10) полная пожаро- и взрывобезопасность.

В ходе проведенных исследований [1, 3, 4] установлено, что в настоящее время в силу неразвитости масштабного производства оптических измерительных трансформаторов возникает вопрос о их стоимости. Рентабельно устанавливать оптические трансформаторы на напряжение 500 кВ и выше, поскольку их цена сопоставима с ценами на электромагнитные измерительные трансформаторы. Это является основным препятствием при внедрении оптических измерительных трансформаторов на подстанциях.

Таким образом, можно сделать вывод, что по мере удешевления оптических технологий широкое распространение оптических измерительных трансформаторов на цифровых подстанциях неизбежно в силу их явных преимуществ по многим факторам, в сравнении с электромагнитными измерительными трансформаторами.

Источники

1. Гречухин В.Н. Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110–750 кВ станций и подстанций энергосистем // Вестник ИГЭУ. 2006. Вып. 4. С. 35–42.

2 Трансформаторы тока / В.В. Афанасьев [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 416 с.

3. Волович, Г.И. Цифровой измерительный трансформатор тока / Г.И. Волович, А.Г. Волович // Энергия белых ночей: матер. 7-й науч.-техн. конф. СПб., 2014. С. 127–137.

4. Первая в России «Цифровая подстанция» 110 кВ, использующая стандарт IEC 61850 (-8-1 и -9-2LE) для измерений, релейной защиты и управления коммутационными аппаратами / С.Г. Попов [и др.] // Матер. 45-й Сессии СИГРЭ. Париж, 2014.

УДК 621.316.95

ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗИСТОРОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–35 КВ

Н.М. Каримов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
niyazak47@mail.ru
Науч. рук. Д.Ф. Губаев

Представлен отечественный и иностранный опыт использования высокоомных и низкоомных резисторов для заземления нейтрали распределительной сети 6–35 кВ. Также кратко описаны некоторые части стандартов принятых за рубежом.

Ключевые слова: РЗА, изолированная нейтраль, резистивная нейтраль, ОЗЗ, нейтраль трансформатора.

Резисторы с целью заземления нейтрали производятся в более чем 50 компаниях во всей планете: Республика Индия (NATIONAL RESISTORS ONIES), Соединённые Штаты Америки (JENKINS), Республика Италия (TELEMA), ФРГ (GINO ESE), Япония (MILUOKI RESISTOR), Канада (AVTRON, ICP) и т. д. – обычно, в согласовании со стандартным документом ANSI/IEEE Std 32-1972 «Requirements, Terminology, and Test Procedures for Neutral Grounding Devices» (заново ратифицирован в 1990 г.).

Руководство по внедрению резистивного заземления нейтрали приведено в документах IEEE Std142-1991 а также заменяющем его IEEE Std 142-2007 «Recommended Practice for Groundingof Industrial and Commercial Power Systems»[1]. В редакции данного стандарта отмечено, что при высокоомном заземлении нейтрали «величина тока ОЗЗ не превосходит как правило 10 А», а при низкоомном – «сопротивление резистора находится с учетом предоставления ожидаемого тока релейной защиты».

Заключительное примечание продублировано при пересмотре IEEE Std 142 в 2007 г.: «допускается прохождение токов ОЗЗ большего значения, как правило в границах 100–1000 А, для предоставления ожидаемого тока с целью избирательной работы релейной защиты».

В функционирующем стандарте IEEE Std 142 2007 г. разница между высокоомным и низкоомным заземлением нейтрали установлена через связи тока однофазного замыкания на землю при присутствии резистора к току трехфазного короткого замыкания определенной сети. Низкоомное заземление нейтрали применяется, когда $I_{R\text{ОЗЗ}} \geq 0,2 \cdot I_{\text{к.з}}^{(3)}$ (до 100–1000 А). В случае если $3I_{C\,0} \leq I_{R\,\text{ОЗЗ}} \leq 0,01 \cdot I_{\text{к.з}}^{(3)}$, тогда используют высокомное заземление нейтрали. Из этого вытекает, что при высокоомном заземлении нейтрали ток в режиме ОЗЗ должен иметьзначение не ниже емкостного тока однофазного замыкания на землю в сети.

Необходимо выделить, что в соответствии с IEEE Std 142 величина тока однофазного замыкания на землю равным 10 А соответствует режиму его продолжительного прохождения (в отсутствии поврежденного элемента) и не способен быть пограничным значениеммежду высоко- и низкоомным заземлением нейтрали сети.

Анализ международный практики подтверждает, что резистивное заземление нейтрали – более распространенная практика в распределительных сетях иностранных индустриальных компаний [2].

В соответствии с рекомендациями Петерсена (1916 г.), в сетях среднего напряжения США величина сопротивления высокоомного резистора находится согласно $I_R \approx I_C$. Это гарантирует уменьшение напряжения в нейтрали на время бестоковой паузы вплоть до нулевого значения, и проблема ограничения перенапряжений до $2{,}5U_{\Phi}$ благополучно находит решение. При этом активный ток, протекающий при высокоомном резисторе составляет, как правило от 1 до 25 А, но реально не более 10 А [3].

При низкоомном резистивном заземлении, по сути представляющей замену глухому заземлению нейтрали, ток ОЗЗ как правило ограничен величиной до 50–600 А по первичной стороне [3], и в основном обеспечивает селективное функционирование релейной защиты. Для проектируемых, а также заново строящихся сетей подобный выбор объясняется значительным экономическим эффектом, так как в некоторых ситуациях возможно использовать электрооборудование устанавливаемое не на линейное, а на фазное напряжение.

С целью заземления нейтрали за рубежом преимущественно применяют низкоомные и режевысокоомные резисторы. С целью производства резистивных компонентов применяются металлические сплавы: чугун, алюмохромистая сталь, нихром, константан и т. д. Конструктивно подобные резисторы с целью заземления нейтрали производятся в варианте шкафов из нержавеющей стали. Температура на плоскости резистивного компонента в соответствии с документу IEEE Std 32-1972 – 610 °С, а при пульсирующем нагружении на 10, 30 или 60 с – 760 °С. Согласно ГОСТ 11677-85, ГОСТ 24183-80 разрешается нагревание токоведущих участков, напрямую объединенных с аппаратом, вплоть до 300°С.

Таким образом, появляется проблема о правомерности использования отмеченных резистивных конструкций во отечественныхсетях.

В Российской Федерации резисторы изготовляют следующие компании: ООО «ЭНСОНС», ООО «ЕГЕ-Энерган», ООО «Болид».

Отечественный опыт внедрения:

1) построение сети 983 км КЛ 20 кВ АО «ОЭК» в г. Москва к 2021 г. с целью надежной эксплуатации кабельной сети с СПЭ-кабелями осуществить низкоомное заземление нейтрали. Стандартным решением в сетях 20 кВ представляет собой монтаж на питающих подстанциях резисторов с номинальным током 1000 А;

2) в 2005 г. была внедрена в эксплуатацию система электроснабжения острова Ольхон напряжением 35/10 кВ. В нейтрали со стороны 35 кВ питающего трансформатора на подстанции Еланцы смонтирован заземляющий резистор сопротивлением 4 000 Ом производства ООО «ПНП БОЛИД»;

3) резисторы серии РЗ-1000-12-6// РЗДСОМ-115/6 (1,3 с. ш.), 230/6 (2,4 с. ш.) в работе с 2003 г. филиал ОАО «МРСК Северо-Запада» «Вологдаэнерго», ПС 110/6 «Шексна», Резисторы РЗ уже установлены и находятся в работе свыше чем на 10 подстанциях, в которые входит ПС 110/10 кВ «Сухарево», ПС 110/10 кВ «Кока-Кола», ПС 330/110/10 кВ «Колядичи», ПС 110/10 кВ «Пинск Восточная», ПС 110/35/10 кВ «Солигорск»;

4) высокоомный резистор NER 35 кВ, 4000 Ом, 5 А в сети ТЭЦ-11 Иркутскэнерго; Низкоомные резисторы NER 10 кВ, 30 Ом, 200 А на ПС «Петродворец» и т. д.

Источники

1. IEEE Std 142-2007 (Revision of IEEE Std 142-1991). IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. 250 p.

2. Титенков С.С. Четыре режима заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ. Изолированную нейтраль объявим вне закона // Новости Электротехники. 2003. № 5 (23). С. 42–44.

3. J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin. Protective Relaying. Principles and Applications. 3rd ed. CRC Press, 2006. 664 c.

УДК 621.316

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОКОВОЙ ОТСЕЧКИ В РАМКАХ ПРОЕКТА «УМНЫЙ РЭС»

Д.С. Китанин[1], Ю.Д. Плотникова[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]kitaninds@gridcom-rt.ru, [2]kozyr_j@list.ru
Науч. рук. Д.Ф. Губаев

Применение реклоузеров в рамках системы автоматического секционирования распределительных сетей показало свою эффективность на тестовых участках сети. В статье приведен анализ возможных ошибок и вариант их решения.

Ключевые слова: реклоузер, селективность, надежность сети, автоматическое секционирование, Smart Grid.

В настоящее время во всем мире компании, отвечающие за распределение электрической энергии, усиленно работают над решением проблемы перебоев в работе электрической сети.

При выборе и сравнении различных вариантов повышения надежности распределительной сети рассчитываются следующие индексы надежности [2]:

SAIFI – среднее количество отключений потребителей в год;

SAIDI – средняя длительность отключений потребителей в год;

Улучшение показателя SAIDI, SAIFI может быть достигнуто такими техническими мероприятиями как:

– модернизация устройств РЗА на питающих пунктах;

– выполнение программ технического обслуживания и ремонта (ТОиР) а также технического перевооружения и реконструкции (ТПиР).

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.

Реклоузер – подвесные секционирующие дистанционно управляемые выключатели, имеющие комплект релейных защит и способные коммутировать токи короткого замыкания [1].

Параметры настройки устройств РЗА реклоузеров и устройств РЗА на выключателях отходящих фидеров в центре питания (на ПС), где они установлены, а также последовательно включенных реклоузеров между собой должны быть ступенчато согласованы по току и по времени для обеспечения требуемой селективности и чувствительности.

Пример обеспечения селективности по току и по времени приведен на рис. 1.

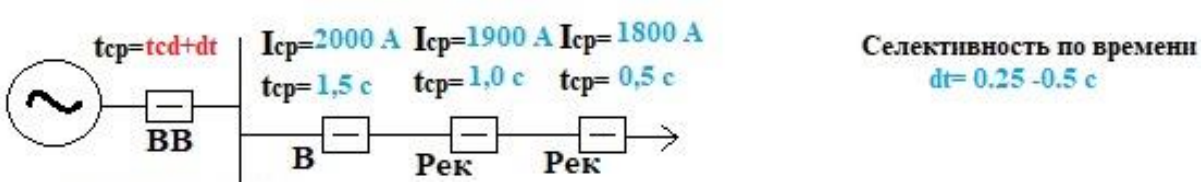


Рис. 1. Пример обеспечения селективности по току и времени

В этом случае рост выдержки времени на защитах приводит к увеличению времени воздействия токов КЗ на оборудование и к длительной посадке напряжения на шинах центра питания при КЗ на отходящем присоединении. Что в целом приводит к снижению надёжности и качества электроснабжения потребителей.

Для уменьшения выдержек времени максимальных токовых защит для защиты части участков линии можно настраивать первые ступени максимальных токовых защит в качестве токовых отсечек без выдержки времени (далее – ТО). Для этого необходимо при выполнении расчётов уставок надёжно отстраивать ТО последующих УРЗА (защита фидера на ПС) от максимального тока КЗ в местах установки предыдущих устройств РЗА (реклоузеров). Отстройка происходит за счет коэффициента отстройки $K_{отс}$ = 1,2…1,5.

На практике не всегда получается выполнить эту отстройку, так как слишком близкое расположение реклоузеров к центру питания (подстанции) или между собой приводит к тому, что ступень становится нечувствительной к КЗ даже в начале линии (участка).

Поэтому, целесообразно, при выборе места установки реклоузеров помимо других критериев проверять возможность настройки первых ступеней МТЗ в «голове» фидера (на ПС) и в реклоузерах в качестве ТО без выдержек времени. Необходимо обеспечить такое расположение реклоузеров на фидере, чтобы обеспечивалась надёжная отстройка ТО и при этом обеспечивалась требуемая по [3] чувствительность. Это позволит отключать часть повреждений на фидере мгновенно. Даже если удастся обеспечить надёжную отстройку ТО в «голове» без потери чувствиительности только для первого реклоузера, это позволит мгновенно отключать повреждения на головном участке фидера с самыми большими из-за близости к центру питания значениями токов КЗ (рис. 2). При КЗ на нижестоящих участках фидеров значения токов КЗ уменьшаются и их ликвидацию можно осуществлять ступенями максимальных токовых защит с согласованными выдержками времени.

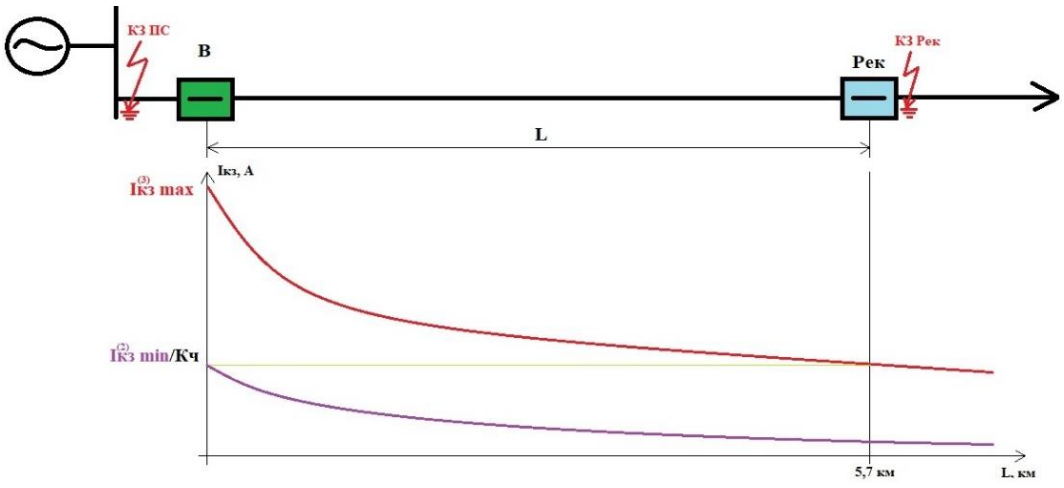


Рис. 2. График снижения токов КЗ при удалении от ПС

Для этого необходимо дополнить существующую методику определения оптимальных мест установки реклоузеров в распределительных сетях алгоритмом проверки возможности использования ТО в УРЗА на ПС и в реклоузерах.

Для выполнения указанной проверки автоматизированным способом была разработана программа для ПК, которая на основании имеющихся у нас данных (ток трехфазного КЗ на шинах ПС, уставки защит на ПС, точное место или предположительное место установки имеющихся

реклоузеров, характеристики линий и их участков (протяжённость, марка и сечение провода, удельное сопротивление), рассчитывает минимальное расстояние до точки секционирования (места установки реклоузера), которое сможет обеспечить необходимое снижение токов короткого замыкания для обеспечения надёжной отстройки ТО без выдержки времени по току без потери чувствительности ступени.

Экономический эффект состоит в том, что, в первую очередь, применение данного подхода позволяет обеспечить мгновенное отключение повреждений на определённых участках секционирования с наибольшими токами короткого замыкания с помощью реклоузеров фидера, что снижает объем повреждений от протекания токов КЗ, а, следовательно, и возможный материальный ущерб.

Также значительно снижается время посадки напряжения на шинах центра питания, в результате чего снижается риск получения претензий по качеству электроэнергии от потребителей, подключенных к неповреждённым фидерам данного центра питания (ПС).

Источники

1. Воротницкий В., Бузин С. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ // Новости электротехники. 2005. № 3 (33).

2. СТО 34.01-2.2-032-2017. Сборник типовых технических решений ПАО «РОССЕТИ». Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ – секционирующие пункты (реклоузеры). М.: ПАО «Россети», 2017. 24 с.

3. Правила устройства электроустановок. М.: КНОРУС, 2010. 488 с.

УДК 621.31

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТОКОЛА GOOSE В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ РЗА

И.С. Мальцева[1], А.Н. Гавриленко[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]ir.maltseva@mail.ru, [2]gkgeu@mail.ru

Рассмотрены особенности использования протокола GOOSE в цифровых системах РЗА. Отражена актуальность использования протокола МЭК 61850 и преимущества передачи данных путем GOOSE-сообщений. Рассмотрен принцип передачи данных путем GOOSE-сообщений.

Ключевые слова: МЭК 61850, GOOSE, цифровая подстанция, Etherenet, передача данных.

В последние десятилетия с развитием цифровых технологий возникла необходимость новой информационной модели передачи данных для управления большим количеством устройств и связи различных устройств друг с другом. Модель, удовлетворяющая данным требованиям, была разработана и стандартизована как стандарт МЭК 61850 (Системы и сети связи подстанций) [1]. Этот стандарт описывает: перечень правил для организации событийного протокола передачи данных, форматы потоков данных, правила описания элементов энергообъекта, виды информации.

МЭК 61850 используется не только между верхним уровнем станции и уровнем присоединения, но также и для обмена сообщениями с основным оборудованием. Под верхним уровнем подразумевается SCADA, шлюзы для передачи данных в ЦУС и РДУ, сервер времени и т. д. Под уровнем присоединения подразумеваются терминалы РЗА, измерительные трансформаторы напряжения и тока и др.

Стандарт МЭК 61850 содержит в себе три основных протокола передачи данных:

– Manufacturing Message Specification;

– Generic Object Oriented Substation Event;

– Sampled Value.

GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) – протокол передачи данных. По данному протоколу передаются данные о событиях на подстанции. Этот протокол служит для замены медных кабельных связей, передающих дискретные сигналы между устройствами.

Обмен логической информацией терминалами между друг другом и автоматизированным рабочим местом релейщика производится по протоколу GOOSE.

GOOSE-сообщения передаются с помощью Ethernet. Упаковывается GOOSE сообщение во фрейм (Ethernet-кадр), который так же содержит дополнительную информацию. Такой фрейм имеет следующую структуру: заголовок, адреса получателя и отправителя, тип и контрольная сумма, пользовательские данные.

GOOSE-сообщение начинается с преамбулы. Она служит для синхронизации приемопередатчиков. После преамбулы идут MAC-адреса приемника, а именно адрес устройства-получателя, и уникальный адрес устройства-отправителя (источника). Для указания типа использованного протокола используется Идентификатор протокола. Для указания типа сообщения используется Идентификатор сообщения. Идентификатор

положения служит для разделения сообщения. Так же сообщение содержит зарезервированные поля, прикладной протокол данных с измерительной информацией. Определить, был ли поврежден фрейм во время передачи, получатель может по значению Контрольной суммы.

В традиционном способе (до GOOSE) передачи дискретных сигналов между терминалами РЗА используются дискретные входы и выходные реле. Сигнал передается через замыкание выходного реле одного терминала, связанного медным кабелем с дискретным входом другого терминала, посредством этого на дискретный вход подается напряжение.

Существуют следующие требования к передаче сигналов устройств РЗА:

1) необходима возможность передачи сообщений сразу нескольким адресатам;

2) требуется высокая надежность при доставке сообщения, которые участвуют в реализации важных функций: подача команды на отключение выключателя и т. д.;

3.) необходимо наличие возможности произвести диагностику состояния канала передачи данных для контроля целостности канала;

4) необходима высокая скорость передачи данных между устройствами, чтобы в краткие сроки устранить ненормальный режим работы электроэнергетической системы.

GOOSE-сообщения отвечают всем перечисленным выше требованиям.

Принцип передачи данных посредством GOOSE-сообщений состоит в следующем: устройство - отправитель передает информацию в широковещательном диапазоне. Для этого используется сеть Ethernet. В сообщении есть адрес отправителя и адреса, на которые осуществляется передача и значение сигнала (логический ноль или логическая единица).

Устройство-получатель получит сообщение, а все не подписанные на получение сообщения устройства его проигнорируют. Можно провести аналогию с радиотрансляцией: сообщение транслируется всем устройствам в сети, но для последующей обработки сообщения устройство-приемник должно быть настроено на получение этого сообщения [2–4]. Так как передача GOOSE-сообщений осуществляется нескольким адресатам, подтверждение получения сообщения адресатами отсутствует. Вследствие этого, передача GOOSE-сообщений в установившемся режиме производится с определенной периодичностью.

Главным преимуществом передачи сообщений по протоколу GOOSE является возможность снизить финансовые затраты на монтажные работы, уменьшить количество контрольных кабелей, дискретных входов с выходными реле. Данный способ передачи данных дает больший контроль связи и уменьшает возможность ложной работы оборудования.

Источники

1. Baigent D., Adamiak M., Mackiewicz R. Протокол МЭК 61850. Коммуникационные сети и системы подстанций. Общий обзор для пользователей. Компэл [Электронный ресурс]. URL: https://www.compel.ru/wordpress/wpcontent/uploads/2018/11/iec_61850.pdf (дата обращения: 26.02.2021).
2. Аношин А.О., Головин А.В. Стандарт МЭК 61850. Протокол GOOSE [Электронный ресурс]. URL: http://news.elteh.ru/arh/2012/78/07.php (дата обращения: 26.02.2021).
3. Аношин А.О., Головин А.В. Стандарт МЭК 61850. Информационная модель устройства [Электронный ресурс] // Новости Электро-Техники. 2012. № 5 (77). URL: http://news.elteh.ru/arh/2012/77/04.php (дата обращения: 26.02.2021).
4. Капустин Д.А., Дементьев В.Е. Информационно-вычислительные сети: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2011. 141 с.

УДК 621.315

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАНАЛОВ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

И.С. Мальцева[1], А.Н. Гавриленко[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]ir.maltseva@mail.ru, [2]gkgeu@mail.ru

Рассмотрены особенности использования высокочастотных каналов связи в системах релейной защиты и автоматики. Обозначена актуальность данного вида связи для энергосистемы России и для существующей системы релейной защиты и автоматики, а также противоаварийной автоматики. Выделены достоинства и недостатки данного вида связи. Обозначена проблема присутствия помех в ВЧ-канале и рассмотрены способы решения данной проблемы.

Ключевые слова: высокочастотный канал, линейный тракт, затухание, диапазон частот, полоса ВЧ канала.

Благодаря своей надежности, дешевизне и быстроте организации, высокочастотные каналы (ВЧ-каналы) широко используются в области релейной защиты и автоматики.

Высокочастотный канал может быть использован, например, для дифференциально-фазных защит, направленных защит с высокочастотной блокировкой, а также для систем противоаварийной автоматики. В системах противоаварийной автоматики такие каналы используются для передачи аварийных сигналов и команд и работают в комплекте с устройством передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК).

В современности развитие получила система волоконно-оптических кабелей, однако их использование оказывается далеко не всегда экономически целесообразно. Зачастую, система, образованная ВЧ-каналом, оказывается более технически и экономически эффективна.

Распространение сигнала вдоль ВЛ (воздушной линии) происходит по независимым волновым каналам (модам), число которых соответствует числу не заземленных проводов. Каждая мода характеризуется своим специфическим затуханием и скоростью, которые определяются множеством факторов: конструкцией ВЛ, погодными условиями, местностью, по которой пролегает ВЛ, частотой несущей и т. д.

Существуют многомодовые и одномодовые схемы присоединения к линии. Многомодовыми называются те схемы присоединения к линии, в которых передача сигнала по тракту осуществляется как минимум по двум междуфазным модальным составляющим. Одномодовыми называются те, в которых передача сигнала по тракту осуществляется только одной из междуфазных модальных составляющих [1].

Специфическим отличием ВЧ каналов по ВЛ от других проводных каналов является наличие шумов и помех, порождаемых различными независимыми источниками. Например, источником шумов и помех может быть коронный разряд или работа силового оборудования на ПС (подстанции) и ВЛ.

Несомненными преимуществами ВЧ-канала являются:

– надежность существующих ВЛ как среды передачи;

– большая длина канала;

– легкий контроль и обслуживание среды передачи, а так же аппаратуры;

– экономическая выгода по сравнению с другими видами связи.

Недостатками ВЧ-канала являются относительно низкая пропускная способность и число создаваемых каналов, и вероятность, что ряд частот может быть занят.

К высокочастотному каналу предъявляется ряд требований:

1) диапазон частот, в котором осуществляется передача и прием ВЧ- сигналов, должен осуществляться в диапазоне 16–1000 кГц;

2) подключение приемника/передатчика к линии электропередачи должно осуществляться по схемам «фаза-земля» или «фаза-фаза». Схема «фаза-земля» более экономична, и поэтому имеет приоритет в использовании;

3) подключение аппаратуры каналов телефонной связи, передачи данных и сигналов телемеханики и аппаратуры, связанной с РЗА, должно осуществляться параллельно через разделительные фильтры;

4) номинальная полоса частот передачи и приема (полоса ВЧ- канала) приемников и передатчиков должна быть 2 кГц;

5) частоты, используемые при приеме и передаче, могут быть совмещенными и разнесенными.

При использовании ВЧ-канала могут возникнуть некоторые затруднения. При наличии ответвлений на линии затухание линейного тракта увеличивается.

Необходимо учитывать присутствие электрических помех. Они являются основным фактором, ограничивающим дальность передачи информации из-за того, что сигналы, принимаемые приемником, искажаются помехами.

Какие действия необходимо осуществить, чтобы искажения не выходили за пределы, допустимые для данного вида информации? Во-первых, должно быть обеспечено определенное превышение напряжения принимаемого сигнала над напряжением помехи на выходе приемника.

Во-вторых, при проектировании ВЧ-канала необходимо учитывать, от чего зависит уровень помех: погодные условия, состояние поверхности проводов, атмосферное давление, влажность, температура. Например, помехи, обусловленные коронированием, увеличиваются с уменьшением давления и увеличения температуры воздуха. При наличии на проводах влаги уровень помех в ВЧ-канале увеличивается. Нестабильность уровней помех во времени удобно оценивать по вероятностным характеристикам, полученным на основании статистической обработки данных о погодных условиях за длительный промежуток времени. Так же, уровень высокочастотных помех несколько ниже, если использовать для организации ВЧ-канала грозозащитный трос, а не линейный провод. Но данный способ

осуществления ВЧ-канала имеет свои особенности, которые необходимо учитывать, например, несколько меньшая надежность и наибольшая подверженность гололеду. Расчет уровня помех следует производить согласно СТО 56947007-33.060.40.045-2010 [2].

Следует упомянуть о том, что характеристики ВЧ трактов не остаются постоянными с течением времени. При изменении количества силового оборудования или ВЛ, присоединенных к шинам подстанции, изменяются характеристики ВЧ каналов. Помимо этого, характеристики изменяются при коротких замыканиях на линиях. С появлением новых потребителей энергии в линии врезаются новые подстанции, что приводит к необходимости реконструировать каналы связи, идущие по этим линиям [3].

Нельзя не учитывать влияние ВЧ каналов друг на друга, созданных на различных ВЛ. Это влияние вызывает трудности при выборе частот для различных каналов связи, и накладывают ограничение на общее количество каналов ВЧ связи, которое можно осуществить в пределах одной энергосистемы.

Изучая особенности применения высокочастотного канала в энергетике, его положительные и отрицательные свойства, можно с уверенностью сказать, что высокочастотный канал будет еще долгие годы использоваться в системах РЗА. С развитием технологий высокочастотный канал до сих пор не теряет свою актуальность, став надежной частью системы связи энергетики. Так же актуальной остается проблема уменьшения влияния помех, чтобы расширить возможности применения ВЧ-канала. Варианты решения показанной проблемы представлены в тексте данной работы.

Источники

1. СТО 56947007-33.060.40.052-2010. Методические указания по расчету параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи 35–750 кВ переменного тока. М., 2010. 143 с.

2. СТО 56947007-33.060.40.045-2010. Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500 и 750 кВ. М., 2010. 232 с.

3. Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи: учеб. для учащихся энергетических и энергостроительных техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1977. 440 с.

УДК 621.316

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ИСПЫТАНИЙ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.Е. Петров
ФГБОУ ВО «ИГЭУ им. В.И. Ленина», г. Иваново
usetheforcealex@yandex.ru
Науч. рук.: Г.А. Филатова, А.А. Яблоков

Приведена программа испытаний алгоритмов определения места повреждения с использованием комплекса моделирования в режиме реального времени RTDS.

Ключевые слова: определение места повреждения, воздушные линии электропередачи**,** имитационное моделирование

Дистанционное определение места повреждения (ОМП) воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) является неотъемлемой функцией современных систем автоматизации подстанции. Наибольшее распространение нашли методы ОМП по параметрам аварийного режима (ПАР). ОМП по ПАР в качестве исходной информации для расчёта использует токи и напряжения ВЛЭП при коротком замыкании (КЗ), полученные с первичных преобразователей тока и напряжения.

Современные методы и устройства ОМП зачастую не удовлетворяют требованию точности [1]. В каждом из существующих устройствах ОМП используется собственный единственный алгоритм для расчета расстояния до места повреждения ВЛЭП. Для верификации показаний приходится использовать одновременно несколько средств, что затягивает время ликвидации повреждения и экономически нецелесообразно. Кроме того, практически отсутствуют адаптивные устройства ОМП, алгоритмы которых учитывают конфигурацию сети и ее текущее состояние (например, изменившееся вследствие погодных условий удельное сопротивление).

В ИГЭУ разработаны алгоритмы ОМП, основанные на использовании мгновенных значений электрических величин при КЗ, измеренных цифровыми трансформаторами [2, 3]. На данный момент коллективом авторов разрабатываются методы ОМП для ВЛЭП сложной конфигурации (например, имеющим взаимную индуктивность), а также разрабатываются имитационные модели для изучения возможности машинного обучения алгоритмов ОМП и создания адаптивной системы ОМП.

Целью данного исследования явилось разработка методики и программы испытаний для оценки точности и устойчивости функционирования алгоритмов двухстороннего ОМП по ПАР при моделировании электромагнитных переходных процессов в режиме реального времени в комплексе RTDS.

Программа испытаний может использоваться разработчиками устройств ОМП.

Объектом исследования явилась модель одиночной ВЛЭП напряжением 500 кВ с двухсторонним питанием (рис. 1). Основная модель сети в RSCAD RTDS и модели сети для оценки достоверности в других программных комплексах представлены на рис. 2–4 (согласно п. 1 приведенной ниже программы).

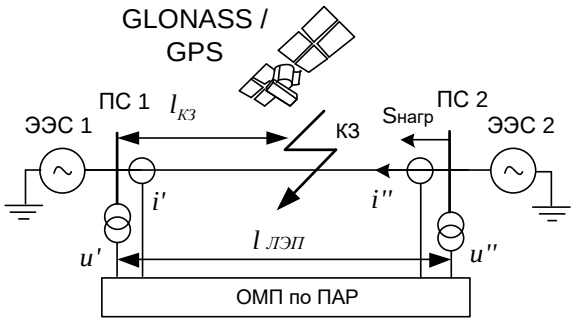


Рис. 1. Схема электрической сети 500 кВ

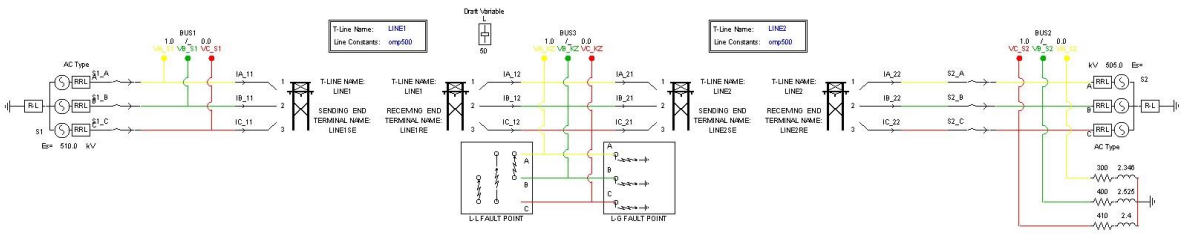


Рис. 2. Модель сети в RSCAD RTDS

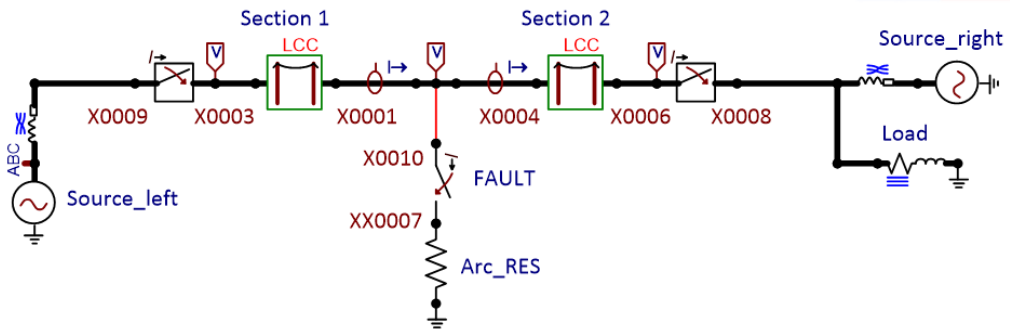


Рис. 3. Модель сети 500 кВ в ATP/ATPDraw

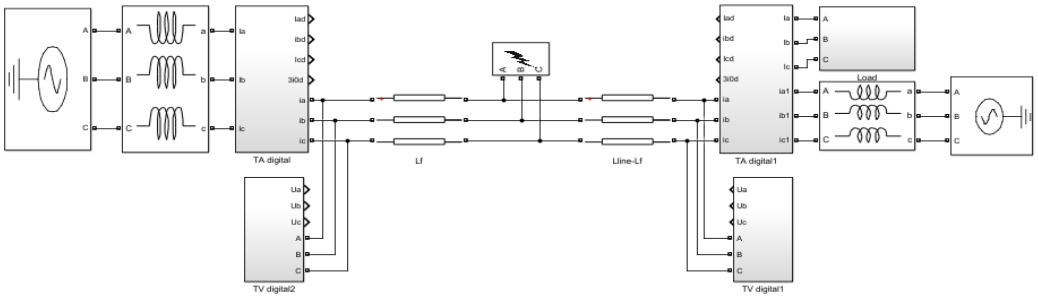


Рис. 4. Модель сети 500 кВ в Simulink

Содержание методики и программы испытаний. Программа испытаний алгоритмов ОМП содержит следующие основные пункты:

1. Предварительное моделирование электрической сети на системе моделирования реального времени RTDS, в соответствии со схемой на рис. 1. Расчет нормальных и аварийных режимов. Сравнение результатов моделирования с расчетом режимов в других программных комплексах, например, ATP/ATPDraw и Matlab+Simulink. Оценка достоверности модели электрической сети.

2. Реализацию алгоритмов ОМП в среде RSCAD RTDS.

3. Имитационное моделирование аварийных режимов в среде RSCAD RTDS. Расчет погрешностей методов ОМП при наличии различных искажающих замер факторов.

4. Обработку результатов эксперимента.

5. Оценку полученных результатов.

Исследуемые факторы. Моделировалось влияние следующих искажающих замер факторов:

1) удаленность КЗ;

2) переходное сопротивление в месте КЗ;

3) емкостный ток линии (емкость фаз линии на землю);

4) распределение токов КЗ на линиях с двухсторонним питанием – соотношение между сопротивлениями питающих систем;

5) распределение токов КЗ на линиях с двухсторонним питанием – угол сдвига между ЭДС энергосистем;

6) сопротивление нагрузки ВЛЭП;

7) фаза напряжения на поврежденной фазе в момент пробоя;

8) отличие действительных параметров ВЛЭП от паспортных;

9) погрешности устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ) (для методов ОМП, основанных на использовании значений векторов токов и напряжений при КЗ);

10) погрешности измерительных трансформаторов.

Для данной сети 500 кВ определены начальные значения всех искажающих замер факторов. Для выявления значимых факторов, влияющих на точность алгоритмов ОМП, проводятся эксперименты по определению зависимости погрешности ОМП от каждого отдельного фактора. Для проведения дальнейшего полного факторного эксперимента производится кодирование.

Выбранные интервалы варьирования ($X_{\min}$ и $X_{\max}$ в именованных единицах), нулевой уровень X_{0k} и кодированные факторы ($X_{\min k}$, $X_{\max k}$) сведены в таблицу. Для определения диапазона возможного изменения удельных параметров использовались данные из [4].

Значения факторов для проведения эксперимента

Фактор (X)	Размерность	$X_{\min}$	$X_{\max}$	X_{0k}	$X_{\min k}$	$X_{\max k}$
$L_{к.з}$	км	0	220	110	–1	1
R	Ом	0	150	75	–1	1
C_0	Ф	0	$8{,}39\cdot10^{-9}$	$4{,}2\cdot10^{-9}$	–1	1
$\lvert Z_{ЭЭС1}\rvert$	Ом	7	70	38,5	–1	1
		70	700	385	–1	1
δ	°	0	90	45	–1	1
$\lvert Z_{нагр.ф.A}\rvert$ $\lvert Z_{нагр.ф.B}\rvert$ $\lvert Z_{нагр.ф.C}\rvert$	МВ·А	0	2 385	1 192,5	–1	1
φ	°	0	360	180	–1	1
$R_{1уд}$	Ом/км	0,01722	0,03198	0,02	–1	1
$R_{0уд}$	Ом/км	0,1169	0,2171	0,17	–1	1
$X_{1уд}$	Ом/км	0,29694	0,30906	0,30	–1	1
$X_{0уд}$	Ом/км	0,868	1.302	1,09	–1	1
$Y_{1уд}$	См/км	$3{,}6\cdot10^{-6}$	$4\cdot10^{-6}$	$3{,}8\cdot10^{-6}$	–1	1
$Y_{0уд}$	См/км	$2{,}4\cdot10^{-6}$	$2.9\cdot10^{-6}$	$2{,}6\cdot10^{-6}$	–1	1

Перспективы использования результатов и личный вклад автора. По данной программе исследован ряд известных алгоритмов ОМП двухстороннего замера, в том числе алгоритмы, разработанные авторским коллективом. Частично результаты представлены в [2, 3]. Далее будут исследоваться возможности применения машинного обучения адаптивных алгоритмов ОМП на имитационных моделях сети и проводиться дальнейшая оценка точности разработанных адаптивных алгоритмов о указанной программе.

Личный вклад автора состоит в непосредственной сборке моделей сети в различных программных комплексах, проведении экспериментов в RSCAD RTDS и обработке результатов экспериментов, включая оценку их достоверности.

Источники

1. Бычков Ю.В., Козлов В.Н., Ермаков К.И. О точности современных устройств ОМП // Релейная защита и автоматизация. 2016. № 1. С. 42–46.

2. Development and Research of Fault Location Algorithm for Double-End Feed Lines in the Multifunctional System / V.D. Lebedev [et al.]. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877653 // Proc. of 2nd International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation (RPA). 2019.

3. Filatova G., Petrov A., Batmanov M. Research of the Algorithm and the Prototype Device for Fault Location Based on Synchronized Two-Side Measurement. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877683 // Proc. of International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). 2020.

4. Иванов И.Е. Анализ степени вариации параметров высоковольтных воздушных линий электропередачи // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12. С. 95–100.

УДК 621-316.925

ПОДХОД К ТЕСТИРОВАНИЮ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ФАЙЛОВ SCD

А.А. Сахабутдинов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
sakhabutdinov.azat@mail.ru
Науч. рук. Р.Г. Мустафин

Тестирование функций автоматизации и управления обычно выполняется вручную. Уже много лет доступны инструменты, предлагающие возможности тестирования для каждого устройства IED (Intelligent Electronic Device), что позволяет выполнять ручное тестирование и моделирование отдельных устройств IED.

Представленный здесь метод расширяет испытание от тестирования и моделирования одного IED до тестирования всей системы автоматизации подстанции. Тест полностью основан на файле конфигурации SCD (System

Configuration Description). Импортируя файл SCD, можно визуализировать всю систему и использовать всю информацию, имеющуюся в SCD. Информация в разделе подстанции используется для размещения IED и распределительного оборудования в пределах их уровней напряжения и ячеек.

Ключевые слова: IEC 61850, цифровая подстанция, автоматизация подстанций, тестирование, IED, GOOSE, MMS, SCD - файлы, автоматические системы управления.

Рассматриваемый метод подходит для тестирования SAS (Substation Automation System) в течение всего жизненного цикла проекта, этапы которого описаны в стандарте IEC 61850-4 и показаны на рис. 1.



Рис. 1. Жизненный цикл SAS

Инструмент, использующий этот метод, должен поддерживать как мониторинг, так и моделирование системы. При тестировании тестовый комплект должен иметь доступ к сетевому трафику GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event) и MMS (Manufacturing Message Specification) соединение с IED.

На этапе спецификации SCD-файла, сигналы и услуги связи могут быть проверены без необходимости использования каких-либо физических устройств. Позже тестирование шлюзов SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) и HMI (Human-machine interface) может быть выполнено путем моделирования поведения связи и сигналов всех IED, опять же без реального IED. Во время FAT (Factory Acceptance Tests) можно смоделировать IED, которых еще нет, для проверки тех, которые имеются [1].

По мере того, как проект переходит в стадию ввода в эксплуатацию, вместо моделирования выполняется больше мониторинга и тестирования реальных IED.

Одним из ключевых факторов эффективности подхода является возможность создания планов тестирования. Процедуру тестирования можно задокументировать и повторно использовать на протяжении всего жизненного цикла SAS. Последовательности испытаний могут выполняться и оцениваться автоматически.

StationScout – это инновационное решение для тестирования подстанций IEC 61850, которое обеспечивает необходимые функции тестирования, как описано выше. StationScout упрощает тестирование SAS и значительно сокращает необходимые усилия по тестированию. Он поставляется с надежным и мощным оборудованием, которое позволяет пользователям моделировать несколько IED с безопасной изоляцией от сетей SAS [2].

Это удобное для пользователя программное обеспечение помогает визуализировать файлы SCL (Structured Control Language) или отслеживать сигналы на подстанции без приложения каких-либо усилий по настройке.

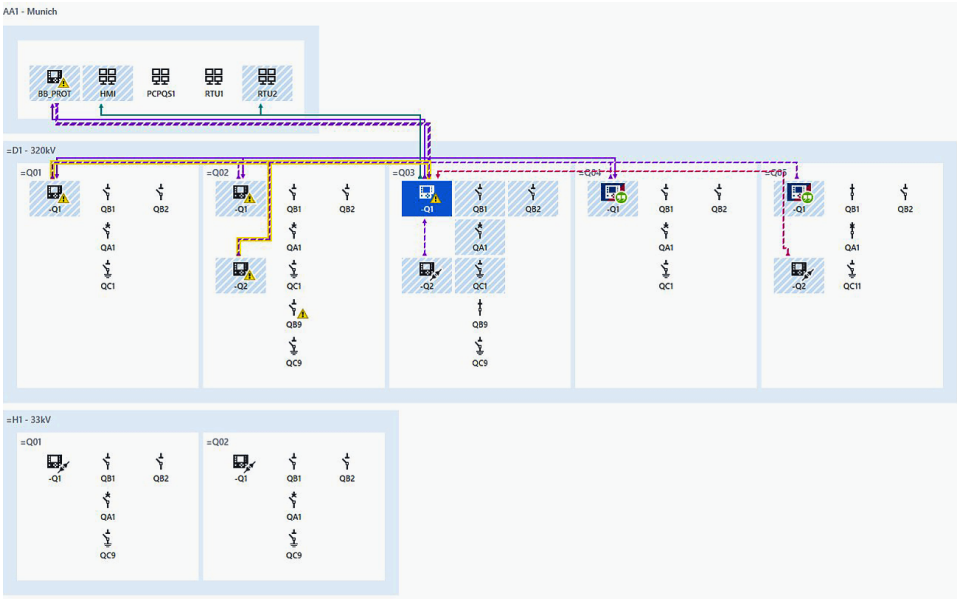


Рис. 2. Пример SCL, загруженного в StationScout

Загружая файл SCD и имея доступ к сетевому трафику и соединению MMS с IED, StationScout может автоматически проверять все каналы связи GOOSE, выборочных значений и отчетов. Набор тестов может опрашивать атрибуты в IED и проверять их соответствие модели. Пользователь может, например, проверить, включены ли в настоящее время блоки управления отчетами и являются ли владельцы отчетов клиентами, объявленными в файле SCD.

Каналы связи GOOSE будут автоматически проверяться на [3]:

– несоответствие GOOSE на стороне отправителя: путем проверки настроек блока управления;

– ошибки публикации GOOSE: поиск в сети и сравнение с SCD;

– ошибки подписки GOOSE: проверяя статусы LGOS на каждом подписывающемся IED. Также проверяются несоответствия.

На рис. 3 показан пример, в котором сообщение GOOSE, опубликованное устройством IED, проверяется в сети, но StationScout выявляет проблему на одном из абонентов из-за несоответствия в версии конфигурации. Ссылка для подключения выделяется желтым цветом, и отображаются предупреждающие знаки, указывающие на проблему [2].

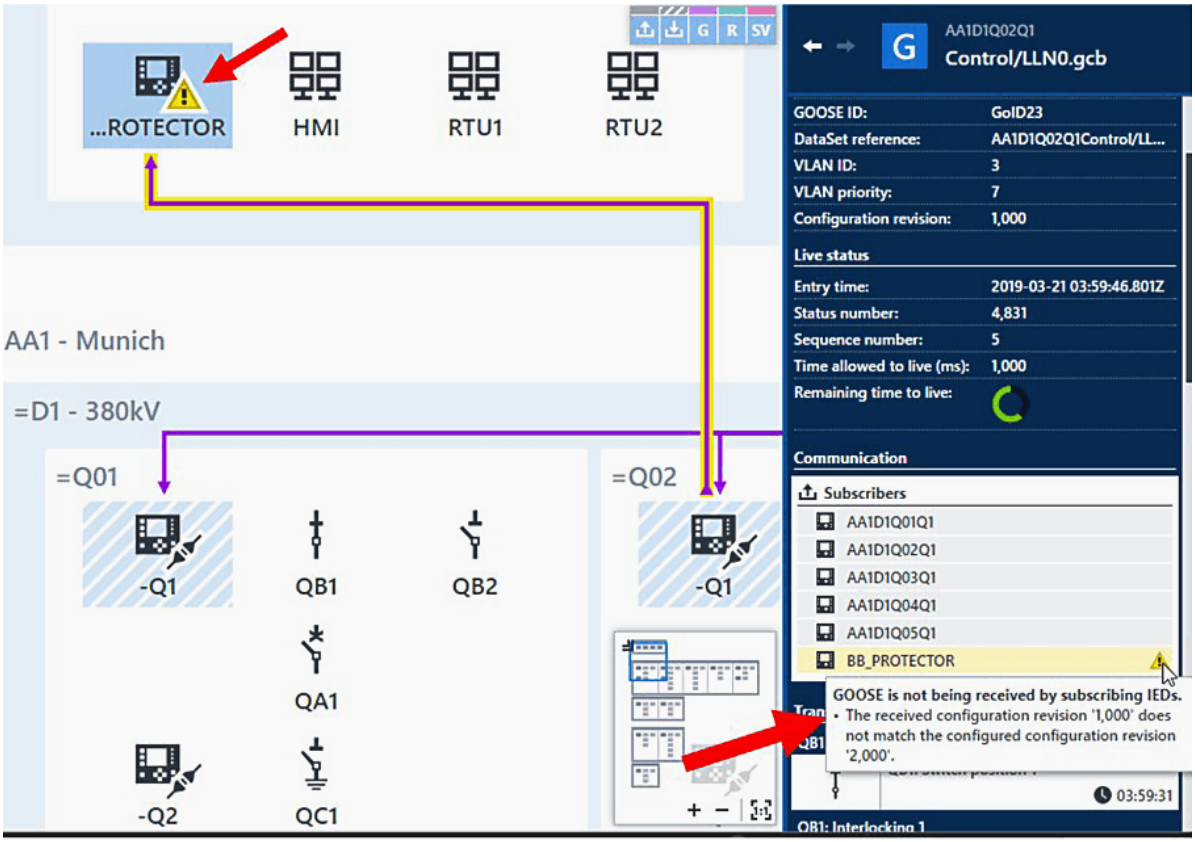


Рис. 3. Проверка ссылок издатель-подписчик GOOSE

Логика PLC (Programmable Logic Controller) реализована в большинстве IED для выполнения функций управления и автоматизации. Их можно автоматически тестировать путем моделирования входов логики (либо с помощью моделирования IED, либо с помощью реального состояния распределительного устройства) и оценки результатов логических расчетов с помощью StationScout. Одним из примеров применения является использование логики для схем блокировки для обеспечения правильной работы выключателей отключения и заземления.

Чтобы представить результат логических условий блокировки IEC 61850 определяет состояние расцепителя в логическом узле CILO. Для тестирования можно протестировать подмножество или, в идеале, все возможные комбинации входов, а логический выход оценить путем автоматического считывания значений состояния CILO [1].

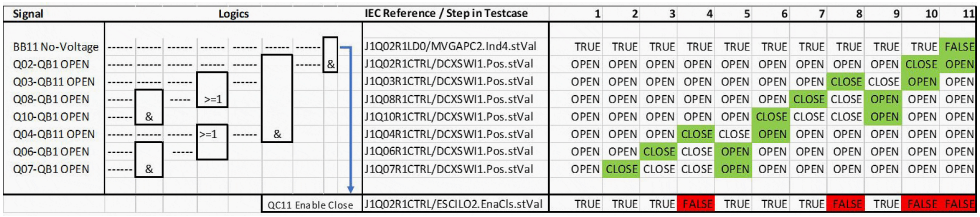


Рис. 4. Тестирование схем блокировки: логика блокировки и определение шагов тестирования в электронной таблице

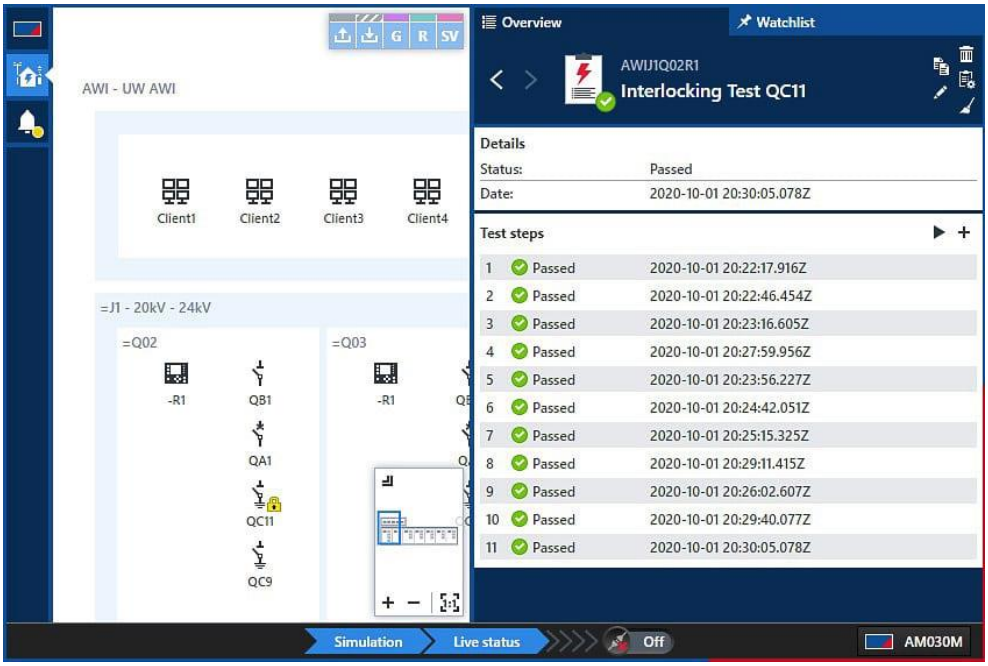


Рис. 5. Результаты теста блокировки после выполнения с помощью StationScout

В системе SAS существует несколько способов передачи сообщений и сигналов. Сигнал проходит несколько этапов, пока не достигает центра управления. Если в этой связи есть ошибка, инженер по вводу в эксплуатацию должен проследить за сигналом на его пути через SAS. Обнаружение таких ошибок сигнала может занять очень много времени.

Используя StationScout, можно следить за тем, как сигналы распространяются через SAS.

Шлюзы, RTU (Remote Terminal Unit) и локальные HMI обычно обмениваются данными почти со всеми IED в системе, в основном через отчеты, но также и через GOOSE. Обычно на подстанцию необходимо проверить несколько тысяч сигналов. Во время ввода в эксплуатацию, по крайней мере, наиболее важные сигналы проверяются по схеме «точка-точка» путем стимулирования сигнала в распределительном устройстве [1]. Все остальные сигналы можно моделировать с помощью StationScout.

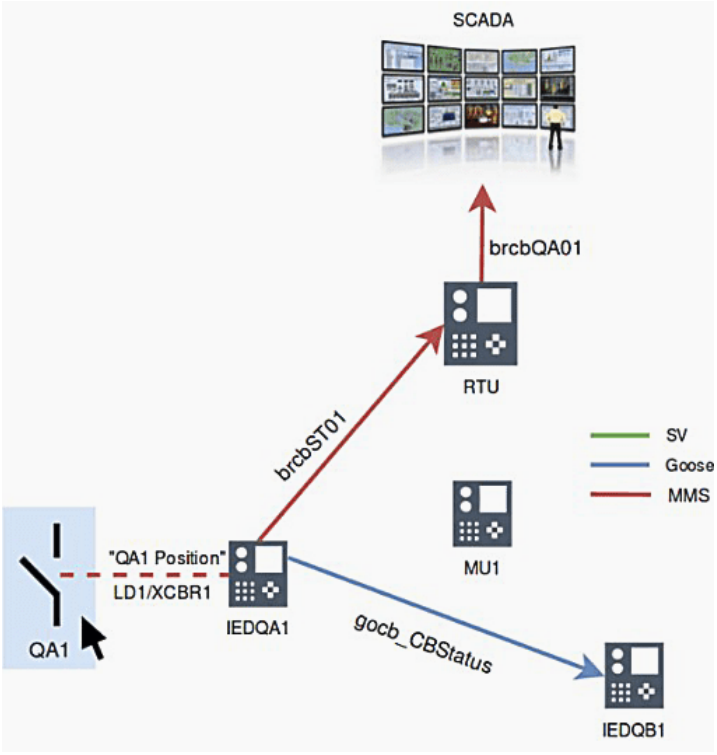


Рис. 6. Положение выключателя, передаваемое по SAS

План тестирования может быть построен с помощью StationScout, имитирующего все IED и сигналы подстанции, для быстрой проверки правильности настройки RTU и шлюзов.

Шлюзы, RTU, HMI и другие IED-устройства в целом часто подвергаются обновлениям микропрограмм и исправлениям безопасности в течение их срока службы. Эти устройства можно легко повторно протестировать после обновления (проверки работоспособности), выполнив план тестирования, который уже был подготовлен для этого устройства, прежде чем оно будет снова введено в эксплуатацию [3].

Эти тесты могут быть выполнены на подстанции со всеми другими IED-устройствами, смоделированными StationScout, без воздействия на работающие устройства.

Источники

1. Herbert Falk. IEC 61850 Demystified. Artech House, 2018. Pp. 127–130.

2.StationScout Brochure: Substation Automation System Testing. Omicron L3155, 2020. Pp. 3–5.

3. IEC 61850-Based Smart Substations: Principles, Testing, Operation and Maintenance / Ed. by Yubo Yuan and Yi Yang. Academic Press, 2019. Pp. 191–193.

УДК 621.311.49

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ СТАНДАРТА МЭК 61850

М.Н. Семенов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
maxim.snt@inbox.ru
Науч. рук. Д.Ф. Губаев

Проанализированы главы стандарта МЭК 61850 и опыт использования при строительстве цифровых подстанций. Выделены основные недостатки, с которыми можно столкнуться при использовании стандарта МЭК 61850.

Ключевые слова: стандарт, МЭК 61850, резервирование, PRP, HSR, SV, GOOSE, MMS, ИЭУ, синхронизация времени, SCL.

Введение

Современные тренды в развитии электроэнергетики подразумевают постепенный переход при строительстве подстанций от традиционных к новым цифровым подстанциям (ЦПС). Особенностью данных подстанций является работа со стандартом МЭК 61850, который включает в себя: методы обмена информацией (SV-потоки, GOOSE-сообщения, MMS-отчеты); производимую и потребляемую информацию (какой вид информации может производить и принимать устройство, с какой скоростью и т. п.); язык описания топологии подстанции, информационные модели устройства и др.

В стандарте описаны методы построения каналов связи, способы их резервирования, и преимущества в сравнении со «стандартной» подстанцией. Но, как и у любой структуры, кроме преимуществ есть свои недостатки и у МЭК 61850.

К основным недостаткам, с которыми приходится сталкиваться при использовании МЭК 61850, можно отнести:

– обеспечение надежности передачи данных;

– увеличение стоимости и количества оборудования при создании резервирования передачи данных;

– кибербезопасность;

– совмещение электронных интеллектуальных устройств разного назначения и разных производителей;

– нормативную базу.

Рассмотрим эти аспекты более подробно.

Надежность передачи данных. В качестве основного варианта передачи данных по стандарту МЭК 61850 была взята технология Ethernet, но использование конкретной топологии прописано не было. В рамках коммуникации сетей определение «топология» можно отнести к способу соединения рабочих станций друг с другом. Рассмотрим проблемы с такими распространенными топологиями Ethernet, как шинная, звезда, кольцо и гибридная. В качестве первого примера возьмем шинную топологию, представленную на рис. 1.

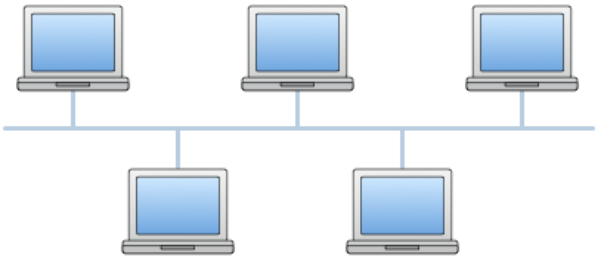


Рис. 1. Топология Ethernet – шина

Исследования, проведенные Tarlochan S. Sidhu [1] с помощью динамического моделирования показали, что временные задержки для сообщений GOOSE и необработанных пакетов данных не соответствуют стандарту МЭК 61850 для больших систем автоматизации подстанции (SAS). Следовательно, данная топология не может подходить для большой технологической шинны подстанции.

Топологии кольцо и звезда также имеют недостатки, в частности временная задержка для передачи сообщений и подключение к одному центральному коммутатору соответственно.

Звездно-кольцевая топология (Token-Ring) (рис. 2) потенциально может обеспечить временную задержку времени в допустимом диапазоне, но возникает вопрос в цене, и данная топология является достаточно сложной в сравнении с другими [2].

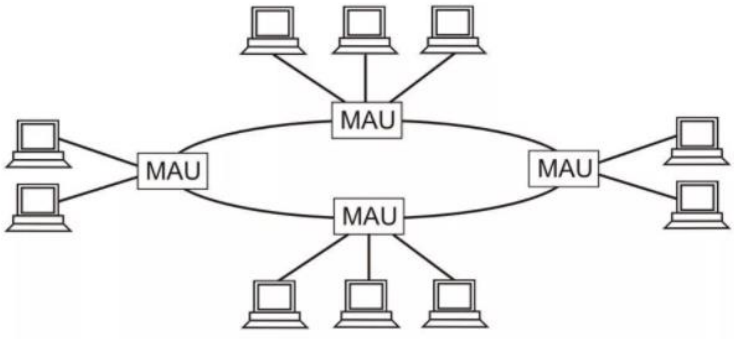


Рис. 2. Топология Ethernet – звездно-кольцевая

Большое количество оборудования и стоимость. Для создания надежной сети с параллельным резервированием (PRP – *Parallel Redundancy Protocol*) необходимо использование большого количество сетевого оборудования. Так, протокол PRP подразумевает создание параллельной сети передачи данных, схему которой можно посмотреть на рис. 3. Плюс к этому узлы должны иметь возможность подключаться к обеим сетям, то есть посылать/передавать дублированные фреймы – DAN (*Dual Attached Node*) устройства. Если узел не имеет возможности подключаться сразу к двум сетям (SAN – *Single Attached Node*), то необходимо новое устройство. Так называемый RedBox (*Redundancy Box*), который принимает фрейм от SAN, дублирует его и передает в параллельные сети. Можно сказать, что SAN + RedBox представляет собой DAN. Использование всех данных устройств усложняет сеть, увеличивается количество используемой аппаратуры и удорожает его [3].

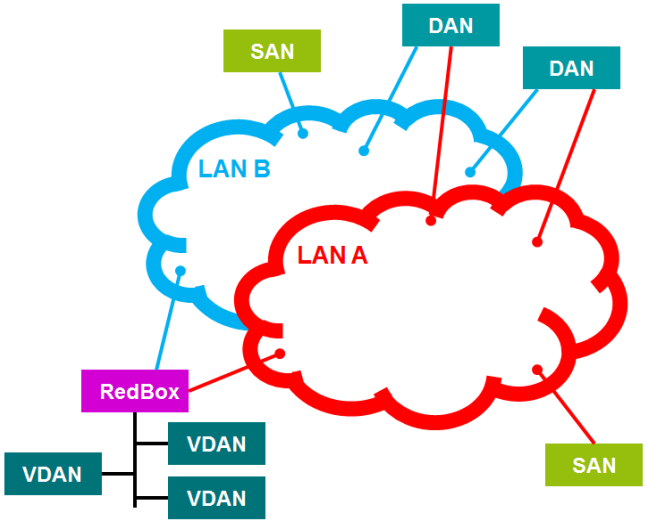


Рис. 3. Протокол PRP

Кибербезопасность. На данный момент стандартные подстанции используют большое количество микропроцессорных устройств для обмена данными, но возникает вместе с этим проблема информационной безопасности. Например, несанкционированное вмешательство в человеко-машинный интерфейс, доступ к линиям связи и подмена данных (вероятность вмешательства возрастает при использовании публичных сетей связи, таких как Internet, GSM и т. п.), атака на серверное оборудование и др. При использовании ко всем перечисленным проблемам добавляются угрозы вмешательства в шину процесса и синхронизации времени [4].

Совмещение устройств. Одна из главных идей стандарта МЭК 61850 состоит в возможности совмещения работы электронных интеллектуальных устройств различных компаний.

Стандарт оговаривает язык написания файлов конфигураций (SCL). Но все терминалы защиты написаны разными языками программирования, а в иных случаях и несколькими, поэтому для взаимодействия с ними надо знать язык каждого терминала. Отсутствует единая система автоматизированного проектирования (САПР), в котором могли бы писаться файлы конфигурации (ICD, IID, SSD, SCD, CID). Так же в программное обеспечение (ПО) некоторых устройств невозможно импортировать файл SCD, и приходится отдельно настраивать данное устройство.

В целом, перечисленные недостатки не несут в себе критические проблемы, но усложняют процесс внедрения, пуско-наладки и эксплуатации ЦПС.

Нормативная база. Стандарт МЭК 61850 в России только начинает развиваться, поэтому нормативная база только начинается свое развитие в области метрологии, проектирования, требования к сетевым устройствам. Данные стандарты вышли только в 2019 г. и потребуется время для их изучения и освоения [5–7].

Заключение

В настоящее время появилась тенденция когда, говоря о цифровой подстанции, отмечают только ее преимущества. Но, как было отмечено выше, у стандарта МЭК 61850 есть и недостатки.

К основным недостаткам можно отнести сложную топологию сети, по которым передаются данные, дорогое оборудование, кибербезопасность и сама новизна стандарта в нашей стране. Недостатки могут быть неявными, проявляющимися только в конкретных случаях, и могут казаться недостаточно важными.

Для правильного принятия решения о внедрении цифровых подстанций необходимо учитывать вышеуказанные проблемы.

Источники

1. Sidhu T.S., Yin Y. Modelling and Simulation for Performance Evaluation of IEC 61850 based Substation Communication Systems // IEEE Trans. On Power Delivery. 2007. Vol. 22, Is. 3. Pp. 1482–1489.

2. Tarlochan S. Sidhu, Mitalkumar G. Kanabar, and Palak P. Parikh, Implementation Issues with IEC 61850 Based Substation Automation Systems // Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC). Bombay, 2008. Pp. 473–478.

3. Протоколы «бесшовного» резервирования PRP и HSR [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/company/phoenix_contact/blog/443248/ (дата обращения: 05.03.2021).

4. Проблемы информационной безопасности подстанции и способы их решения [Электронный ресурс]. URL: http://digitalsubstation.com/blog/2016/02/17/problemy-informatsionnoj-bezopasnosti-podstantsii-i-sposoby-ih-resheniya/ (дата обращения: 05.03.2021).

5. СТО 56947007-29.240.10.265-2019. Общие требования к метрологическому контролю измерительных каналов ЦПС. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2019. 32 с.

6. СТО 34.01-21-004-2019. Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110–220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ. М.: ПАО «Россети», 2019. 114 с.

7. СТО 34.01-6-005-2019. Коммутаторы энергообъектов. Общие технические требования. М.: ПАО «Россети», 2019. 25 с.

УДК 621.316.925

УВЕЛИЧЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАЩИТ БЛИЖНЕГО И ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

А.С. Фролов, Ф.Р. Сиразутдинов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
darkmay34@gmail.com
Науч. рук. А.Н. Гавриленко

Проводится исследование актуальности применения алгоритмов построения измерительных органов для построения высокочувствительных резервных защит ближнего и дальнего резервирования.

Ключевые слова: релейная защита дальнего резервирования, адаптивная релейная защита, области аварийных режимов.

Для обеспечения электроэнергией потребителей, как промышленных предприятий, так и инфраструктур населенных пунктов, в настоящее время важную роль играют распределительные сети от 6 до 110 кВ.

Промежуточные и ответвительные подстанции этих сетей являются одними из основных источников питания и, следовательно, возникает необходимость обеспечивать их надежную работу. Помимо использования основных защит существенную роль в этом играет создание современных методов резервирования [1].

Резервные защиты, в первую очередь защиты дальнего резервирования, в ряде случаев не распознают аварийные режимы. Это часто происходит, например, за трансформаторами по причине небольших величин токов короткого замыкания, которые по величине сравнимы с токами нагрузок. Кроме этого, в настоящее время выделяют ряд ситуаций, затрудняющих определение аварийных режимов традиционными защитами дальнего резервирования: самозапуск или запуск мощных двигателей, переходные сопротивления в поврежденном участке, броски тока намагничивания, недостаточные величины напряжений симметричных составляющий в зоне установки защиты дальнего резервирования, и др. [2].

Одним из способов улучшения работы защит дальнего резервирования является повышение чувствительности. В соответствии с определением коэффициента чувствительности это обозначает, что необходимо добиться уменьшения величины срабатывания защиты (уставки) в случае применения измерительных органов максимального действия или увеличения величины срабатывания защиты минимального действия. Но это осложняется вышеприведенными проблемами дальнего резервирования. Отсюда возникает необходимость применения дополнительных способов разделения рабочих и аварийных режимов. Один из вариантов заключается в более четком отделении области нагрузочных режимов от аварийных. Кроме того важно учитывать стабильность работы измерительных органов.

Одной из идей усовершенствования распознавания и разделения режимов является увеличение числа информационных признаков. Для выявления коротких замыканий разделение режимов можно осуществить, если применить защиты, которые используют множество параметров, отображающих признаки режимов (многопараметрические защиты), или используют многомерное пространство признаков [3]. Развивать подобные идеи можно применяя токовые направленные защиты и защиты на базе мониторинга параметров, характеризующих аварийные режимы, в двумерном и трехмерном пространстве. Так, например, влияние переходного сопротивления возможно моделировать сопротивлением электрической дуги, а базисом для отсчета применять сопротивление трансформатора и вести дальнейшие расчеты параметров уже в многомерном пространстве.

Само увеличение чувствительности защит дальнего резервирования может быть достигнуто использованием аварийных составляющих, а также дальнейшего учета при расчетах уставок релейной защиты.

В случае применения типовых схем в сетях 6–110 кВ, которая представлена на рис. 1, для передающей стороны ВЛ существует возможность разделить друг от друга области нагрузочного и аварийного режимов. При этом использование контроля параметров в пространстве информационных признаков «реактивная составляющая тока – активная составляющая тока» для данной ВЛ можно обеспечить распознавание короткого замыкания за трансформатором *T*1. Однако, в ситуации, когда области нагрузочного и аварийного режимов пересекаются, на приемной стороне не возможно выявить КЗ за этим же трансформатором [4, 5].

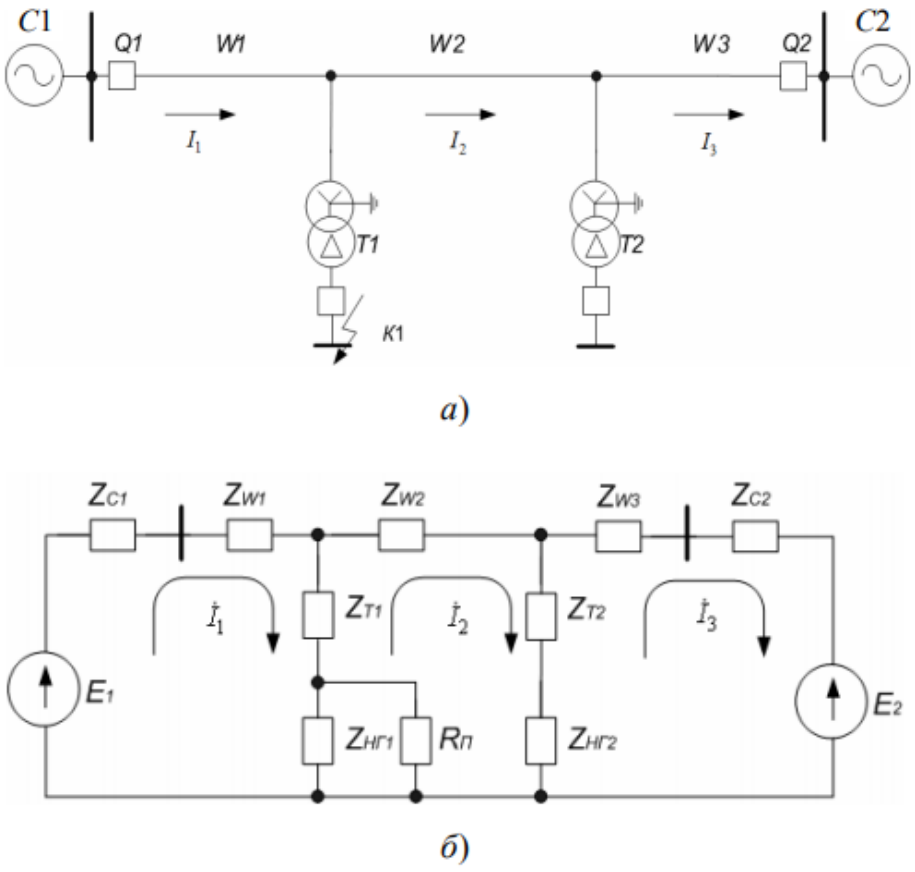


Рис. 1. Схема сети с транзитной ВЛ с ответвлениями (*а*) и ее схема замещения (*б*)

Разработка новых алгоритмов функционирования защит, построенных на базе контроля набора параметров с дополнительными признаками в многомерном пространстве, позволяет поднять чувствительность защит дальнего и ближнего резервирования и является перспективным направлением развития релейных защит.

Источники

1. Сиразутдинов Ф.Р. Повышение надежности защиты автотрансформатора с учетом ближнего и дальнего резервирования // Тинчуринские чтения: матер. XII Междунар. молод. науч. конф. Казань, 2017. Т. 1. С. 335–336.

2. Turn-to-turn fault monitoring methods in electrical power transformers – State of the art / M. Mostafaei [et al.]. DOI:10.1002/etep.2644 // International Transactions on Electrical Energy Systems. 2018. Vol. 28, Is. 12.

3. Анализ функционирования измерительных органов сопротивления с контролем аварийных составляющих / С.Л. Кужеков [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. 2008. Спец. выпуск. С. 100–101.

4. Бычков Ю.В., Васильев Д.С., Павлов А.О. Алгоритмические модели на примере защиты дальнего резервирования и определения места повреждения // Известия вузов. Электромеханика. 2010. № 6. С. 63–67.

5. Нагай И. В. Оценка влияния нагрузки на чувствительность токовых резервных защит // Известия вузов. Электромеханика. 2013. № 1. С. 108–110.

Секция 8. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 628.3:66.081

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ ОТ КАТИОНОВ МЕДИ ЗОЛОЙ ОТХОДОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ

А.А. Аджигитова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
aigul-83@mail.ru
Науч. рук. Л.А. Николаева

Показана необходимость исследований органических отходов в качестве вторичного энергетического ресурса для котла-утилизатора с дальнейшим использованием полученной золы для адсорбции ионов тяжелых металлов. Рассмотрена адсорбционная очистка сточных вод от ионов меди золой органических отходов. Определены химический состав и технологические характеристики органической биомассы, характеристики котла и токсичность образовавшейся золы. Изучен химический состав золы. Построены изотерма адсорбции в статических и выходная кривая адсорбции в динамических условиях катионов меди золой органических отходов. Сделан вывод о том, что применение адсорбционного метода позволяет обеспечить высокую степень очистки сточной воды и возможного ее повторного использования для технологических нужд предприятия.

Ключевые слова: органические отходы, сточные воды, гальваническое производство, сорбционный материал, ионы тяжёлых металлов, отходы потребления; адсорбция.

В последние годы в большинстве развитых стран особое внимание уделяется утилизации органической фракции городских отходов. Пищевые отходы составляют значительную долю органического материала (около 40 %), содержащегося в муниципальных отходах, которые образуются в жилом секторе, больницах, учебных и дошкольных заведениях, на объектах общественного питания и торговли [1].

В «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» (распоряжение Правительства РФ от 25 января 2018 г. № 84-р) отмечено, что несанкционированное размещение отходов, в том числе пищевых, на полигонах коммунальных и промышленных отходов существенно увеличивает экологическую и санитарно-эпидемиологическую

опасность территорий в зоне расположения данных объектов. Эта опасность вызвана неконтролируемыми аэробными и анаэробными процессами при биологическом разложении органических веществ, сопровождаемом выделением в окружающую среду токсичных соединений и парниковых газов.

Повсеместно возникающие стихийные свалки таких отходов создают высокий уровень негативного воздействия на компоненты природной среды в результате загрязнения почв и грунтовых вод патогенной микрофлорой, органическими, азотосодержащими веществами и тяжелыми металлами.

Некоторые исследования последних десятилетий показали, что содержащиеся в продуктах растительного происхождения (злаках, овощах, фруктах, ягодах, водорослях, мхах, грибах, древесных опилках, коре деревьев, пшеничных отрубях, льняном волокне и др.) пищевые волокна, как нерастворимые (целлюлоза, хитин), так и растворимые (пектины, инулин), способны эффективно связывать ионы тяжелых металлов [2–4]. Данное обстоятельство побуждает к разработке сорбционных методов очистки водных сред различной природы с применением полисахаридных биополимеров [5].

Сегодня большое количество отходов органического происхождения образуется не только на стадии производства, но и на стадии реализации пищевых продуктов. На рынках, в магазинах, компаниях по доставке продуктов питания ежемесячно образуются тонны отходов из продуктов, потерявших потребительские свойства. Такие отходы, как правило, вывозятся на свалки и полигоны что, естественно, сопровождается как экологическим ухудшением окружающей среды, так и существенными экономическими потерями от упущенных возможностей переработки вторичных материальных ресурсов, извлекаемых из отходов [1]. Дилерская компания ООО «Глобал Групп» специализируется на доставке продуктов питания в столовые, кафе, рестораны и другие предприятия общепита. Это, как правило, продукты, которые используются в приготовлении пищи для посетителей. В процессе деятельности компании ежемесячно образуется около 25 т отходов органического происхождения – продукты, потерявшие товарный вид и потребительские качества (поврежденные микроорганизмами).

Анализ состава отходов ООО «Глобал Групп» показал, что основную массу отходов (92,5 %) составляют зелень, овощи и фрукты. Данный материал называют органической биомассой.

По данным зарубежных и отечественных авторов [6] технологические характеристики и химический состав органической биомассы следующие: влажность – 47,1 %; зольность – 2,35 %; углерод – 32,4 %; водород – 3,01 %; сера – 1,04 %; азот – 1,5 %; кислород – 12,6 %; теплота сгорания – 22,0 МДж/кг.

Для проведения экспериментальных исследований взяты овощи, фрукты, зелень, потерявшие потребительские свойства (частично пораженные грибком плесени). Материал измельчался и выдерживался при температуре +25° С в течение двух недель, далее высушивался при температуре 105–110 °С до постоянной массы. Эксперимент проводился с сорбционным материалом фракцией 0,01–0,09 мм.

Полученные органические отходы предложено использовать в качестве вторичного энергетического ресурса для котла-утилизатора ДКВр-10-13, работающего на твердых отходах Елабужской ТЭЦ. Ниже приведены расчетные характеристики котла-утилизатора и токсичность образовавшейся золы:

а) влажность топлива – 3 %;

б) объем теоретически необходимого воздуха для сжигания 1 кг органических отходов – 3,67 $м^3$/кг;

в) действительный расход воздуха на 1 кг органических отходов – 4,037 $м^3$/кг;

г) массовый расход воздуха – 4,74 кг/кг;

д) теоретический объем продуктов сгорания – 4,27 $м^3$/кг;

е) объем дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу – 1,32 $м^3$;

ж) выбросы:

– твердых частиц в дымовых газах – 24,44 (77,5) т/год (г/с);

– оксидов углерода – 424,51 (1 346,11) т/год (г/с);

з) валовый выброс:

– оксидов азота в пересчете на диоксид азота – 21,44 (67,99) т/год (г/с);

– оксидов серы в пересчете на диоксид серы – 2 049,11 (6 497,69) т/год (г/с);

и) КПД брутто котла – 84,1 %;

к) расход топлива:

– общий – 0,341 кг/с;

– расчетный с учетом потери тепла от механической неполноты горения – 0,321 кг/с;

л) степень опасности золы для окружающей среды 93,59 (класс опасности IV).

Химический состав золы, полученной после сжигания в котле-утилизаторе, представлен на рис 1.

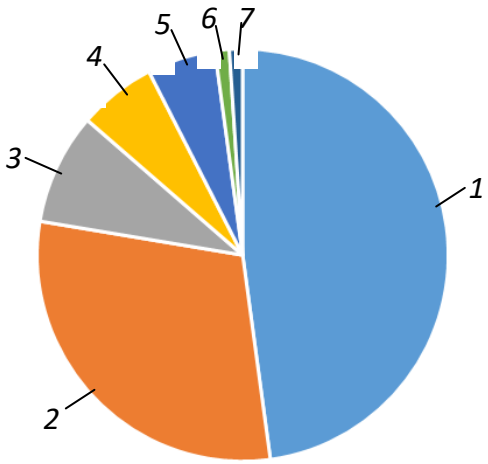


Рис. 1. Химический состав золы органических отходов, %: *1* – CaO (47,85); *2* – SiO_2 (29,78); *3* – MgO (8,73); *4* – $A1_2O_3$ (6,10); *5* – Fe_2O_3 (5,38); *6* – TiO_2 (1,12); 7 – SO_3 (1,04)

Для оценки адсорбционной способности золы по отношению к катионам меди проведены исследования на модельных растворах $CuSO_4 \times 5H_2O$ концентрацией 100 мг/дм^3. Исследования адсорбции ионов меди велись в статическом режиме. Оценка адсорбционной способности сорбента по отношению к растворенным ионам меди осуществлялась с помощью изотермы адсорбции (рис. 2). Изотерма адсорбции относится к типу *I* по классификации Брунауэра, Демина и Теллера, соответствует изотерме Ленгмюра *L*-типа.

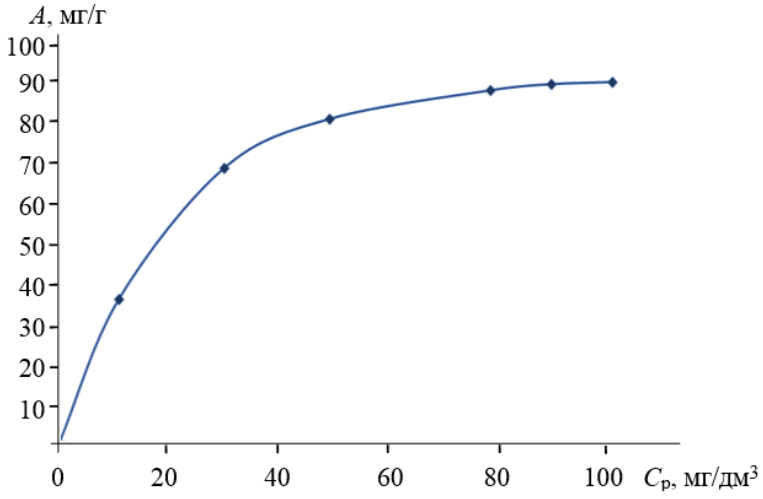


Рис. 2. Изотерма адсорбции ионов Cu^{2+} гранулированным сорбционным материалом

На практике при очистке сточных вод промышленных предприятий от ионов тяжелых металлов используются адсорбционные или ионообменные фильтры с гранулированной загрузкой. Поэтому на основе мелкодисперсной золы разработан гранулированный сорбционный материал (ГСМ).

Для получения гранул зола с размером частиц от 0,01 до 0,09 мм смешивается с жидким натриевым стеклом при массовом и объёмном соотношении 2:1, соответственно. Данное соотношение подобрано экспериментальным путем. При меньшем соотношении происходит неполное пропитывание шлама жидким натриевым стеклом, при последующем обжиге гранулы осыпаются; при большем соотношении происходит перерасход связующего. Далее смесь доводится до однородной массы, окатывание гранул производится вручную. Образовавшиеся гранулы выдерживаются в печи при температуре 400 °С в течение 3 ч. Далее проводится охлаждение до комнатной температуры в эксикаторе. Гранулы имеют размер 0,5–2,5 мм, характеризуются средней гидрофильностью (влагоемкость – 14 % масс.). Технические характеристики полученного гранулированного материала: суммарный объём пор – 0,587 $см^3/г$; удельная поверхность – 45,7 $м^2/г$; насыпная плотность– 549 $кг/дм^3$; прочность на истирание – 76 %.

Для производственных процессов большое значение имеет изучение адсорбции ионов тяжелых металлов в динамических условиях. По сравнению с адсорбцией в статических условиях адсорбция в динамических условиях имеет технологические, эксплуатационные и экономические преимущества. Адсорбция в динамических условиях позволяет более полно использовать емкость сорбента. Процесс адсорбции ионов меди исследован на ГСМ размером 0,5–2,5 мм на лабораторной установке, которая представляет собой фильтровальную стеклянную колонку диаметром 25 мм. Концентрация ионов меди в модельном растворе равна 50 $мг/дм^3$ и является средней на входе в адсорбционный фильтр. Высота слоя загрузки – 20 см, масса – 58 г, скорость фильтрации – 3,3 м/ч.

Проскок ионов меди фиксируется при концентрации 1 $мг/дм^3$. На рис. 3 показана кривая адсорбции катионов меди ГСМ в динамических условиях.

В ходе эксперимента определены динамическая обменная емкость ДОЕ = 145,3 мг/г (объем пропущенной воды – 170 $дм^3$) и полная обменная емкость ПОЕ = 284,9 мг/г (объем пропущенной воды – 315 $дм^3$) по отношению к катионам меди.

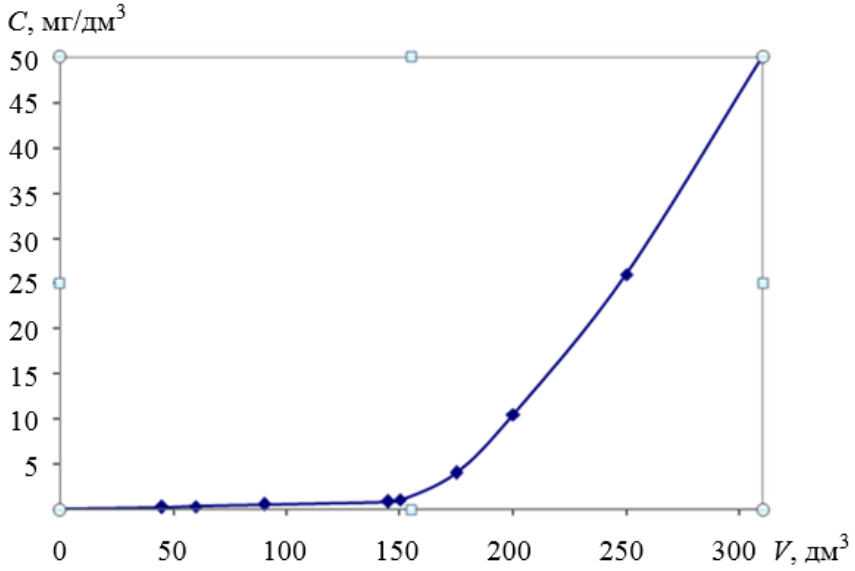


Рис. 3. Кривая адсорбции катионов меди золой органических отходов в динамических условиях

В работе показана необходимость исследований органических отходов в качестве вторичного энергетического ресурса для котла-утилизатора с дальнейшим использованием полученной золы в качестве адсорбента ионов тяжелых металлов.

Определены химический состав и технологические характеристики органической биомассы, характеристики расчета котла и токсичность образовавшейся золы. Изучен химический состав золы.

Построены изотерма адсорбции в статических и выходная кривая адсорбции в динамических условиях катионов меди золой органических отходов.

Применение адсорбционного метода очистки позволяет обеспечить высокую степень очистки сточной воды и возможность ее повторного использования для технологических нужд предприятия.

Источники

1. Соломин И.А. Организация системы управления муниципальными органическими отходами // Природообустройство. 2019. № 2. С. 60–65.

2. Сорбционные свойства ферментативно модифицированного льняного волокна / Т.Е. Никифорова [и др.] // Журнал прикладной химии. 2007. Т. 80, № 2. С. 236–241.

3. Сорбционные свойства «пищевых волокон» во вторичных продуктах переработки растительного сырья / С.С. Ставицкая [и др.] // Журнал прикладной химии. 2001. Т. 74, № 4. С. 575–578.

4. Removal of Cu and Pb by Tartaric Acid Modified Rise Hask from Aqueous Solutions / K.K. Wong [et al.] // Chemosphere. 2003. Vol. 50, Is. 1. Pp. 23–28.

5. Никифорова Т.Е., Козлов В.А., Модина Е.А. Сольватационно-координационный механизм сорбции ионов тяжелых металлов целлюлозосодержащим сорбентом из водных сред // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 23–30.

6. Осьмак А.А., Серегин А.А. Растительная биомасса как органическое топливо // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 2, № 8 (68). С. 57–61.

7. Минлигулова Г.А., Шайхиев И.Г. Исследование очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, стоками нефтехимических производств // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 6. С. 166–171.

8. Лупейко Т.Г., Баян Е.М., Горбунов М.О. Исследование техногенного карбонатосодержащего отхода для очистки водных растворов от ионов никеля (II) // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77, № 1. С. 87–91.

9. Мур Д.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / пер. с англ. Д. В. Гричука [и др.]; под ред. Ю. Е. Саета. М. : Мир, 1987. 285 с.

УДК 615.479.42

ТИПЫ МАСОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗАХ КАЗАНИ

Ш. Алали[1], Хассан Ф. Алхадж[2], А. Альзаккар[3]
[1]ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань
[2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Sharife524@gmail.com
Науч. рук. Р.Ю. Галимзянова

Рассматриваются некоторые виды медицинских масок и респираторов и их стоимость в Казани, чтобы обеспечить максимальную безопасность научных работников и студентов в случае вирусной эпидемии Ковид-19. Важность исследования обусловлена необходимостью ознакомить студентов с широким спектром средств индивидуальной защиты.

Ключевые слова: медицинские маски, индивидуальная защита, Ковид-19.

Маски в повседневной жизни успешно защищают дыхательные пути людей от воздушно-капельных инфекций [1]. Поэтому вследствие распространения COVID-19 вырос спрос на медицинские маски.

Пандемия коронавируса – это однозначный повод к использованию средств индивидуальной защиты (СИЗ) на постоянной основе. Главным из них является лицевая маска или респиратор. С целью обеспечения максимальной безопасности медицинских работников и населения в условиях вирусной эпидемии важен анализ ассортимента лицевых масок и респираторов. Актуальность исследования обусловлена необходимостью ориентации населения студентов в широком ассортименте СИЗ.

Самая простая защита кожи лица и органов дыхания от различных мелких частиц – маски из нетканых материалов, которые прикрепляются к затылку, так называемые медицинские (профилактические) маски, которые можно купить в любой аптеке.

Долгое время такие медицинские маски использовались преимущественно хирургами в операционных. Таким образом, снизился риск передачи возможных инфекций пациенту воздушно-капельным путем, а кожа лица врача была защищена от попадания на нее биологических жидкостей во время операций. Лечебная маска обеспечивает эффективную защиту в течение двух часов, затем ее меняют [2].

Существуют нсколько различных видов защитных масок для лица: от хлопчатобумажных пылезащитных до респираторов с фильтрами трех категорий, соответствующих европейскому стандарту респираторной защиты.

Респираторы класса защиты FFP1 (*Filtering Face Piece*) обычно применяются для защиты от нетоксичной пыли в сельскохозяйственной, пищевой, деревообрабатывающей, строительной промышленности, при работах на каменоломнях и известняковых барьерах. Класс FFP1 имеет низкий уровень защиты, способность защитить от попадания в дыхательные пути крупных частиц. Предназначены для общего использования.

Респираторы класса защиты FFP2 способны удерживать 94 % вредных веществ. Они применяются для защиты от среднетоксичной твердой асбестовой, медной, бариевой, титановой, ванадиевой, хромовой, марганцевой пыли. Респираторы подходят также для работы в местах с содержанием в воздухе вредной канцерогенной пыли, дыма и аэрозолей на основе масла и воды. Предлагаются для защиты от попадания бактерий.

Респираторы класса защиты FFP3 являются самыми надежными, отфильтровывающими 99 % твердых и жидких частиц. Они обладают наиболее крупными и многослойными фильтрами и незаменимы, к примеру, при осуществлении работ с особо опасными материалами, в частности, при шлифовании и резке стекла, сварке нержавеющей стали и алюминия. Эти респираторы используются в зонах наиболее высокого риска и способны защищать от особо опасных вирусов и радиации. При прямом контакте

с тяжелыми пациентами рекомендуется использовать маскиреспираторы с максимальным уровнем защиты. Для ежедневного использования в окружающей среде в период коронавируса используются обычные трехслойные маски 1-го или 2-го типов. Следующие поколения масок – наномаски, которые могут блокировать частицы размером 0,027 мкм (средний размер вируса – 0,1 мкм), недостатком является высокая стоимость [2, 3].

Медицинские маски могут быть тканые (например, хлопчатобумажные) и нетканые. Выделяют три основных материала:

1) спанбонд (С) – полипропиленовые нити, пористый паронепроницаемый материал нетканого типа. Он надежно защищает от щелочей и кислот;

2) мельтблаун (М) – сетка из полипропиленовых волокон толщиной 0,01−0,02 дтекс. Материал хорошо защищает от любых мелких частиц.

3) СМС – сочетание слоев спанбонда и мельтблауна в различных соотношениях.

Наиболее эффективными являются маски, в которых защитные слои изготовлены из различных материалов. Например, сочетание спанбонд-мельтблаун-спанбонд (СМС) является наиболее хорошим и эффективным, при этом сочетании уровень фильтрации достигает около 90 %, в маске комфортно дышать. Антибактериальные свойства СМС в несколько раз выше в сравнении с традиционным спанбондом (см. таблицу) [3].

Характеристика и цена в Казани некоторых видов медицинских масок и респираторов

Преимущества	Недостатки	Цена, руб.
Одноразовые маски на резинках		
– выполнены из 3-х слоев материала; – рекомендованы ВОЗ, FDA и МЗ РФ; – обеспечивают базовый уровень фильтрации; – проницаемы для воздуха и приемлемая цена	– одноразовое применение; – время ношения – не более 4-х ч; – плохое прилегание и фиксация	от 20
Многоразовые маски из неопрена		
– гипоаллергенный материал способен останавливать влагу, задерживать болезнетворные бактерии; – плотное прилегание, комфортное ношение и разнообразие цветов	– блокирует выход тепла – лицо может преть; – нежелательная влажная среда; – запотевание очков	от 100
Респиратор 3М FFP3		
– идеальное анатомическое прилегание к лицу; – не сковывает мимику и не мешает разговору	– высокая стоимость	от 300

Заключение. В этой статье мы объяснили три типа масок, доступных на рынке Казани, их характеристики и упомянули цены на некоторые доступные маски, чтобы обеспечить максимальную безопасность в университетах Казани. Следует отметить, что во время эпидемии Covid-19 эти медицинские маски становятся все более актуальными для аптечных организаций, они являются социальным продуктом. Увеличивается их объем продаж.

Источники

1. Иванов В.А., Часовская Ю.С. Маски – индивидуальные средства защиты от воздушно-капельных инфекций // Интегративные тенденции в медицине и образовании. 2020. № 3. С. 47–53.
2. Защита от коронавируса: какая маска лучше [Электронный ресурс]. URL: https://p.dw.com/p/3XQjD (дата обращения: 17.02.2020).
3. Ибрагимова Г.Я., Иксанова Г.Р. Маркетинговый анализ рынка медицинских масок и респираторов // Медицинский вестник Башкортастана. 2020. Т. 15, № 3 (87). С. 68–72.

УДК 614.712

МЕРОПРИЯТИЯ ПО НОРМАЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ

М.А. Барова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
barovamargo@mail.ru
Науч. рук. М.А. Кузнецова

Проведено исследование влияния освещенности помещения и цветоощущения на человека. Выявлены основные причины недостаточной освещенности, даны рекомендации по их устранению.

Ключевые слова: освещенность, помещение, работник, свет, условия, рабочее место.

Исследование влияния освещенности помещения и цветоощущения являются на сегодняшний день актуальной задачей. Важно понимать, что от данных факторов зависит не только работоспособность, но и самочувствие человека.

Существует несколько видов освещения: естественное и искусственное [1]. Естественное освещение способствует повышению работоспособности, поскольку яркий и насыщенный свет (солнечный или свет неба)

не раздражает зрительный аппарат [2]. К тому же, наблюдается положительное влияние на эмоциональное и психическое состояние человека. Солнечный свет не вызывает усталость, заболеваний центральной нервной системы, головных болей, оказывает положительное влияние на организм в целом [3].

С целью обеспечения нормального уровня освещенности в помещении необходимо исключить:

– низкий уровень освещенности;

– отсутствие или недостаточность естественного света;

– слепящее воздействие источников света и их пульсацию [4].

В случае необходимости следует предпринять следующие меры:

1) выбрать рабочее место в помещении, где есть оконные проемы;

2) сократить время пребывания работника в недостаточно освещенном естественным светом помещении;

3) находиться в помещении только в светлое время суток.

При недостаточной естественной освещенности следует оборудовать рабочий стол и зону обслуживания местным освещением.

При ярком свете и его неравномерном распределении необходимо светорассеивающее оборудование светлых тонов (светло-серый и т. д.). В противном случае, нужно воспользоваться светильниками, перекрытыми рассеивателями, плафонами из молочного стекла, а также соблюдать высоту их подвеса [5].

Для исключения отраженной блескости необходимо применять антибликовые покрытия и специальные защитные фильтры, использовать матовые покрытия (окраску) рабочих поверхностей и поверхностей оборудования [5].

В ходе исследования цветоощущения были выявлены следующие закономерности (см. таблицу).

Влияние цвета помещения на человека, работающего в помещении

Цвет помещения	Влияние на работника
Желто-оранжевый	Способствует творческому мышлению и хорошему настроению, визуально «расширяет» помещение, в котором работает сотрудник
Красный и сине-зеленый	Стимулирует общую работоспособность человека
Желтый и желто-зеленый	Уменьшает умственное напряжение

В результате, мы произвели анализ влияния таких факторов освещения, как освещенность, его уровень, а также наличие естественных источников освещения. Порекомендовали меры для улучшения рабочего места в помещении. Кроме того, мы выяснили основные цвета в освещении,

которые будут благоприятно сказываться на работоспособности человека. Смогли улучшить меры по созданию оптимальных показателей на всей рабочей зоне.

Источники

1. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. М., 2016. 102 с.

2. Положение о порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда: приложение к постановлению Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 14 марта 1997 г. № 12. URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=23397 (дата обращения: 21.02.2021).

3. Гигиенические критерии оценки условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса: Руководство. М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1994. 44 с.

4. Кроль Ц.И., Мясоедова Е.И., Терешкевич С.Г. Качество промышленного освещения. М.: Энергоатомиздат, 1991. 225 с.

5. ГОСТ 17677-82 (СТ СЭВ 3182-81). Светильники. Общие технические требования.-М: Издательство стандартов, 1989. 112 с.

УДК 628.345.9

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД АВТОМОЕЧНОГО КОМПЛЕКСА

И.Р. Басыров
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Ilmir.basyrov.14@mail.ru
Науч. рук.: Э.Р. Бариева, Е.В. Серазеева

Рассматривается вопрос повышения эффективности очистки сточных вод автомоечного комплекса.

Ключевые слова: сточные воды, локальные очистные сооружения, коалесцентный модуль, биологическая очистка, коагуляция, алюминиевые квасцы.

В связи с увеличением автомобильного парка на территории Российской Федерации чуть ли не ежедневно появляются все больше и больше станций по обслуживанию автомобилей. В частности, высоким спросом

пользуются услуги по коммерческому клинингу. Предприятия, занимающиеся мойкой автомобилей, оказывают значительное негативное воздействие на компоненты городской среды [1].

На многих автомоечных комплексах для очистки сточных вод используются локальные очистные сооружения (далее – ЛОС) серии ЛиКа-2П, включающие в себя 3 модуля: коалесцентный (далее – КС), фильтрационный и сорбционый. Сточные воды после мойки автомобилей стекают в накопительный резервуар, где происходит первичное отстаивание. Вода избавляется от крупнодисперсных частиц взвешенных веществ (далее – ВВ). Как только происходит накопления вод до уровня срабатывания поплавкового механизма, включается погружной насос, который подает сточные воды непосредственно на ЛОС. Установка ЛиКа-2П представляет собой прямоугольный металлический резервуар (толщина стенки – 3 мм), разделенный на 3 модуля (снизу вверх), КС, фильтрующий и сорбционный.

КС модуль состоит из натянутых искусственных водорослей, проходя через которые сточная вода избавляется от нефтепродуктов (далее – НП) и части ВВ. Происходит прилипание загрязнений на поверхность водорослей и при достижении определенного размера, отслаивание и осаждение на днище установки. Второй модуль представляет собой мешки с фильтрующей загрузкой из керамзитного гравия, сточная вода при прохождении через них очищается от мелкодисперсных ВВ и эмульгированных НП. Далее для доочистки от растворенных НП вода попадает в сорбционный модуль, представляющий собой мешки с загрузкой из активированного угля марки БАУ – А, после чего уже очищенная вода подается в бак чистой воды, для повторного использования [2].

Основными загрязнениями сточных вод после мойки автомобилей являются взвешенные вещества и нефтепродукты. Концентрация ВВ в них зависит от большого числа факторов: типа автомобиля, его размера, характера дорожного покрытия, сезонных условий, состава грунтов в районе эксплуатации, периодичности мойки и типа применяемой мойки. Основной особенностью содержащихся в стоке НП является их слабая эмульгированность и адсорбция на высококонцентрированную взвесь. Были проведены исследования состава сточных вод предприятия (см. таблицу).

По данным представленным в таблице выявлено, что концентрация нефтепродуктов, выше допустимых показателей для автомоечного комплекса. Такая высокая концентрация НП в очищенной воде, повышает износ оборудования и приводит к увеличению потребления водопроводной воды. Так же стоит учитывать ухудшение качества мойки и потерю потенциальных клиентов, и как следствие, прибыли.

Состав сточных вод автомоечного комплекса

Показатели	До очистки	После очистки	Допустимые значения для автомойки
Химическое потребление кислорода, мг/л	1 400	813	–
Биохимическое потребление кислорода, мг/л	590	285	–
Взвешенные вещества, мг/л	680	40	40
Нефтепродукты, мг/л	190	29,5	15

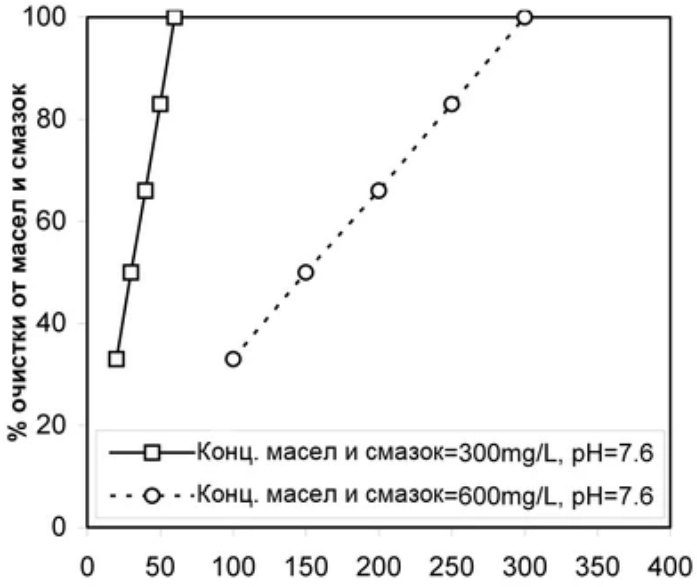
Для повышения эффективности очистки сточных вод от НП предлагается внедрение установки комплексной очистки УКО-2КМ с использованием в качестве коагулянта алюминиевых квасцов с порошковым бентонитом (грунтовый материал с высокой пластичностью).

Установка представляет собой прямоугольную емкость, разделенную на 4 камеры: флотационную, тонкослойной очистки, механического фильтра и аккумулятора чистой воды. Сточная вода проходит 3 степени очистки, после чего попадает в буферный бак, откуда забирается на нужды автомоечного комплекса. Применение алюминиевых квасцов с порошковым бентонитом в качестве коагулянта позволит интенсифицировать хлопьеобразование в первой, флотацинонной, камере УКО-2 КМ. Тем самым увеличив количество задержанных во флотационной камере эмульгированных нефтепродуктов. Такой подход с использованием в качестве коагулянта алюминиевых квасцов с порошковым бентонитом основан на высокой эффективности данной добавки в слабокислых и нейтральных водах [3].

По началу в качестве коагулянта рассматривались несколько видов реагентов. Это алюминиевые квасцы ($Al_2(SO_4)_3$ $12H_2O$, алюминиевые квасцы с порошковым бентонитом (грунтовый материал с высокой пластичностью), сульфат железа ($FeSO_4$, $7H_2O$) и, хлорид кальция ($CaCl_2$) с бентонитом.

Проведенные исследования по выявлению эффективности очистки сточных вод автомоечного комплекса с применение данных реагентов показали, что алюминиевые квасцы в сочетании с порошкообразным бентонитом продемонстрировали наиболее высокую эффективность хлопьеобразования при меньшей потребности по сравнению с таковой для сульфат железа и хлорида кальция.

Кривая эффективности коагуляции нефтепродуктов с добавлением алюминиевых квасцов с порошковым бентонитом в сточной воде представлена на рисунке [4].



Эффективность коагуляции с применением алюминиевых квасцов
с порошковым бентонитом

Таким образом, применение установки УКО-2КМ с использованием алюминиевых квасцов с порошковым бентонитом в качестве коагулянта, позволит добиться снижения концентрации загрязнителей и повысит степень очистки сточных вод до необходимых для автомоечного комплекса показателей, порядка 99,9 %.

Источники

1. Установка очистки поверхностных сточных вод по ТУ 4859-003-70892810-2005. 2015 г.

2. УКО-2км. Очистное сооружение для автомойки [Электронный ресурс]. URL: http://auto-oborudovanie.ru/component/zoo/uko-2km-ochistnoe-sooruzhenie-dlya-avtomojki (дата обращения: 10.02.2021).

3. Корректировка pH при коагуляции природных вод кислым коагулянтом [Электронный ресурс]. URL: https://filtravod.ru/literature/tema1_1 (дата обращения: 13.02.2021).

4. Очистные сооружения на СТО [Электронный ресурс]. URL: https://www.vo-da.ru/articles/ochistnyie-soorujeniya-na-sto/rezultatyi effektivnost-biologicheskogo-metoda (дата обращения: 06.03.2021).

УДК 628.3

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ ЖКХ

А.Л. Батырова[1], А.Н. Семенова[2], П.А. Шарымов[3]
[1]АО «Высокогорские коммунальные сети», с. Высокая Гора
[2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]aigul_ruz2015@mail.ru, [2]s-semenowa2014.semenova@yandex.ru, [3]sharymov10@mail.ru
Науч. рук.: Бариева Э.Р., Серазеева Е.В.

Проводится анализ эффективности очистки сточных вод на предприятии ЖКХ с помощью лабораторных исследований. Предлагается техническое решение по усовершенствованию системы очистки сточных вод на предприятии.

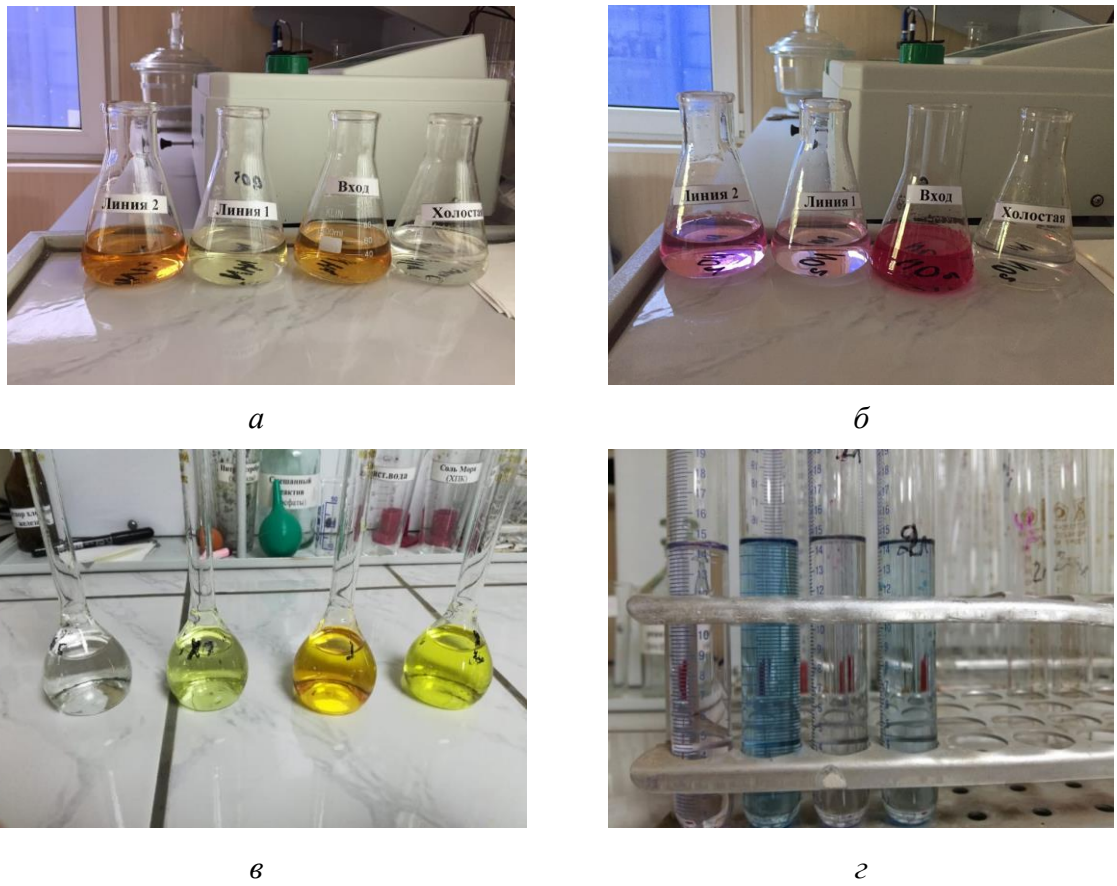
Ключевые слова: очистка, сточные воды, биологические очистные сооружения, предприятие ЖКХ.

Водоотведение и очистка коммунально-бытовых сточных вод – одна из главных экологических проблем урбанизированных территорий, которая остается актуальной в течение нескольких десятилетий [1].

Аналитической лабораторией предприятия проводятся исследования эффективности очистки сточных вод на биологических очистных сооружениях канализации (БОСК) по следующим веществам: взвешенные вещества [2]; $БПК_5$ [3] (рис. 1); аммоний-ион [4] (рис. 2, *а*); нитриты [5] (рис. 2, *б*); фосфаты [6]; нитраты [7] (рис. 2, *в*); сульфаты [8]; хлориды [9]; синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) [10] (рис. 2, *г*); нефтепродукты [11].



Рис. 1. Фиксация растворенного кислорода



а *б*

в *г*

Рис. 2. Исследование сточной воды на концентрацию аммоний-иона (*а*), нитрит-иона (*б*), нитрат-ионов (*в*) и анионных поверхностно-активных веществ (*г*)

Допустимые нормативы загрязняющих веществ (ЗВ) в сточных водах, которые допущены к сбросу в централизованную хозяйственно-бытовую канализацию села и эффективность очистки сточных вод на БОСК приведены в таблице [12].

Эффективность очистки сточных вод на БОСК

Показатель	НДС, т/год	Содержание ЗВ, т/год			
		на входе	на выходе	на 500 м выше точки сброса	на 500 м ниже точки сброса
Взвешенные вещества	13,52	306,6	11,05	11,92	10,25
БПК5	2,0	163,5	4,1	3,06	3,1
Аммоний-ион	0,50	63,0	0,86	0,22	0,17
Нитриты	0,08	<0,02	0,26	0,1	0,12
Фосфаты	1,04	7,8	1,23	0,29	0,17
СПАВ	0,50	2,73	0,32	0,04	0,11
Нефтепродукты	0,05	1,99	0,04	0,04	0,04
Нитраты	39,1	1,38	41,3	9,25	9,55
Сульфаты	100	84,0	97,0	343,75	338,75
Хлориды	150,7	90,25	89,75	19,0	19,97

По результатам лабораторных исследований можно сделать вывод о том, что БОСК не справляются с поставленной задачей в связи с увеличением объема приходящих сточных вод. Мощности действующих линий не хватает для очистки сточных вод до допустимых показателей. В связи с этим был разработан комплекс природоохранных мероприятий, направленных на повышение качества очищенных сточных вод.

С целью повышения суммарной эффективности удаления загрязнений на БОСК было разработано предложение по строительству новой аналогичной технологической линии биологической очистки сточных вод. Так как наибольшие превышения наблюдаются по таким компонентам, как аммоний-ион, нитрит-ион и нитрат-ион было предложено внедрение в данный комплекс после первичных отстойников процесса денитрификации с использованием мешалок погружного типа.

Таким образом предложенное техническое решение по усовершенствованию технологии очистки сточных вод является экологически и экономически выгодным для предприятия.

Источники

1. Справочник химика 21 [Электронный ресурс]. URL: http://chem21.info/info/639203 (дата обращения: 10.03.2021).

2. ПНД Ф 14.1:2:3.110-97. Методика измерений массовой концентрации взвешенных веществ в пробах природных и сточных вод гравиметриче-ским методом. М.: Акватест, 2016. 12 с.

3. ПНД Ф 14.1:2.100-97. Методика выполнения измерений химического потребления кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод титриметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293832/4293832507.htm (дата обращения: 10.03.2021).

4. ПНД Ф 14.1:2.1-95. Методика измерения массовой концентрации ионов аммония в сточной воде фотометрическим методом с реактивом Несслера. М.: Изд-во стандартов, 1995. 18 с.

5. ПНД Ф 14.1:2:4.3-95. Методика измерения массовой концентрации нитрит-ионов в сточной воде фотометрическим методом с реактивом Грисса. М.: Изд-во стандартов, 2011. 12 с.

6. ПНД Ф 14.1:2:4.112-97. Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808593.pdf (дата обращения: 10.03.2021).

7. ПНД Ф 14.1:2.4-95. Методика измерения массовой концентрации нитрат-ионов в сточной воде фотометрическим методом с салициловой кис-лотой. М.: Изд-во стандартов, 1995. 18 с.

8. ПНД Ф 14.1:2.159-2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфат-ионов в пробах природных и сточных вод турбидиметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293837/4293837363.htm (дата обращения: 10.03.2021).

9. ПНД Ф 14.1:2:4.111-97. Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах меркуриметрическим методом [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808595.htm (дата обращения: 10.03.2021).

10. ПНД Ф 14.1:2:4.15-95. Методика измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в питьевых, поверхностных и сточных водах экстракционно-фотометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808613.pdf (дата обращения: 10.03.2021).

11. ПНД Ф 14.1:2:4.5-95. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектрометрии [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293808/4293808609.htm (дата обращения: 10.03.2021).

12. Батырова А., Серазеева Е.В., Бариева Э.Р. Повышение степени очистки сточных вод на предприятии коммунального хозяйства // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов (ELPIT-2019): сб. тр. 7-го Междунар. эколог. конгресса (9-й Междунар. науч.-технич. конф.). Самара, 2019. Т. 5. С. 17–22.

УДК 504.064

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Д.Д. Волкова
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», г. Москва
Dashavolkova412@Gmail.Com
Науч. рук. А.М. Боровкова

Определена важность внедрения для предприятий платного природопользования и расчета оценок экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. Проанализированы методики ущерба от загрязнения, которые существуют на данный момент.

Ключевые слова: экономический ущерб, косвенная оценка, прямой счет, загрязнение, природопользование.

Все больше внимания в мире стало уделяться вопросам о проблемах отрицательного воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду. Загрязнение атмосферы, водных источников, почв, снижение качества продукции и условий жизни населения чаще всего происходит из-за несовершенства применяемых технологий и технических средств. Из-за этого происходят недопустимые выбросы, которые в дальнейшем негативно влияют на окружающую среду и человека. В результате каких-либо событий или явлений, в частности негативных, возникают фактические или возможные потери, которые называются ущербом. Под экологическим ущербом природной среде понимают дополнительные затраты, связанные с необходимостью устранить загрязнение в окружающей среде, остановить ее разрушение, истощение запасов полезных ископаемых и восстановление природной экосистемы, вышедшей из строя [1].

Экономическая оценка ущерба является ключевым показателем для решения задач по уменьшению вредных выбросов. Результаты оценки используются в дальнейшем при разработке программ социально-экономического развития. При предварительном анализе оценки иногда можно установить, что данный ущерб наносить не целесообразно, а более рационально направить средства на выбор соответствующих природоохранных мероприятий и технологий. Угроза необходимости компенсировать данный ущерб также становится мощным стимулом предотвращения загрязнения окружающей среды в будущем. С помощью оценки ущерба формируется механизма платного природопользования. Кроме того, величина ущерба требуется для определения затрат природного капитала предприятием и формирования его экологического статуса, влияющего на предоставление/лишение льгот, субсидий.

В состав экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды могут входить упущенные выгоды от загрязнения окружающей среды, затраты на снижение (ликвидацию) загрязнения, а также на экологическую реабилитацию загрязненной территории [2].

В качестве нормативной базы при расчете антропогенного ущерба целесообразно опираться на положения Федерального закона «Об охране окружающей среды» и Гражданского кодекса РФ [3]. В данных документах даются общие принципы оценки и возмещения вреда и убытков, включая вред, причиненный окружающей природной среде в результате экологического правонарушения.

При оценке экономического ущерба от загрязнения используются два основных методических подхода: прямой счет (реципиентный) и косвенная оценка (эмпирическая) [4]. Главное различие в этих подходах в том, что прямой счет учитывает состояние окружающей природной среды, а косвенное воздействие учитывает только объем и характеристику вредных веществ.

1. Прямой счет базируется на определении экономического ущерба от действия загрязнения на конкретные виды реципиентов. Это осуществляется путем суммирования различных составляющих потерь, которые нанося вред в пределах загрязненной зоны и выражены в денежной форме. Определение ущерба способом прямого счета выполняется на базе оценки состояния природных ресурсов до загрязнения и после. А качество и свойства окружающей природной среды расценивают по степени отклонения ее фактических параметров от «эталонных» значений, описывающих нормальное состояние среды.

Недостатки данного метода:

– сложности в подборе района, в котором все показатели были бы одинаковыми показателям загрязненного района;

– целый ряд показателей из-за недостатка информации вообще не может быть количественно учтен;

– контрольный район не может быть абсолютно чистым;

– трудности при оценке экономического ущерба из-за сбора первичной информации. К основным факторам можно отнести отсутствие централизованного и специализированного сбора данных.

2. Косвенная оценка основана на использовании нормативных показателей и характеристик зависимости экономического ущерба от различных факторов. Используется перенесение на конкретный исследуемый объект общих закономерностей, который предполагает использование системы нормативных показателей, фиксирующих зависимость негативных последствий от основных факторов. Данный метод более применим к негативным процессам, имеющим массовый характер.

Однако есть также ряд общих недостатков, связанных, с принятыми допущениями данной модели:

– недостаточна дифференциация некоторых коэффициентов относительной опасности для загрязняющих веществ, сбрасываемых как в водные источники, так и выбрасываемых в атмосферу с учетом оценки риска для здоровья населения от комплексной химической нагрузки;

– не учитываются синергетические эффекты;

– отсутствие учета соединений некоторых вредных веществ;

– не учитывается повышенная степень опасности для здоровья человека выбросов от стационарных источников, и высота источника выброса;

– не учитываются отраслевые особенности воздействия;

– приводимые расчеты по определению ущерба трудоемки, требуют большого количества информации;

– показатели удельного экологического ущерба, либо занижены, либо не имеют достаточного научного обоснования;

– отсутствие учета накопленного ущерба;

– недостаточная проработка и, как следствие, отсутствие учета в большинстве методик комплексного вреда при взаимодействии различных видов сред в системе «атмосферный воздух – вода – земля – растительный мир – животный мир».

Подводя результат разбору имеющихся методов оценки, можно сделать вывод, что современные экономические методики не позволяют точно оценить величину экономического ущерба, несмотря на очевидную практическую потребность в различных сферах деятельности. Это показывает нам, что необходимо разрабатывать принципиально новые подходов, теорий, либо методы анализа ущерба от загрязнения окружающей среды.

Источники

1. Мухтаров Е.Г. Экономическая оценка ущерба от загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс] // Экономический вестник УГНТУ. 2001. С. 77–83. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Rodionova/Muhtarova.pdf (дата обращения: 07.03.2021).

2. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования: учеб. М. : ИНФРА-М : НФПК, 2004. 500 с.

3. Гражданский кодекс Российской Федерации (часть IV) [Электронный ресурс]: федер. закон от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 07.03.2021).

4. Децук В.С. Оценка ущерба от загрязнения окружающей природной среды: учеб.-метод. пособие. Гомель: БелГУТ, 2015. 50 с.

УДК 621.65

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ НАСОСОВ И СПОСОБЫ ЕЁ СНИЖЕНИЯ

А.И. Ганин
СамГТУ, г. Самара
ganin163tlt@gmail.com
Науч. рук. А.В. Васильев

Проведены исследования вибрации при работе насосов промышленных предприятий на примере ПАО «КуйбышевАзот» как с целью оценки влияния вибрации на человека, так и с целью диагностики состояния промышленного оборудования. Представлены результаты измерений эквивалентных уровней виброускорения в октавах в области низких частот при работе аммиачного насоса высокого давления компании

«URACA» в цехе №4 ПАО «КуйбышевАзот». Анализ результатов измерений позволил сделать ряд выводов, в том числе, что наибольшие уровни виброускорений для всех координатных направлений наблюдаются при измерениях на корпусе двигателя насоса. Для снижения вибрации предложен к внедрению ряд рекомендаций.

Ключевые слова: насос, вибрация, низкочастотный спектр, снижение

При работе насосов возникают интенсивные вибрации, которые могут снижать производительность работы насоса, надежность и долговечность его работы, а также оказывать негативное воздействие на производственный персонал [1–3]. Серьезную опасность представляют аварии, возникающие из-за вибрации насосов.

Проведены исследования вибрации при работе насосов промышленных предприятий на примере ПАО «КуйбышевАзот» с целью оценки влияния вибрации на человека и диагностики состояния промышленного оборудования. Для проведения измерений использовались современные измерительные приборы:

– виброметр 1-го класса точности «ОКТАВА 101 ВМ», позволяющий измерять среднеквадратичные, эквивалентные и пиковые уровни виброускорения;

– шумомер;

– виброметр;

– анализатор спектра 1-го класса точности «АССИСТЕНТ TOTAL», предназначенный для измерения уровней звука и виброускорения, звукового давления и частотного анализа в диапазонах звука, инфразвука и ультразвука, частотного анализа в диапазонах общей и локальной вибрации
по трем каналам одновременно.

В табл. 1 и 2 и на рисунке показаны эквивалентные уровни виброускорения, измеренные в октавах в области низких частот на корпусе двигателя аммиачного насоса высокого давления компании «URACA» в цехе № 4 ПАО «КуйбышевАзот» (направления *X*, *Y*, *Z*).

Анализ результатов измерений позволяет сделать следующие выводы:

1) наибольшие уровни виброускорений для всех координатных направлений наблюдаются при измерениях на корпусе двигателя насоса;

2) наибольшие значения уровни виброускорений зафиксированы на частоте 2 Гц;

3) основным источником вибрации в трубопроводных системах насосной установки являются низкочастотные динамические пульсации давления газа в трубопроводах;

4) при измерениях виброускорений на различных осях не наблюдается существенного отличия уровней виброускорений.

Таблица 1

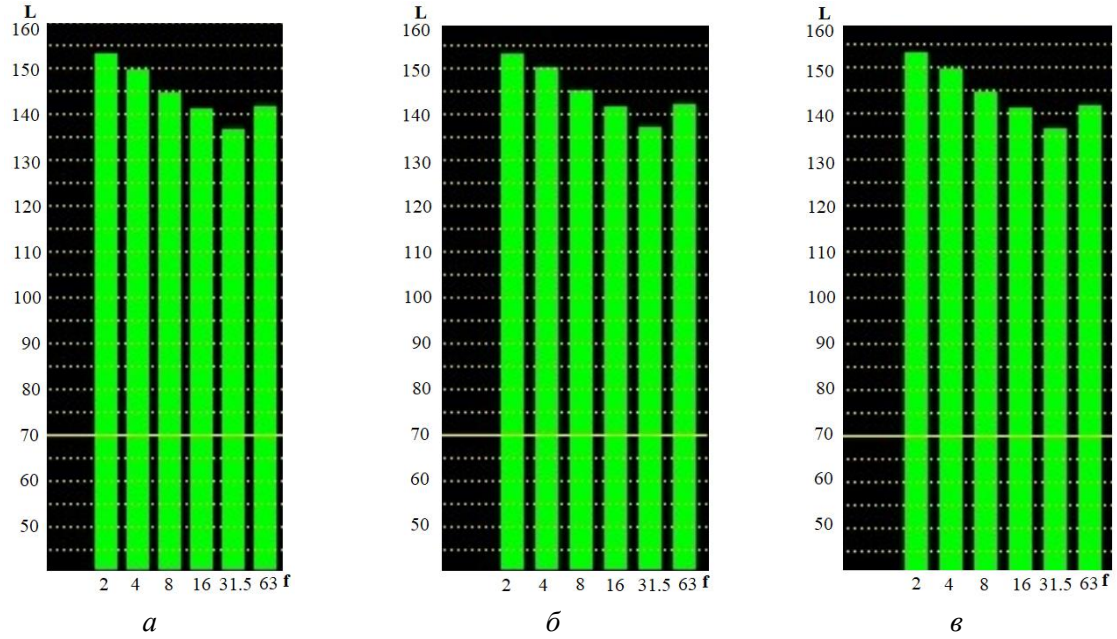
Эквивалентные уровни виброускорения, измеренные в октавах в области низких частот на корпусе двигателя аммиачного насоса высокого давления компании «URACA» в цехе № 4 ПАО «КуйбышевАзот»

Ось	Тип значения	Уровни вибрации (дБ) в октавных полосах частот (Гц)						Скорректированные уровни виброускорения, дБ
		2	4	8	16	31,5	63	
X	$L_{экв}$	152,7	149,4	144,3	141,0	136,3	141,4	–
Y	$L_{экв}$	153,1	149,9	144,8	141,4	136,7	141,8	–
Z	$L_{экв}$	152,8	149,6	144,4	141,1	136,4	141,5	153,3

Таблица 2

Эквивалентные уровни виброускорения, измеренные в октавах в области низких частот на редукционной установке аммиачного насоса высокого давления компании «URACA» в цехе № 4 ПАО «КуйбышевАзот»

Ось	Тип значения	Уровни вибрации (дБ) в октавных полосах частот (Гц)						Скорректированные уровни виброускорения, дБ
		2	4	8	16	31,5	63	
X	$L_{экв}$	140,8	139,7	137,6	132,7	130,6	127,2	–
Y	$L_{экв}$	141,3	140,1	138,1	133,2	130,6	127,8	–
Z	$L_{экв}$	140,9	139,8	137,7	132,9	130,1	121,1	143,6



а *б* *в*

Рис. 1. Низкочастотный октавный спектр виброускорения во время работы аммиачного насоса высокого давления компании «URACA» в цехе №4 ПАО «КуйбышевАзот», корпус двигателя насоса (измерение 1): *L* – эквивалентный уровень виброускорения, дБ; *f* – низкочастотный октавный спектр, Гц; *а* – ось *X*; б – ось *Y*; в – ось *Z*

Для разработки рекомендаций по снижению уровней вибрации при работе насосов были изучены как результаты проведенных натурных измерений вибрации, так и существующая конструкторская документация на обследуемые производственные участки, в том числе способ установки насосов, особенности установки опор и несущих конструкций и др. Также были изучены технические характеристики насосов и протоколы их испытаний насосов, а также существующие методы и подходы к снижению вибрации насосов [1–5].

В результате для снижения вибрации предложен к внедрению ряд рекомендаций. В том числе рекомендуется усиление опор и балок крепления насосов, а также проверка соответствия эксплуатационных характеристик насосов требованиям, установленным заводом-производителем. Эффективным методом снижения вибрации трубопроводов насосных установок является использование гасителей низкочастотных колебаний давления газа.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда, соглашение №20-19-00222.

Источники

1. Анализ источников вибраций, возникающих в насосных агрегатах, и пути повышения эффективности вибрационной защиты элементов конструкций зданий и сооружений / Г.С. Аверьянов [и др.] // Омский научный вестник. Сер.: Машиностроение и машиноведение. 2012. № 1 (107). С. 43–46.

2. Musaakhunova L.F., Igolkin A.A., Shabanov K.Y. The vibroacoustic characteristics research of the gas pipeline // Procedia Engineering. 2015. Vol. 106. Pp. 316–324.

2. Ogarkov A.A., Vassiliev A.V., Voltchonkov V.I. About the experience of low-rotated piston compressor units vibration reduction // Proc. of the 29th International Congress on Noise Control Engineering “Inter-noise 2000”. Nice, France, 2000. Vol. 6. Pp. 3932–3936.

4. Vasilyev A.V. Development and approbation of methods and technical solutions of reduction of vibration of power plants and joining mechanical systems // Procedia Engineering. 2015. Vol. 106. Pp. 354–362.

3. Vasilyev A.V., Sannikov V.A., Tyurina N.V. Experience of estimation and reduction of noise and vibration of industrial enterprises of Russia // Akustika. 2019. Vol. 32. Pp. 247–250.

УДК 621.182.1

ВОДОПОДГОТОВКА НА ТЭЦ: НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ

М.А. Герасюнин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
grsnn_13@mail.ru
Науч. рук. В.Е. Дылевский

Рассмотрены основные этапы водоподготовки на ТЭЦ. Зачастую этот процесс состоит из четырех этапов: механическая очистка, умягчение воды, осветление воды и деаэрация. Каждый из этапов включает в себя очистку воды от различных загрязнений.

Ключевые слова: водоподготовка, переработка, отходы, отстойники.

Водоподготовка является одним из важнейших процессов в энергетике. Для ТЭЦ данный процесс является главным этапом работы. Для работы теплоэлектроцентрали нужна вода и обязательно очищенная. Некачественная вода не пройдет по параметрам. Первичный источник воды обладает высокой концентрацией микроорганизмов и различных примесей. Так как для работы ТЭЦ необходим нагрев воды, то её состав должен соответствовать требованиям. При наличии примесей в процессе нагревания может образоваться накипь, а также другие соединения. Всё это влияет на корректную работу станции и долгосрочность оборудования. Чтобы продлить срок службы установок и улучшить состав воды для использования на ТЭЦ обязательно проводят водоподготовку [1].

Весь процесс состоит из четырех этапов. В каждом из них производится очистка от определённых видов загрязнений. Чаще всего применяют несколько систем фильтрации. Для каждого этапа подбирается свой метод очистки. Более практичный в применении и выгодный с экономической точки зрения.

На первом этапе очищения используются фильтры грубой очистки. Они представляют собой очистительный элемент с крупной сеткой, способной задерживать большую грязь.

В следующем этапе очистки избавляются от солей жёсткости. Обычно умягчение происходит через ионные установки. Суть заключается в ионном замещении молекул кальция, магния, железа или других примесей на ионы натрия. Основой ионообменного картриджа является смола. Ее обогащают несильным натрием. Когда вода вступает в контакт со смолой, обогащенной натрием, происходят трансформации и перевоплощения. Натрий замещается сильными жесткими солями. Со временем картридж наполняется солями, именно так происходит процесс восстановления.

Он переносится в регенерационный резервуар, где находятся соли. Раствор, в состав которого входит соль, очень насыщен (≈ 10 %). Именно благодаря такому высокому содержанию солей устраняется жесткость из съемного элемента. После процесса промывки картридж снова наполняется натрием и готов к использованию [2] (рис. 1).

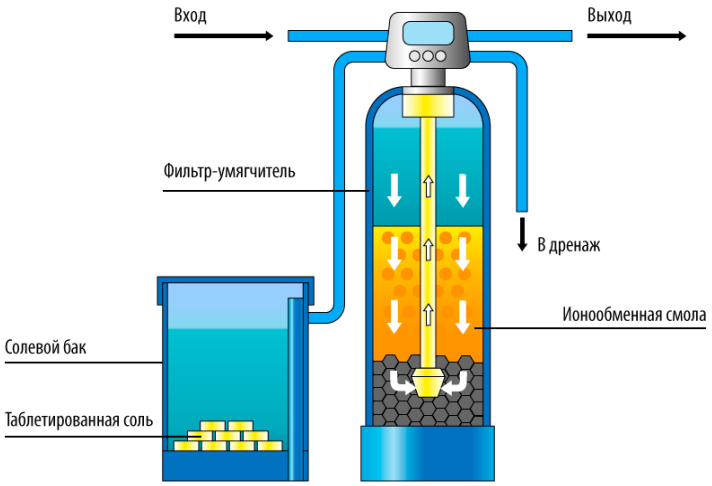


Рис. 1. Схема умягчения воды [3]

На третьем этапе водоподготовки осуществляется осветление воды. Используются несколько видов фильтров. В основном используется химический метод очистки. На этом же этапе происходит предварительная очистка сточных вод. Сбрасываемая вода имеет свои нормативы по составу и концентрации реагентов, поэтому на этом этапе состав воды меняется на требуемый.

Последняя стадия очистки – деаэрация. Это процесс удаления остаточных газов из воды. Обычно это кислород, углекислый газ и другие. Они либо изначально присутствуют в воде, либо появляются в процессе очистки (рис. 2).

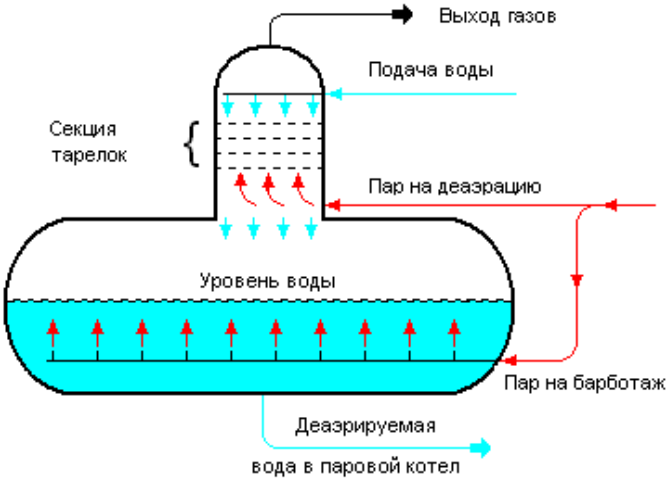


Рис. 2. Схема деаэратора питательной воды [4]

Водоочистка теплоэлектроцентралей представляет собой комплекс систем, направленных на полное уничтожение примесей. Для этого направления требуется сочетание нескольких способов. Потому что вода должна содержать определённую концентрацию примесей и для этого нужно точно скорректировать её состав. Скорость и производительность системы зависят от потребляемой воды. Кроме того, использование непригодной воды старит оборудование и приводит к его поломкам. Поэтому качество воды играет важную роль в работе ТЭЦ. Нельзя экономить на очистке, чтобы не доводить до износа оборудования.

Источники

1. Водоподготовка на ТЭЦ [Электронный ресурс]. URL: https:// vagner-ural.ru/o_kompanii/stati-po-vodoochistke/vodopodgotovka-na-tec-naznachenie-i-osnovnye-metody/ (дата обращения: 07.03.2021).
2. Принцип работы умягчения воды [Электронный ресурс]. URL: https://ecb-r.ru/ru/tematicheskie-materialy/5-vodopodgotovka-na-tets.html (дата обращения: 07.03.2021).
3. Схема водоподготовки на ТЭЦ [Электронный ресурс]. URL: https://vodaidom.ru/catalog/umyagchiteli-vody/ (дата обращения: 07.03.2021).
4. Схема деаэратора питательной воды [Электронный ресурс]. URL: https://mega-watt.ru/oborudovanie/kotelnoe-oborudovanie-th/vspomogatelnoe-oborudovanie-th/pitatelnyij-modul-namo/deaeracziya (дата обращения: 07.03.2021).

УДК 621.385.69

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ 5G НА НАСЕЛЕНИЕ

У.А. Голякова
ФГБОУ ВО «МЭИ», г. Москва
zerofly@km.ru
Науч. рук. И.В. Королев

Рассматривается вопрос о влиянии СВЧ излучения нового поколения сетей 5G на население. Рассмотрены нормативы воздействия, проведен анализ воздействия на человека сотового телефона.

Ключевые слова: 5G, сети 5-го поколения, ЭМИ, ЭМП, влияние СВЧ на человека.

Одна из главных проблем современности – это развитие высокоскоростного Интернета. Количество устройств подключенных к сети интернет растет довольно быстро и сети 4G не справляются с такой нагрузкой. Сети 5-го поколения (5G) решают эту проблему, обеспечивая более чем 100-кратное увеличение пропускной способности сети, что обеспечит большую доступность широкополосной мобильной связи, также меньшее время задержки, скорость интернета 1-2 Гбит/с, меньший расход энергии батарей.

Запуск новых сетей 5G и увеличение числа базовых станций приводит к росту числа облучаемых лиц, поэтому проведение исследования влияния сотовой связи 5G на население является актуальной задачей (рис. 1).

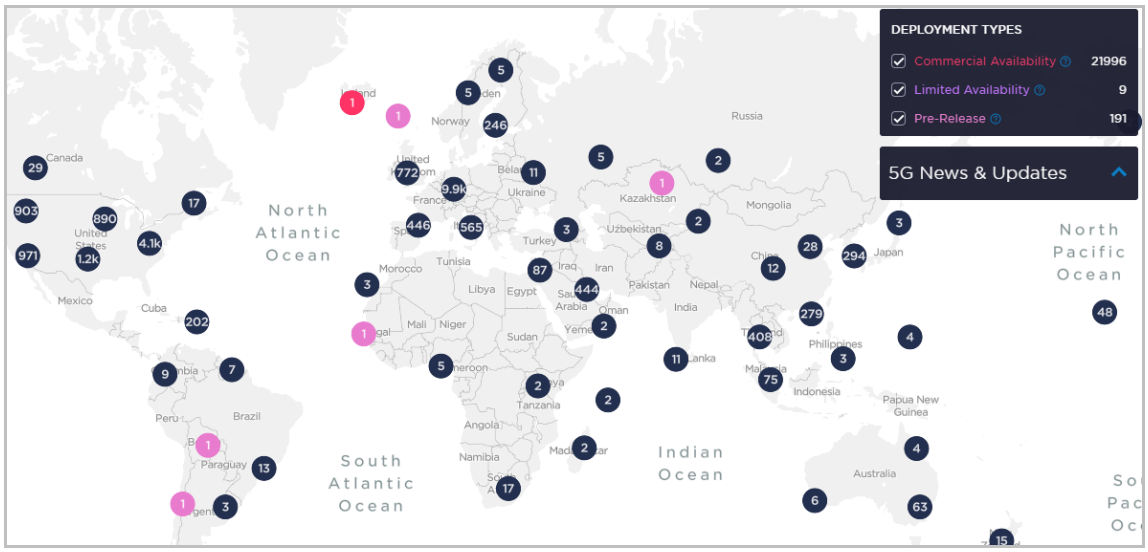


Рис. 1. Интерактивная карта вышек 5G в мире [3]

Стоит отметить обеспокоенность населения различных стран в связи с распространением и развитием сетей 5G. Хотя по мнению большинства ученых стандарт 5G вреден для человека не больше, чем любые другие излучающие устройства.

Разработчики сетей связи нового поколения хотят использовать широкий спектр частот, в зависимости от задач и подключаемых устройств. К частотному диапазону 5G в нашей стране относят диапазон 27,1–27,5 ГГц согласно решению Государственной комиссии по радиочастотам при Минкомсвязи РФ от 4 июля 2017 г. № 17-42-06 [1].

Исследование влияния электромагнитного излучения (ЭМИ) СВЧ- диапазона, а также сетей сотовой связи 5G показало, что система 5G усложняет условия облучения населения электромагнитным полем

и увеличивает риски развития известных неспецифических заболеваний. При относительно высоких уровнях облучения ЭМП СВЧ-диапазона, к которому относится и диапазон 5G, современная теория признает тепловой механизм воздействия. При относительно низком уровне – принято говорить о нетепловом или информационном характере воздействия на организм.

Наибольшее влияние электромагнитные поля (ЭМП) оказывают на иммунную, нервную, эндокринную и половую систему [2]. Особенно опасными электромагнитные излучения могут быть для детей, беременных женщин, людей с заболеваниями центральной нервной, гормональной, сердечно-сосудистой системы, аллергиков, людей с ослабленным иммунитетом. Лица, длительное время находящиеся в зоне ЭМИ, предъявляют жалобы на слабость, раздражительность, быструю утомляемость, ослабление памяти, нарушение сна [3].

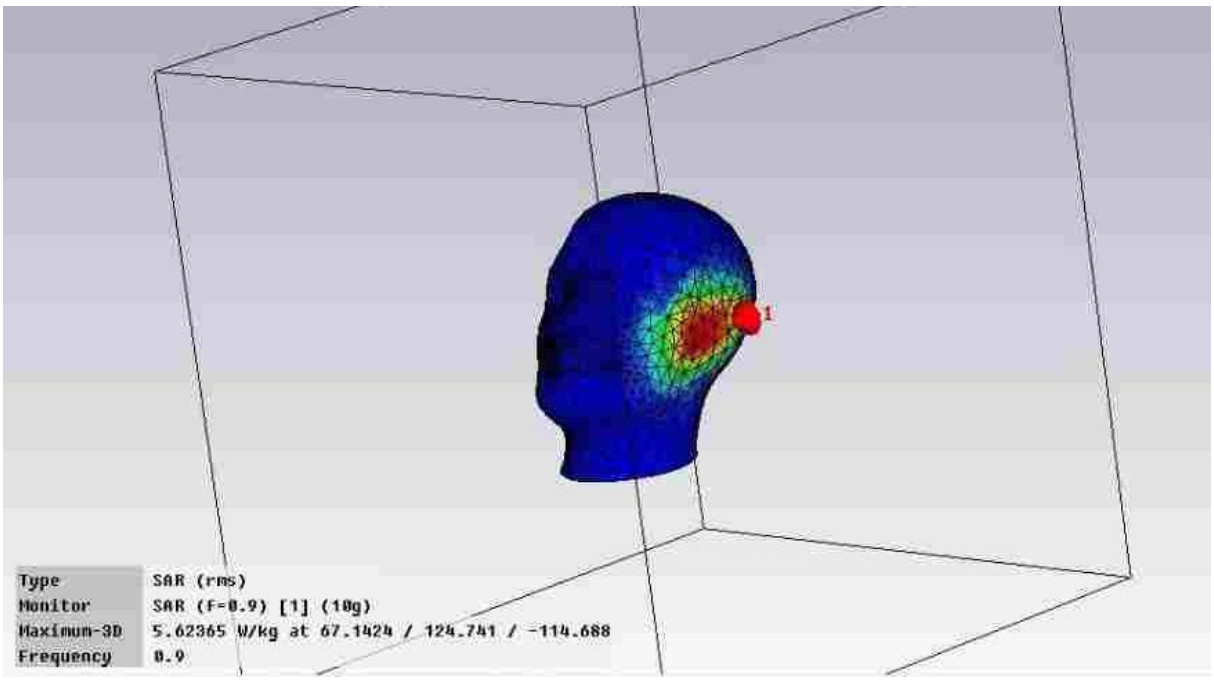
На биологическую реакцию влияют следующие параметры электромагнитного поля: интенсивность электромагнитного поля; частота излучения; продолжительность облучения; модуляция сигнала; сочетание частот электромагнитных полей; периодичность действия. Сочетание вышеперечисленных параметров может давать существенно различающиеся последствия для реакции облучаемого биологического объекта [2].

Нормирование электромагнитных полей для населения согласно СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов» осуществляется для частотного диапазона 0,3–300 ГГц и составляет 10 мкВт/см^2. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP) устанавливает норму 1 мВт/см^2.

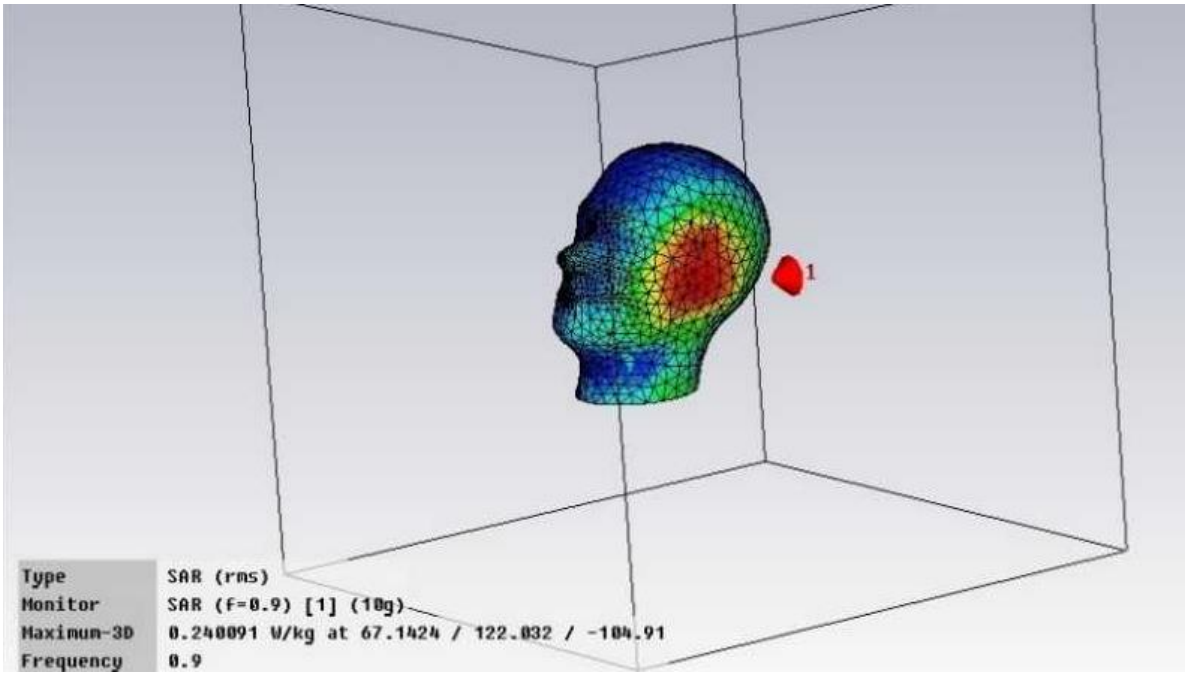
При нормировании ЭМП 5G исходят из интенсивности электромагнитного поля, которое не приводит даже к временному нарушению саморегуляции функций организма, а также к напряжению его защитных и адаптационно-компенсаторных механизмов ни в ближайшем, ни в отдаленном периоде времени.

Защита от воздействия ЭМП может осуществляться как путем ограничения значения воздействующего поля, так и времени его воздействия.

При исследовании влияния 5G на человека проведены опыты по расчёту мощности поглощения в голове пользователя мобильного телефона, который базируется на основе модели биологического объекта, состоящей из трёх слоёв: кожа, кость, мозги. Опыты показывают, что отдаление телефона от головы, приводит к уменьшению величины удельной поглощаемой мощности SAR более чем в 20 раз, что является хорошей защитой от воздействия электромагнитного поля (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Расположение телефона вплотную (*а*) и на расстоянии 15 см (*б*)

В России одни их самых строгих в мире санитарных требований по излучению – почти в 100 раз жестче, чем в большинстве европейских стран. Измерения, которые провели ученые Научно-исследовательского института медицины труда, показали, что ЭМП, создаваемое от работы существующих базовых станций, зачастую приближается как раз к принятым в России стандартам. В результате замеров и проведения

медико-биологических исследований учёные пришли к мнению о возможности изменить максимально допустимый уровень ЭМИ. Исследование показало, что уровень ЭМП по-прежнему останется на безопасном уровне [4].

Данные выводы ученые планируют передать в Минздрав и Роспотребнадзор для принятия решений по пересмотру нормативов, что будет способствовать скорейшему развитию сетей связи нового поколения 5G и появлению высокоскоростных сервисов для жителей городов и бизнеса.

Анализ результатов исследований 5G показал отсутствие подтверждения негативного воздействия волн в диапазоне до 300 ГГц на здоровье людей. Продолжаются долгосрочные исследования, в которых изучаются последствия воздействия цифровых сетей 5G на человека.

В нашей стране установлены более жесткие требования к ЭМП сетей 5G, чем международные. Опыты по изучению воздействия СВЧ-излучения от сотового телефона показывают, что отдаление телефона от головы, приводит к уменьшению величины удельной поглощаемой мощности более чем в 20 раз, что является хорошей защитой от воздействия ЭМП СВЧ-диапазона.

Источники

1. Концепция развития системы контроля за излучениями радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств гражданского назначения в Российской Федерации на период до 2025 года [Электронн ый ресурс]: утв. решением ГКРЧ при Минкомсвязи РФ от 4 июля 2017 г. № 17-42-06. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 30.01.2021).

2. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей. М.: ИД МЭИ, 2008. 350 с.

3. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. 239 с.

4. Представлены предварительные результаты исследования безопасности 5G [Электронный ресурс]. URL: https://www.interfax-russia.ru/moscow/news/predstavleny-predvaritelnye-rezultaty-issledovaniya-bezopasnosti-5g-dit-moskvy (дата обращения: 30.01.2021).

5. “OOKLA 5G MAP” [Электронный ресурс]. URL: https://www.speedtest.net/ookla-5g-map (дата обращения: 30.01.2021).

УДК 62-977

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО УТИЛИЗАЦИИ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ И МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Р.Я. Дыганова, Н.Н. Фахреев, Н.В. Минлибулатова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Dyganova.roza@yandex.ru

Предложена технология низкотемпературного пиролиза индустриальных масел с получением энергетического топлива.

Ключевые слова: индустриальное масло, утилизация, топливо, пиролиз

В настоящее время одной из экологических и технологических проблем является утилизация и переработка отработанных индустриальных и моторных масел (ОМ). Годовое потребление масел во всем мире к концу 2020 г. составило около 45 млн т, это связано с увеличением производственных мощностей, выпуском нового оборудования, появлением новых марок масел [1].

В соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов РФ от 18 июля 2014 г. № 445 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» отходы отработанных моторных, трансмиссионных, гидравлических, трансформаторных (не содержащих полихлорированные дифенилы и терфенилы), индустриальных масел относятся к отходам 3-го класса опасности – умеренно опасным отходам. Степень вредного воздействия отходов 3-го класса опасности на окружающую среду средняя. При их воздействии на окружающую среду экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения негативного воздействия от существующего источника.

Анализ научно-технической информации показал, что существуют различные методы регенерации и утилизации масел, выбор которых зависит от ряда факторов: состава отработанных масел, возможности использования вторичного продукта, экономической целесообразности переработки и возможностей предприятия [2, 3].

При анализе литературных данных авторами предоставляется возможность утилизации масел в топливо методом пиролиза. Так согласно Информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 09-2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами» различают три вида пиролиза:

– низкотемпературный пиролиз (450–550 °С), при котором максимален выход жидких продуктов и твердого остатка (полукокса) и минимален выход пиролизного газа с максимальной теплотой сгорания;

– среднетемпературный пиролиз (до 800 °С), при котором выход газа увеличивается при уменьшении его теплоты сгорания, а выход жидких продуктов и коксового остатка уменьшается;

– высокотемпературный пиролиз (900–1050 °С), при котором минимален выход жидких продуктов и твердого остатка и максимален выход пиролизных газов с минимальной теплотой сгорания.

В результате сравнительного анализа авторами в качестве альтернативных и конкурирующих решений выбраны установки «Фортан» [4] и «Т-ПУ1» [5].

Краткий сравнительный анализ по техническим характеристикам представлен в таблице.

Сравнительный анализ пиролизных установок

Показатели	Фортан-4	Т-ПУ1
Производительность, $м^3$/сут	5,2	4
Средняя производительность оборудования, кг/ч	166	83
Выход продуктов, %:		
жидкое топливо	90	85
полуокс	5…7	5…7
газ	5…7	5…7
Мощность, кВт/ч	2	1,1
Габаритные размеры, м	2,3×2,5×5,6	5×4×4,9

Проанализировав таблицу и проведя технико-экономические расчеты, можно сказать, что оба инженерных решения имеют высокую конкурентоспособность, но при всех равных условиях установки Фортан вошли в Информационно-технический справочник наилучших доступных технологий ИТС 9-2015 «Обезвреживание отходов термическим способом».

Источники

1. Кубанцева В.В. К анализу современного состояния машиностроительного комплекса // Тяжелое машиностроение. 2010. № 2. С. 39.

2. ИТС 09-2020: Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами. М.: Бюро НДТ, 2020. 208 с.

3. Бахонина Е.И. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов // Башкирский химический журнал. 2015. № 22. С. 20–29.

4. “TT Group” [Электронный ресурс]: сайт. URL: www.ttgroupworld.com (дата обращения: 27.01.2021).

5. «Пиролиз-экопром» [Электронный ресурс]: сайт. URL: https://piroliz-ecoprom.ru/ (дата обращения: 27.01.2021).

УДК 628-543.3/.9

ВОЗДЕЙСТВИЕ СТОЧНЫХ ВОД СИСТЕМ ЗОЛОШЛАКОУДАЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

А.Н. Железнова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
an.zheleznova97@gmail.com
Науч. рук. Р.Н. Апкин

Проанализирована проблема хранения и утилизации золошлаковых отходов тепловых электростанций, работающих на твердом топливе. Изучен химический состав угольного топлива: горючая и негорючая части, главные золообразующие элементы. Рассмотрены технологии, позволяющие снизить воздействие на природные объекты: оборотная система гидрозолоудаления.

Ключевые слова: зола, уголь, гидросфера, загрязнение, золошлаковые отходы, топливо, стоки.

По состоянию на 2020 г. доля выработанной энергии на тепловых электростанциях в России составляет 70 %, из них 78 % – паросиловые установки, использующие в качестве топлива уголь различного качества. В основном (около 90 %) – низкокачественный необогащенный уголь.

Средняя зольность угля, используемого на электростанциях, составляет 22 %, а объем образования золошлаковых отходов (ЗШО) – 27 млн т/год. Золошлаковые отвалы угольных теплоэлектростанций переполнены, а дополнительное отведение территорий под нужды ТЭС очень проблематично. При этом утилизация, переработка и дальнейшее использование ЗШО находятся на очень низком уровне. Золоотвалы энергетических

предприятий приводят к отчуждениям земель, загрязнению атмосферы пылением хранящейся золы, а также почвы и гидросферы путем фильтрации водорастворимых веществ через ложе золоотвала в грунт и грунтовые воды, оказывая серьезное негативное воздействие на окружающую среду не только в зоне расположения, но и далеко за их пределами [1].

Так, например, изменение pH воды водоемов, в которые попадают стоки, негативно отражается на всех живых организмах, нарушает как биохимические процессы внутри водоема, так и физиологические функции его обитателей. При повышении щелочности воды разрушается кожный покров у рыб, их жабры и плавники, угнетаются представители растительного мира водного объекта, снижается способность водоема к самоочищению. А при кислых средах на рыб и водных животных оказывается токсическое воздействие [2].

Стоки, содержащие большое количество загрязняющих микроэлементов, относят к токсичным. Для решения этой проблемы проводится серьезная работа, направленная на усовершенствование технологического цикла систем гидрозолоудаления в направлении его приближения к замкнутому циклу водоснабжения.

Твердое угольное топливо по своему составу делится на две части: горючую и негорючую. Первая является органической, состоящей из углерода, водорода, кислорода и органической серы. Вторая включает в себя минеральную составляющую, которая в процессе сжигания делится на твердый шлак и золу дымовых газов [1].

В химическом составе минеральной части, в свою очередь, также выделяют две группы. К первой относится главные золообразующие элементы, такие как алюминий, железо, кальций, магний, натрий, калий и сера – их доля составляет 99 % от общей минеральной массы угля. Ко второй можно отнести микроэлементы, которые общей своей массой составляют не более оставшегося 1 %, которые по концентрированному признаку делятся на три группы (табл. 1).

Таблица 1

Классификация микроэлементов в углях [1]

Группа малых элементов	Интервал содержания сухого вещества, г/т	Ориентировочный состав групп малых элементов в углях
Собственно малые	1 000…10	B, F, Cl, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Zr, Ba, Pb
Редкие	10…0,1	Li, Be, Sc, Co, Ga, Ge, Se, Sr, Br, Y, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Zn, Cs, La, Yb, W, Bi, U, Hg
Ультраредкие	< 0,1	Ag, Re, Au, Pt

Опасные элементы, образующиеся при сжигании твердого топлива, накапливаются и оказывают большое влияние на человека и окружающую его среду своей концентрацией, канцерогенностью, мутагенными свойствами и способностью усиливать негативные воздействия в совокупности друг с другом.

Кроме этого, состав твердого топлива не обходится без радиоактивных изотопов урана, радия, тория, и калия. Выбросы этих элементов (табл. 2) могут быть сравнимы с выбросами радиоактивных аэрозолей атомных электростанций тех же мощностей, что и ТЭС.

Таблица 2

Концентрация радионуклидов в углях, шлаках, летучей золе ТЭС, Бк/кг [1]

Изотоп	Уголь	Шлак	Летучая зола
Урана ^{228}U	9...31	56...185	70...370
Радия ^{226}Ra	7...25	20...166	85...281
Тория ^{232}Th	9...19	59	81...174
Калия ^{40}K	26...130	230...962	233...740

Энергетические предприятия, работающие на угольном топливе – это крупнейшие источники загрязнения гидросферы рудными и радиоактивными элементами. Все токсичные элементы воздействуют на окружающую среду живых организмов и человека, вызывая широкий спектр заболеваний. Чтобы снизить негативное влияние золоотвалов, важно содержать их в соответствии с правилами эксплуатации полигонов хранения ЗШО, предусматривать мероприятия по их рекультивации, организовывать экологический мониторинг изменения компонентов биосферы и по максимуму отказаться от использования водных объектов для сброса недоочищенных сточных вод. Кроме этого, значительно снизить воздействие угольных электростанций на окружающую среду возможно увеличивая использование инновационных чистых технологий в процессы переработки угля и золошлаковых отходов.

Источники

1. Сидорова Г.П., Крылов Д.А., Якимов А.А. Экологическое воздействие угольных ТЭС на окружающую среду // Вестник ЗабГУ. 2015. № 9. С. 28–38.

2. Разва А.С. Природоохранные технологии в промышленной теплоэнергетике: лекции. Томск: ТПУ, 2010. 27 с.

УДК 614.8

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В УСТРОЙСТВАХ С НЕУСТОЙЧИВЫМ РЕЖИМОМ ГОРЕНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

М.Р. Карманов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
marsel-11010@yandex.ru
Науч. рук. Р.Ф. Шакуров

Фенолы и его производные являются высокотоксичными соединениями. Основная причина загрязнения сточных вод фенолом является его растворимость в воде. Рассмотренный способ термической деструкции, на наш взгляд, является наиболее перспективным направлением решения проблемы.

Ключевые слова: обезвреживание, утилизация, фенол, методы обесфеноливания, промышленные отходы.

Фенолы широко используются для производства пластмасс, создания ряда принципиально новых видов полимерных материалов, синтетического каучука, ядохимикатов для сельского хозяйства, поверхностно – активных веществ, получения пластификаторов, стабилизаторов нефтепродуктов и многих других продуктов. Увеличение потребностей в фенолах объясняется как их относительной дешевизной и доступностью, так и уникальностью свойств многих продуктов переработки, особой ценностью их для ряда новых отраслей техники.

Однако, растворимость фенола в воде является одной из основных причин загрязнения сточных вод, образующихся в процессах получения и переработки на предприятиях нефтеперерабатывающей, коксохимической, лесохимической, сланцеобрабатывающей промышленностей [1]. Содержание фенола в сточных водах таких предприятий может превышать предельно допустимую концентрацию (ПДК) в несколько раз.

Фенолы и его производные являются высокотоксичными соединениями, относятся ко второй группе опасности и по степени загрязнения гидросферы занимают третье место после нефтепродуктов и тяжелых металлов. Попадая в водоемы, они причиняют вред всей экосистеме. Воздействие на организм человека высоких доз фенола может привести к тремору мышц, нанести вред почкам, печени, сердцу, а при концентрации более 14 мг/кг может наступить и смертельный исход. Животному и растительному миру, обитающему в водоемах, также наносится существенный вред: затрудняются процессы самоочищения; ухудшаются органолептические свойства воды (неприятный запах

и привкус при концентрации фенола – 15–20 мг/л; при концентрации фенола 0,3–0,5 мг/л мясо рыб имеет специфический запах и вкус, а при концентрации 5–20 мг/л происходит их гибель).

Таким образом, проблема обезвреживания фенольных сточных вод является очень актуальной.

Существуют большое количество методов обесфеноливания.

Методы очистки сточных вод от фенола по конечному результату обработки могут быть разделены на две группы: регенерационные и деструкционные. Первые предусматривают выделение и использование фенолов, вторые – их уничтожение (нейтрализация). Оба метода применяются в промышленности в зависимости от концентрации, необходимой степени очистки или нейтрализации, объема сточных вод. Существенный недостаток регенерационного метода – не обеспечивается полная очистка от фенола сточных вод и как следствие их нельзя сбрасывать в водоемы. К регенерационным методам относятся экстракция, адсорбция и другие.

Экстракция. Методом многоступенчатой экстракции достигается удаление фенолов на 90–95 %. Эти результаты можно получить при пяти- или шестиступенчатой экстракции с добавлением 10 % экстрагента в каждой ступени. Однако этот метод не позволяет обеспечить содержание фенола в сточных водах близких к ПДК. Требуется существенная доочистка. При выборе растворителя необходимо учитывать ряд требований, такие как: хорошая растворимость фенола, стоимость экстрагента, возможность параллельного растворения различных примесей, находящихся в сточных водах. Рентабельность экстракции определяется стоимостью и доступностью экстрагента, ценностью выделенного вещества и возможностью повторного использования экстрагента.

Химический метод. В основе химической очистки лежит применение окислителей (хлор, озона). Применение озона осложняется его высокой токсичностью. Хлор также является токсичным, существуют технические проблемы с транспортировкой, хранением и дозированием. Однако использование хлора для очистки сточных вод от фенола является наиболее популярным в связи с его доступностью.

Одной из главных проблем при очистке сточных вод хлором является то, что при вступлении в реакцию с фенолом образуются более токсичные различные хлорпроизводные фенола. К тому же, необходимо соблюдать ряд условий: окисление фенолов необходимо проводить в среде, близкой к нейтральной; поддержать требуемое соотношение хлора и фенола равной 8–9 мг/мг; процесс окисления может быть ускорен за счет подогревания сточной воды до 40 °С.

Адсорбция. Адсорбционные методы очистки сточных вод основаны на способности некоторых веществ поглощать и удерживать на своей поверхности молекулы органических веществ (активные угли, торф, зола и др. Наиболее используемым сорбентом является активированный уголь. Он может поглощать фенолы до 20–30 г на 1 кг собственной массы. Регенерация сорбента представляет дополнительную сложность в связи с дороговизной реагентов и низкой степенью качества извлекаемого фенола. Все это делает метод адсорбции фенолов довольно дорогостоящим.

Биохимическое окисление основано на способности некоторых бактерий вырабатывать ферменты, благоприятствующие окислению органических соединений. Для существования необходимых бактерий должны поддерживаться условия (определенные pH среды, температура сточной воды, наличие биогенных элементов, отсутствие взвешенных веществ). На биохимическое окисление обычно поступают стоки с содержанием фенола не более 100–150 мг/л. После биологической очистки концентрация фенолов составляет 0,5–1,5 мг/л. Достаточно глубокая очистка сохраняется и при содержании фенолов в стоках до 1 000 мг/л. Однако при больших концентрациях фенола такой метод является не эффективной. Основной недостаток – высокая стоимость процесса.

Таким образом, рассмотренные методы имеют существенные недостатки, концентрация фенола после очистки лишь приближены к ПДК.

Метод термической деструкции, основанный на окислении органических веществ при высокой температуре до нейтральных газовых отходов, является перспективным направлением. Существует несколько видов окисления: парофазное (огневой метод), жидкофазное и парофазное каталитическое [2].

На наш взгляд, обезвреживание ядовитых жидких фенольных сточных вод огневым методом является наиболее целесообразным. Сущность метода заключается в распылении отходов в топочные газы, имеющие температуру более 1 000 °С. Вода при этом полностью испаряется, органические примеси сгорают с образованием газовых продуктов. Однако, данный метод имеет существенный недостаток – высокие затраты энергоресурсов и дороговизна, которые ограничивают возможности и масштабы его применения. Поэтому снижение себестоимости огневого способа обезвреживания токсичных жидкостей является весьма актуальным.

Известно, что в вихревых, колеблющихся потоках происходит существенное ускорение различных тепломассообменнных процессов (смесеобразования, испарения, теплопередачи от газа к стенкам, теплообмена при взаимодействии потока с нагретыми телами и др.), кроме того, происходит увеличение теплонапряженности топочного объема, улучшение полноты сгорания топлива по сравнению с равномерным режимом горения. Установлено, что в определенных условиях при сжигании жидких промышленных отходов, в том числе и опасных, содержание вредных веществ в газовых выбросах в несколько раз ниже предельно допустимых концентраций.

Утилизация жидких отходов в циклонных печах, преимущества которых обусловлены аэродинамическими особенностями (вихревая структура газового потока), обеспечивающими высокую интенсивность и устойчивость процесса сжигания с малыми тепловыми потерями и минимальным избытком воздуха, представляется очень привлекательной. Эти особенности процесса неустойчивого горения позволяют создавать малогабаритные устройства, работающие с высокими удельными тепловыми нагрузками, в десятки раз превышающими нагрузки камерных, шахтных и барабанных печей. Широкое применение циклонные печи нашли для обезвреживания сточных вод, загрязненных органическими и минеральными компонентами. Подача воздуха и топлива в таких печах осуществляется тангенциально газо-мазутными горелками предварительного смешения, расположенными на боковой поверхности камеры сгорания. Распыливание сточных вод осуществляется центробежными механическими форсунками, установленными радиально ниже зоны горения топлива. Однако, такая схема с точки зрения организации горения и обеспечения надежности конструкции печи не самая оптимальная, так как для защиты стенок печи в зоне горения необходима обмуровка, а распыление загрязненной воды ниже зоны горения зачастую приводит к замораживанию продуктов неполного сгорания водой. Как следствие, требуется дополнительные устройства для очистки продуктов сгорания от вредных веществ [3].

Эффективность и экономичность работы огневой установки в основном зависит от принятой конструктивной схемы. На наш взгляд, а также анализ результатов исследований [4] показывают, что распыливание обезвреживаемой жидкости над огненным вихрем в направлении движения продуктов сгорания топлива является наиболее оптимальным и перспективным в технологии обезвреживания фенольных сточных вод.

Источники

1. Ветошкин А.Г. Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 296 с.

2. Термические методы очистки [Электронный ресурс]. URL: http://prom-ecologi.ru/?p=56 (дата обращения: 10.02.2021).

3. Исламов М.Ш. Печи химической промышленности. 2-е изд. Л.: Химия, 1975. 432 с.

4. Шакуров Р.Ф., Проблемы энерготопочных установок и систем по обезвреживанию и утилизации промышленных и конверсионных отходов // Сборник материалов XX Всероссийской межвузовской НТК. Казань, 2008.

УДК 62-93

ПОСТРОЕНИЕ БЛОК-СХЕМЫ ПОИСКА ПОИСКА НАИЛУЧШИХ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О.А. Кутяшова, Н.Н. Фахреев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Dyganova.roza@yandex.ru
Науч. рук. Р.Я. Дыганова

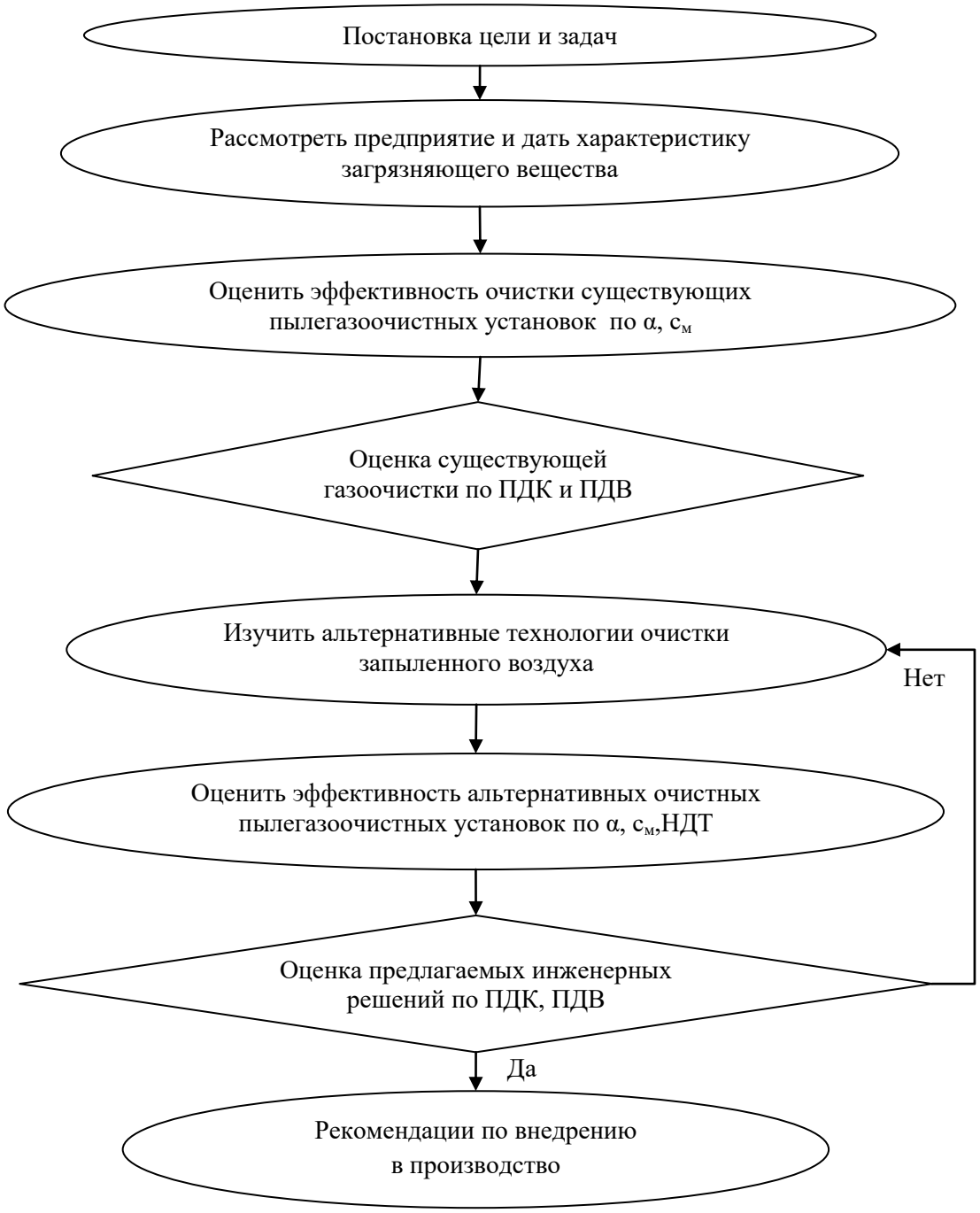
Рассмотрены инженерные решения по очистке промышленных выбросов на предприятии пищевой промышленности

Ключевые слова: пищевая промышленность, выбросы, пыль, инженерные решения, блок-схема

Наиболее вредными (загрязняющими) веществами, поступающими в атмосферу в пищевой промышленности, в том числе зерноперерабатывающей, является органическая пыль, которая составляет 120–150 кг/т зерна. Эти выбросы ежегодно составляют более 17 тыс. т [1].

Целью работы являлась модернизация существующей технологической установки для повышения эффективности очистки газопылевого потока на маслоэкстракционном предприятии.

Для достижения поставленной цели был разработан алгоритм оценки существующей технологии очистки от пыли и поиска альтернативных на основе наилучших доступных технологий установок для снижения негативного воздействия на окружающую среду, блок-схема которого представлена ниже на рисунке.



Блок-схема алгоритма оценки и подбора альтернативных инженерных решений:
ПДК и ПДВ – предельно-допустимые концентрации и выбросы, соответственно

Работа по поиску альтернативных решений включает в себя:

1) проведение в аккредитованной лаборатории фактических измерений промвыбросов рассматриваемого предприятия;

2) оценку эффективности существующего газоочистного оборудования по следующим показателям:

– степени очистки α, %;

– значениям приземных концентраций $c_м$, мг/м^3

3) сопоставление полученных значений с показателями ПДК (мг/м^3) и ПДВ (г/с (т/год));

4) поиск альтернативных решений по снижению выбросов. В качестве главного критерия выступает наличие в информационно-техническом справочнике (ИТС) по наилучшим доступным технологиям (НДТ) [1] сведений об используемом на рассматриваемом предприятии оборудовании и о применяемых технологиях;

5) оценку минимум двух альтернативных решений по критериям, указанным в п. 2;

6) оценку и сопоставление результатов оценки с ПДК и ПДВ;

7) при удовлетворительных результатах выбранная установка рекомендуется предприятию для внедрения в производственный цикл очистки выбросов от органической пыли, в противном случае ведется дальнейший поиск инженерных решений.

Предлагаемый алгоритм успешно зарекомендовал себя при выполнении научно-исследовательской работы и написании выпускной квалификационной работы магистра на маслоэкстракционной заводе.

Источники

1. ИТС 22-2016. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. М.: Бюро НДТ, 2016. − 211 с.

УДК 699.88

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК В БЕТОН

А.Д. Михалева
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», г. Москва
anastasia.mihaleva0812@yandex.ru
Науч. рук. А.В. Денисов

Рассматривается влияние различных минеральных добавок на свойства бетонов радиационной защиты. Выявляются эффективные минеральные добавки для улучшения свойств радиационной стойкости бетонов. Проведен краткий литературный обзор по имеющимся исследованиям в данной области.

Ключевые слова: атомная электростанция, радиационная защита, радиационная стойкость, бетон, цементный камень, минеральные добавки.

В настоящее время радиационной защите окружающей среды в окрестностях атомных электростанций (АЭС) уделяется повышенное внимание. В связи с этим выполняется комплекс работ в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации.

Объект исследования – минеральные добавки в бетонах радиационной защиты атомных станций.

Предмет исследования – свойства, определяющие эффективность использования минеральных добавок в бетонах радиационной защиты.

Практическая значимость – результаты исследования позволят эффективно использовать минеральные добавки для улучшения свойств бетонов радиационной защиты и радиационной стойкости бетонов.

При строительстве радиационной защиты атомных электростанций требуется тщательный учет преимуществ и недостатков технико-экономической части в использовании различных строительных материалов.

К бетонам специальных конструкции зданий и сооружений атомной энергетики предъявляются дополнительные требования, так как на бетоны таких конструкций зданий и сооружений могут воздействовать высокие температуры.

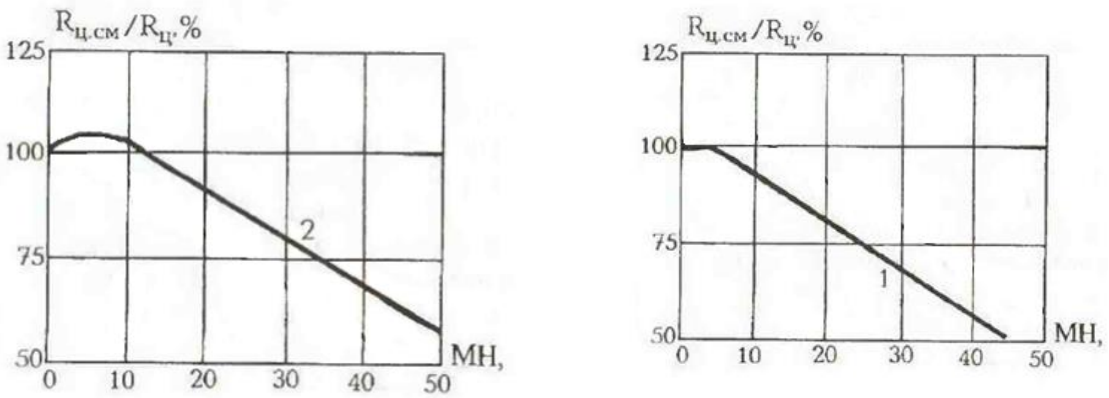
Для улучшения эксплуатационных свойств бетонов радиационной защиты АЭС вводятся измельченные до тонкости помола цемента минеральные добавки. Причем эффект от введения тонкомолотых зависит от многих факторов, но прежде всего от вида и количества добавки. В связи с этим исследование и прогнозирование влияния вида и количества тонкомолотых добавок на свойства бетонов, подверженных ионизирующими излучениями, является достаточно важным.

Минеральные добавки (МД) – это порошки различного происхождения, которые вводятся в состав бетонов для улучшения ряда свойств, которые выражаются в улучшении и уплотнении структуры бетонной смеси, в регулировании технологических и физических свойств бетонных смесей, в экономии цемента, в увеличении жаростойкости бетонов.

Эффективность применения минеральных добавок основана на их пластифицирующем и уплотняющем действии. При смешивании цемента с микронаполнителем и соблюдении оптимальных параметров, получается однородное, пластичное тесто с плотной упаковкой частиц.

По механизму и степени проявления активности различают активные (АМД) и инертные (ИМД) минеральные добавки. Существенное различие заключается в их способности к взаимодействию с водой, цементом и продуктами гидратации цементов.

Применение в небольших количествах тонкомолотых активных минеральных добавок приводит к стабилизации структуры без снижения прочности цементного камня (рис. 1, *а*). При исследовании инертных минеральных добавок отмечается снижение прочности цементного камня при увеличении количества добавки (рис. 1, *б*).



а *б*

Рис. 1 – Изменение прочности цемента при замене его части активным (*а*) и инертным (*б)* минеральным наполнителем [1]

При исследовании влияния различных минеральных добавок в бетоне стоит обратить внимание на научную работу А.В. Денисова и В.Б. Дубровского [2].

Результаты показали, что при введении в портландцемент тонкомолотых добавок зол-уноса Московской ТЭЦ-22 и Прибалтийской ГРЭС в количестве 25 и 43 % от массы цемента радиационные изменения фазового состава и структуры в основном аналогичны этим изменениям у портландцементного камня без добавки. Однако у образцов с добавкой при облучении наблюдается более значительное повышение степени гидратации, чем у образцов без добавки [2].

Присутствие добавки золы-уноса мало влияет на усадку портландцементного камня. Однако прочность при растяжении портландцемента с добавкой золы ТЭЦ-22 после облучения возрастает до ~ 2 раз, а образцы с добавкой золы Прибалтийской ГРЭС полностью разрушались независимо от содержания золы.

Введение тонкомолотого кварца в отличие золы-уноса значительно меняет величину и знак изменений объема портландцементного камня после облучения его до флюенсов повреждающих нейтронов (2,3–5,75)

1 024 нейтрон/м^2 при 80–200 °С. Уже при введении тонкомолотого кварца в количестве 20 % от массы цемента вместо усадки происходит увеличение объема на величину 2,6 %. При количестве добавки 200 и 500 % от массы цемента увеличение объема достигает 10,3 и 14,1 %, соответственно. Во всех случаях прочность при сжатии изменяется незначительно.

Введение минеральных добавок из гранулометрического шлака, высоко- и низкокальциевой золы и добавки трепела не более 5 % в основном мало изменяют величины радиационных изменений портландцементного камня. Ведение более значительного (более 5 %) количества трепела увеличивает радиационные изменения, а введение аморфного кремнезема приводит портландцементный камень к разрушению.

Литературный обзор книг, публикаций и научных работ о существующих данных применения минеральных добавок в бетонах радиационной защиты атомных станций показал, что минеральные добавки используются в строительстве. Они позволяют улучшать свойства бетона и влияют на его радиационные изменения. Но многие вопросы по данной тематике не рассматриваются и остаются открытыми.

В настоящее время при использовании бетона на ядерных установках сдерживается использование минеральных добавок из-за отсутствия данных о радиационно-термической стойкости бетонов с такими добавками. Применение минеральных добавок в бетонах радиационной защиты, подвергающихся в процессе эксплуатации воздействию ионизирующих излучений и высоких температур, позволит значительно увеличить технологические и конструкционные возможности и расширит сферу применения бетона в строительстве АЭС. Также использование минеральных добавок в бетонах радиационной защиты сделает его характеристики решающими для безопасности эксплуатации объекта.

Источники

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. М.: Изд-во АСВ, 2002. 500 с.

2. Денисов А.В., Дубровский В.Б., Соловьев В.Н. Радиационная стойкость минеральных и полимерных строительных материалов: справ. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 384 с.

УДК 621-313.3

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Г.И. Проскунина[1], Л.А. Чернобаева[2]
ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», г. Волжский
[1]proskunina-galina@mail.ru, [2]lubachernobaeva@yandex.ru

С появлением индустриализации окружающая среда несет большие потери. Начиная с конца XX и по сегодняшний день, экология нашей страны не может восстановить своё было могущество. Всё больше производств открываются и закрываются, оставляя на планете следы, которые можно наблюдать в атмосфере, литосфере, гидросфере и биосфере.

Ключевые слова: направления защиты окружающей среды, мероприятия по защите окружающей среды, решения принятые по защите окружающей среды.

В настоящее время складывается неблагоприятная экологическая ситуация на энергетических предприятиях в связи с использованием ресурсоемких, загрязняющих технологий. Применяемое сырье приводит к накоплению отходов, это является причиной загрязнения биосферы, вследствие чего возникает необходимость защиты всех природных сфер.

Основными направлениями защиты окружающей среды являются:

1. Внедрение ресурсосберегающих, безотходных и малоотходных технологий на производстве, позволяющих заменить, ограничить, исключить, а также вторично использовать природные ресурсы. Безотходная технология предприятиям энергетики позволяет рационально и комплексно использовать сырье, энергию, вторичные ресурсы, в результате чего максимально снижается воздействие на природную среду. На начальном этапе мероприятий безотходных и малоотходных технологий находят применение оборотные замкнутые циклы системы водоснабжения. При таком способе водопользования предусмотрено многократное использование воды в одном и том же производственном процессе, при этом он осуществляется без сброса сточных вод в водные объекты. К одним из важнейших направлений относится применение таких технологий, которые позволяют заменить водоемкие процессы безводными или маловодными. С целью снижения загрязненности окружающей среды, экономии сырья, энергии применяют способ рециркуляции, то есть используют повторное использование материальных ресурсов.

2. Биотехнология – новый вид инженерной защиты, представляющий наибольший интерес и позволяющий создавать необходимые для человека продукты, явления и эффекты с помощью микроорганизмов.

3. Утилизация и детоксикация отходов – освобождение их от вредных и опасных примесей на специальном оборудовании.

4. Экологизация производства – обеспечивает все виды взаимодействия с окружающей средой в естественном цикле круговорота веществ.

Даже при создании и использовании самых новых и передовых сооружений по очистке, не решить проблему, связанную с загрязнением и утратой ресурсов, так как это не является борьбой с первопричиной разрушения окружающей среды.

Мероприятия по защите окружающей среды:

– разработка бессточных и водооборотных технологических систем, систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;

– создание и выпуск новых видов продукции с учетом требований повторного ее использования;

– организация принципиально новых производственных процессов, позволяющих исключить или сократить технологические стадии, на которых происходит образование отходов.

Решения, принятые по защите окружающей среды. В экологии наибольший интерес представляют биотехнологические процессы. Биотехнология широко применяется для охраны природной среды при разработке методов биологической очистки природных и сточных вод и утилизации отходов. Данная технология позволяет решить вопросы, связанные:

– с утилизацией твёрдой фазы сточных вод и твердых бытовых отходов с помощью анаэробного сбраживания;

– с биологической очисткой природных и сточных вод от органических и неорганических соединений;

– с микробным восстановлением загрязненных почв, получением микроорганизмов, способных нейтрализовать тяжелые металлы в осадках сточных вод;

– с компостированием;

– с созданием биологически активного сорбирующего материала для очистки загрязненного воздуха.

Инженерная защита атмосферного воздуха предусматривает применение такого оборудования, как сухие пылеуловители, циклоны, пылеосадительные камеры, скрубберы, фильтры, зернистые или высокоэффективные электрофильтры.

Прилагая усилия в области совершенствования в области инженерной экологической защиты необходимо, прежде всего, стремится к восстановлению устойчивости биосферы, не допускать превышения допустимых (пороговых) значений, сокращать техногенные нагрузки на природную среду.

Источники

1. Основные направления инженерной экологической защиты [Электронный ресурс]. URL: https://studfile.net/preview/1201001/page:30/ (дата обращения: 09.03.2021).

2. Инженерная защита окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: https://ecology-education.ru/index.php?action=full&id=621 (дата обращения: 09.03.2021).

3. Направления инженерной защиты окружающей среды [Электронный ресурс]. URL: http://isgod.ru/posts.php?id=68 (дата обращения: 09.03.2021).

УДК 66.074.388

УЛАВЛИВАНИЕ ЛЕГКИХ ФРАКЦИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ И НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ

А.В. Тришина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
trishinaanastasiya5@gmail.com
Науч. рук. В.Е. Дылевский

Рассмотрены проблемы и пути решения снижения потерь легких фракций углеводородов при добыче и переработке нефти.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, легкие фракции углеводородов, сепарация.

Нефтегазодобывающая отрасль занимает лидирующую позицию в промышленной индустрии. С каждым годом объем добычи нефти стремительно растет. Соответственно увеличивается число резервуаров и транспортных емкостей для хранения нефти и нефтепродуктов (бензин, топливо). При ее добыче и транспортировке атмосфера загрязняется углеводородами в основном в результате испарений и аварийных выбросов.

Особенно велики потери от испарения легковоспламеняющихся нефтепродуктов с резервуаров в товарных парках. При испарении нефти на начальной стадии теряются наиболее легкие фракции, такие как метан, пропан, этан, бутан, изобутан и др. – летучие органические соединения. Загрязнение воздушного бассейна легкими фракциями нефти приводит к ухудшению его экологического состояния. Это определяет актуальность задачи по установке и совершенствованию систем улавливания паров нефти и нефтепродуктов на различных этапах добычи и переработки нефти.

В связи с этим целью настоящей работы является анализ системы по улавливанию легких фракций нефтепродуктов на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли.

В процессе добычи и транспортировки нефти выделяется попутный нефтяной газ (ПНГ), который представляет из себя природный углеводородный газ (смесь газов и парообразных углеводородных и не углеводородных компонентов), растворенный в нефти или находящийся в «шапках» нефтяных и газоконденсатных месторождений. Попутный нефтяной газ является побочным продуктом нефтедобычи. В 1 т нефти количество ПНГ может содержаться от 1-2 $м^3$ до нескольких 1 000 $м^3$ в зависимости от региона добычи. Во многих ПНГ, в зависимости от месторождения, содержатся такие неуглеводородные компоненты как сероводород и меркаптаны, углекислый газ, азот, гелий и аргон [1].

В состав попутного нефтяного газа входят следующие компоненты: метан, этан, пропан, бутан и изобутан, которые являются легкими фракциями нефти. Они также могут выделяться при испарении нефти и нефтепродуктов. Таким образом, теряется большое количество нефти (до 10–12 % в год от объема добычи).

Поэтому с недавнего времени вместо сжигания попутного нефтяного газа и содержащихся в нем легких фракций, его стали использовать для производства топлива и различных химических веществ. Из нефтяных газов путём химической переработки получают пропилен, бутилены, бутадиен и др., которые используют в производстве пластмасс и каучуков. [2].

К производимой продукции относится газовый бензин, получаемый из легких фракций нефти с помощью компрессии или абсорбции. Затем для стабилизации бензина удаляют пропан. Тем самым этот газ переходит в категорию отходов [3].

Установка улавливания легких фракций углеводородов (см. рисунок) предназначена для отбора, компримирования паров легких фракций углеводородов, выделившихся из газового пространства резервуаров и поддержания в них оптимального давления [4].

Установка представляет собой конструкцию, состоящую из резервуаров, газоуравнительной системы, сепаратора, датчиков давления и уровня, компрессора и насоса, предназначенную для отбора, компримирования паров, выделившихся из газового пространства резервуаров и поддержания в них оптимального давления.

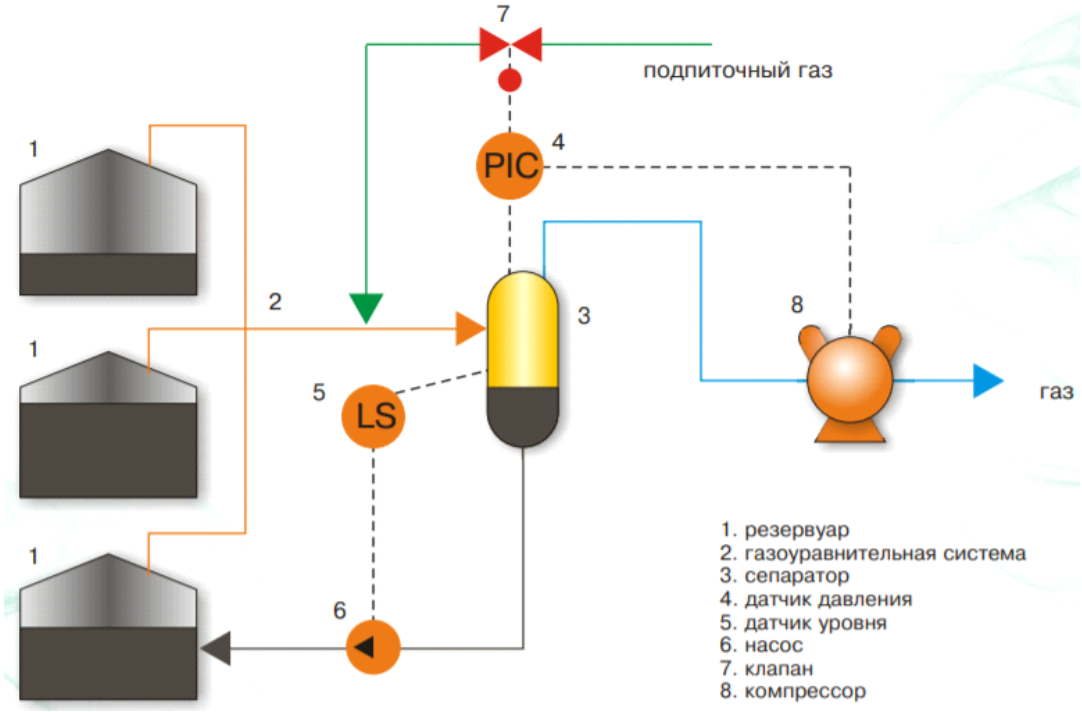


Схема установки улавливания легких фракций углеводородов

Технологический процесс. Легкие фракции, выделяющиеся при технологических операциях с нефтью и нефтепродуктами, поступают в газовое пространство резервуаров и перераспределяются между ними по трубопроводам газоуравнительной системы. При достижении давления в газовом пространстве резервуаров 0,07–0,1 м водяного столба включается компрессор, который откачивает лёгкие фракции по трубопроводу. Далее они попадают в сепаратор для отделения капельной влаги. Сепаратор работает при давлении от 0,1 до 0,7 и более кПа. При давлении ниже 0,2 кПа открывается подпиточный клапан для подачи газа, тем самым препятствуя образованию вакуума и обеспечивая поддержание в газовом пространстве давления на заданном минимальном уровне. По мере наполнения нижней части сепаратора жидкостью, датчик уровня подает сигнал на включение насоса, который производит откачку конденсата обратно в резервуар. А оставшийся газ поступает на дальнейшую переработку либо сжигается.

Преимущества и особенности установки улавливания легких фракций углеводородов:

– ликвидация потерь ценных углеводородов и дополнительная прибыль: установка обеспечивает условия для полной герметизации резервуаров;

– улучшение качества нефти в результате обогащения ее сохраненными легкими фракциями;

– увеличение срока службы РВС: сокращение внутренней коррозии воздушного пространства резервуаров за счёт предотвращения попадания кислорода воздуха;

– поддержание в газовом пространстве резервуаров оптимального рабочего давления за счет снижения амплитуд нагрузок на кровлю РВС;

– улучшение экологической обстановки: исключение выбросов вредных веществ в атмосферу;

– снижение уровня пожарной опасности объектов, защита от аварийных ситуаций;

– улучшение условий труда персонала в нефтепарках и сохранение здоровья жителей прилегающих населенных пунктов [5].

Источники

1. Попутный нефтяной газ (ПНГ) [Электронный ресурс]. URL: https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/141459-poputnyy-neftyanoy-gaz-png/ (дата обращения: 10.03.2021).

2. Попутный нефтяной газ [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Попутный_нефтяной_газ (дата обращения: 10.03.2021).

3. Решение проблемы сжигания попутного нефтяного газа [Электронный ресурс]. URL: https://neftegaz.ru/science/ecology/331519-reshenie-problemy-szhiganiya-poputnogo-neftyanogo-gaza/ (дата обращения: 10.03.2021).

4. Установка улавливания легких фракций углеводородов (УУЛФ) [Электронный ресурс]. URL: https://ozna.ru/razdel-resheniy/ ?ELEMENT_ID=67 (дата обращения: 10.03.2021).

5. Установки улавливания легких фракций углеводородов от Компании «ОЗНА» [Электронный ресурс]. URL: https://ozna.ru/about_/sertifikaty-i-litsenzii/УУЛФ%20от%20Компании%20ОЗНА.pdf (дата обращения: 10.03.2021).

УДК 620.953:636.6

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПТИЦЕВОДСТВА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Н.Н. Фахреев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
fakhreevnn@yandex.ru
Науч. рук. Р.Я. Дыганова

Рассматриваются технологии энергетического использования многотонажных отходов птицеводства. Основной технологией предлагается получение синтезированного из органической составляющей отхода газа.

Ключевые слова: птицеводческие отходы, утилизация, синтез-газ

По статистическим данным Госдокладов Республики Татарстан за последние пять лет наблюдается рост поголовья сельскохозяйственной птицы как на отдельных предприятиях, так и в регионе в целом [1].

Рост производственных мощностей приводит к увеличению образования отходов что в свою очередь естественное разложение органики способствует эмиссии парниковых газов и загрязнению атмосферного воздуха в близи птицефабрики [3]. Одним из основных парниковых газов при разложении органики является метан (CH_4) у которого парниковые свойства в 16 раз выше, чем у углекислого газа [2].

Утилизация отходов в птицеводческой отрасли предполагает его внесение в качестве органического удобрения на сельскохозяйственные угодья, но при недостатке площадей происходит их накопление.

Наиболее перспективным решением снижения нагрузки на окружающую среду птицеводческих предприятий представляется использование многотонажных отходов в энергетических целях.

В результате анализа «Информационно технических справочников по наилучшим доступным технологиям», определили, что перспективным решением снижения объема отходов и полезного использования его энергетического потенциала является высокотемпературная деструкция с получения полезной тепловой и электрической энергии. Получаемая при этом тепловая энергия используется для нужд птицефабрики, обеспечивая до 100 % потребность в тепловой энергии. Получаемая при термоутилизации органических отходов зола, составляет 10–15 % от общего объема отходов и может быть использована в качестве минерального удобрения [4, 5].

Был построен энергетический баланс птицеводческого предприятия с образованием 40 тыс. т органических отходов в год с включением в технологическую линию утилизации отходов методом высокотемпературного разложения (см. таблицу) [6].

Структура энергетического баланса процесса термического разложения с получением энергоносителя, расходуемого на собственные нужды

Энергоноситель	Расход	Кол-во, ГДж	Доля, %
Синтез-газ	На собственные нужды процесса газификации	471	50
	Обеспечение птицефабрики ЭЭ	32	3
	Обеспечение птицефабрики ТЭ	76	8
	Реализация избыточной энергии сторонним организациям	363	39
Итого		942	100

Из таблицы видно, что при использовании метода термической деструкции органических отходов птицефабрик с получением синтез-газа потребность в тепловой (ТЭ) и электрической (ЭЭ) энергии может быть удовлетворена на 100 %, а также дополнительно реализована избыточная энергия сторонним организациям.

Источники

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды республики Татарстан [Электронный ресурс]. URL: https://eco.tatarstan.ru/gosdoklad.htm (дата обращения: 05.03.2020).

2. Артемьев В.С. Биогаз – ценный возобновляемый источник электроэнергии // Будущее науки – 2015: сб. науч. ст. 3-й Междунар. молод. науч. конф. 2015. Т. 2. С. 348–352.

3. Low temperature gasification of poultry litter in a labscale fluidized reactor // G. Katsaros [et al.] // Energy Procedia. 2019. Vol. 161. Pp. 57–65.

4. ИТС 42-2017. Интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы. М.: Бюро НДТ, 2017. 137 с.

5. ИТС 9-2020. Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов). М.: Бюро НДТ, 2020. 208 с.

6. Фахреев Н.Н. Альтернативный способ утилизации органических отходов птицефабрик для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду и экологических платежей предприятия // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: матер. II Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. Чебоксары, 2020. С. 212–215.

УДК 621.928.99

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКРЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Р.З. Хамраева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
regakhamraeva@mail.ru
Науч. рук. Р.Н. Апкин

Предложен метод совершенствования электрофильтров с использованием скрещенных электромагнитных полей, что позволит повысить степень очистки коронирующих электродов от уловленной пыли.

Ключевые слова: промышленные выбросы, электрофильтр, электромагнитные поля, ионизатор, осадительная камера.

В условиях снижения количества вакантных ресурсов и регресса качественного состояния атмосферного воздуха, также при непрерывном ужесточении требований со стороны контролирующих органов к качеству воздуха, вопрос о внедрении эффективных технологий очистки промышленных выбросов на предприятиях стоит все более остро.

Наиболее широко применяемой технологией очистки промышленных выбросов, загрязненных большим количеством взвешенных веществ, являются электрофильтры.

Электрофильтры основываются на инновационных коронирующих электродах, подбор которых напрямую зависит от свойств улавливаемой пыли.

Электрофильтры – аппараты прямоугольной формы, состоящие из стального корпуса, обычно покрыты теплоизоляцией с наружной стороны. Самыми распространенными, в практическом применении, являются односекционные или двухсекционные электрофильтры [1].

Активная зона электрофильтров состоит из осадительных и коронирующих электродов.

Осадительные электроды – полотна плоской формы, которые сформированы из пластинчатых элементов специального профиля.

Коронирующие электроды, в свою очередь, представляют собой рамы трубчатой формы, в которых размещены коронирующие элементы.

Сброс уловленной пыли с электродов осуществляется механически, во время встряхивания электродов в результате удара молотков.

В сухих электрофильтрах, с целью удаления накопленной на электродах пыли, применяют следующие механизмы: пружинно-кулачковый, ударно-молотковы и магнитно импульсивный.

Основным недостатком вышеперечисленных методов очистки электродов являются быстрый износ всей конструкции электрофильтра и снижение эффективности работы установки, по причине смешивания остатков пыли с газовым потоком.

Следуя из вышесказанного, разъясним, что для интенсификации очистки промышленных газов в электрофильтрах, стабилизации их работы важно, соблюдать чистое состояние поверхности осадительных электродов. Достижению этой цели, в первую очередь, способствует контроль за удельным электрическим сопротивлением взвешенных частиц.

Помимо этого, необходимо внедрение принципиально нового решения, который приведет к минимизации количества уловленного загрязняющего вещества на поверхности осадительных электродов.

Таким принципиальным решением может быть очистка промышленных газов путем скрещивания магнитных полей [2].

Для применимости данного решения, обязательным решением является то, чтобы аппарат очистки выбросов был двухзонным. В таких аппаратах очистки зарядка и осаждение загрязняющих частиц происходит в следующих конструктивных зонах:

1-я зона – ионизатор, в котором создается коронный разряд, взвешенные вещества получают заряд и не успевают осесть;

2-я зона – осадительная камера со сформированным электромагнитным полем, куда потоком газов выносятся заряженные частицы взвещенных веществ.

Поверхность осадительных камер располагается посередине магнитного поля, имеющую условную напряженность за счет протекания тока по осадительным электродам и пластинам, которые находятся снаружи осадительной камеры.

Важным нюансом является и расположение платин. Их необходимо располагать одну за другой и параллельно газовому потоку.

Разнородные схемные решения дают возможность генерировать в рабочем объеме пылеулавливающего аппарата импульсы напряжения и тока, которые отличаются по форме. В результате их взаимодействия создаются скрещенные электромагнитные поля, которые постоянно чередуются – переменные по току и напряжению, однополярные по току и напряжению и т. д.

В зависимости от размера и происхождения улавливаемых частиц возможно формирование наиболее оптимальной формы импульсов напряжения и тока электромагнитного поля, при которой будет наблюдаться наивысшая эффективность пылеулавливания [2].

Наличие пондеромоторных сил, оказывающих воздействие на осадительные электроды, повышает эффективность очистки промышленных выбросов от загрязняющих частиц. Данное условие важно учесть при конструировании электрофильтра, работа которого основывается на применении скрещенных электромагнитных полей.

В электрофильтре такой конструкции по электродам протекает импульсный электрический ток, и в различные временные промежутки осадительные электроды будут либо притягиваться друг к другу, либо отталкиваться, что вызовет механическую вибрацию. Постоянная вибрация с определенной частотой будет способствовать стряхиванию уловленной пыли с осадительных электродов [3].

Анализируя вышеизложенное можно сделать выводы о том, что применение технологии скрещивания электромагнитных полей в осадительной камере электрофильтра, позволит устранить недостатки в работе электрофильтра, при условии сохранения основных достоинств в области улавливания твердых частиц.

Источники

1. Петров А.А. Разработка технологии эффективной очистки промышленных выбросов в атмосферу: автореф. дис. … канд. тех. наук. Пермь, 2017. С. 152–157.

2. Смонин Б.Б., Моканов М.Н. Источники загрязнения атмосферы // Молодой ученый. 2016. № 51. С. 202–214.

3. Добров В.Ф. Технологии модернизации электрофильтров: автореф. дис. … канд. тех. наук. Уфа, 2018. С. 79–82.

УДК 504.054

ЭКОЛОГИЧНАЯ ОДЕЖДА

А.А. Чеботарева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Cebotarevaangelina3@gmail.com
Науч. рук. М.А. Кузнецова

Рассмотрены проблемы и пути решения негативного воздействия неэкологической продукции текстильной промышленности.

Ключевые слова: «быстрая мода», экологичная одежда, окружающая среда, негативное воздействие.

Индустрия моды на сегодняшний день является самой загрязняющей в мире. Огромные выбросы парниковых газов при производстве «быстрой моды» оказывают негативное воздействие как на окружающую среду, так и на здоровье человека. Именно поэтому влияние неэкологичной продукции текстильной промышленности на среду обитания является актуальной проблемой.

«Быстрая мода» – процесс производства одежды как можно быстрее, дешевле и, как правило, с более низким качеством [1]. На первый взгляд, это может показаться отличным решением для всей индустрии, но такая тенденция приводит к разрушению, включая увеличение текстильных отходов, от производства и потребления до утилизации.

С каждым годом продажи одежды по всему миру возрастают почти в два раза, к тому же служить она людям стала намного меньше. Это связано с большой конкуренцией брендов на рынке и избытком продукции, ведь магазинов с одеждой сейчас можно встретить на каждом углу. Носибельность вещи в среднем составляет год, при условии, что она не требует дополнительного ухода и починки. Люди покупают огромное количество вещей, порой и ненужных. В гардеробах они годами складируют старую одежду, так и ни разу не надев ее.

Организации, занимающиеся благотворительностью, активно устанавливают контейнеры для поношенной одежды в городах Германии. До 75 % ненужных вещей жители немецких городов заполняют эти контейнеры. Далее она отправляется в такие страны, как Азия, Африка. Но в последнее время многие страны отказываются от такой гуманитарной помощи.

«Наши подержанные вещи становятся все большим препятствием на пути товаров секонд-хэнд. В последнее время их стало так много, что страны, ранее принимавшие и перерабатывавшие подержанную одежду, сейчас отказываются от этого», – так говорит специалист Greenpeace Кирстин Бродде (*Kirstin Brodde*). Это лишь одно из последствий реальной проблемы, которая носит название “Fast Fashion” – «быстрая мода» [2].

Такой способ израсходования тканей вызывает недовольство у К. Бродде. «Сегодня вряд ли кто-нибудь знает, как правильно пришить пуговицу, – возмущается она. – Мы должны покупать меньше одежды и дольше ее носить, а не относить каждые несколько месяцев тюки с поношенными вещами к контейнерам в надежде, что они еще послужат кому-то на другом конце земного шара» [2].

Около 20 % водных ресурсов используется для производства продукции модной и текстильной промышленности, а также энергии, химикатов и сырья. Выбросы CO_2 (более 1 млрд т) превышает аналогичный показатель у отраслей морских перевозок и международных перелетов одновременно. Здесь же нужно обратить внимание на использование токсичных химических веществ, например, при обработке тканей и загрязнение океана микропластиком из текстильных волокон.

Однако, данная индустрия не стоит на месте. Все больше компаний стали отказываться от неэкологичной продукции и начали переходить на органическую одежду, состоящая из хлопка или шерсти, при выращивании которой не используются вредные и химические вещества, пестициды, улучшая экологию почвы. К тому же, большинству людей не все равно, какую одежду им носить, они очень тщательно подходят к выбору тканей, особенно к той, которая предназначена для детской одежды, так как следят за здоровьем своих детей. Неэкологичная вещь может представить угрозу для чувствительной кожи, например, возможны аллергические реакции, зуд и даже проблемы с дыханием. Любая одежда, как детская, так и на взрослых людей, должна быть изготовлена из натуральных материалов высокого качества, органического льна, хлопка, бамбука, овчины. Она должна быть удобной и учитывать возрастные требования.

Экологичная одежда – одежда, изготовленная из экологически чистых, органических, природных материалов. В производстве такой одежды используются материалы, не прошедшие химическую обработку, а процесс производства таких материалов и одежды исключает наличие вредных выбросов [3].

Многие компании серьезно занялись вопросом экологичности их товаров. Крупные бренды стараются перейти на осознанное производство и вносить свой вклад в сохранение природы.

Например, из переработки вторичного пластика бренд H&M производит аксессуары и сумки для шоппинга. В переплавку также идут бутылки из-под напитков и бытовой химии. А из старых рыболовных сетей, путем вторичной переработки, джерси H&M получает трикотажную ткань.

Сбор старой одежды эта компания организовала в 2013 г. не только в Швеции, но и во всех магазинах России. Согласно их правилам, участники могут приносить не более двух мешков за раз. Принимаются любые вещи – в любом состоянии и совершенно любого бренда, за исключением кожаных изделий, обуви и постельного белья. Взамен всем участникам данной акции предоставляют купон на скидку 15 % на новые покупки.

Для изготовления одежды H&M использует органический хлопок, выращенный без химических пестицидов. Также бренд специализируется на изготовление тканей из старой хлопчатобумажной одежды и производственных остатков хлопка. К 2020 г. компания H&M стремится полностью перейти на вторичный хлопок. На данный момент такой хлопок занимает 15 % от используемого [4].

Также компания использует такой материал как лиоцелл – текстильное волокно, получаемое химическим путем, на основе целлюлозы. По своим свойствам ткань схожа с хлопком. Для изготовления лиоцелла H&M использует эвкалипт и бамбук. Эти породы деревьев не требуют хлопотного ухода, к тому же быстро растут и их не нужно часто поливать, в отличие от хлопковой культуры [4].

Для компании Stockmann важно, чтобы поставщики продукции уважали права животных и предоставляли им кожу для изготовления материалов, только если она является побочным продуктом пищевой промышленности. Бренд также против выщипанных перьев и пуха птиц.

С целью защиты экологии спецодежду сотрудникам Stockmann шьют из материалов высокого качества, по мере износа ее не выбрасывают, а используют для уборки либо жертвуют ремесленникам для мастер-классов.

Еще одним примером в борьбе за экологию стал бренд Picture Organic, который продает шлемы из кукурузы. Создатели компании стали производить одежду, состоящую на 100%-ной из органики, переработанных мате-риалов и отходов производства.

Picture Organic выпустила первый в истории шлем для сноуборда из экологичных материалов. Его оболочка выполнена из полилактида, в основу которого создатели заложили обыкновенную кукурузу. А подкладка головного убора – не что иное, как переработанные приборные панели автомобилей [5].

Следует обратить внимание на то, что неэкологичная одежда может быть не только натуральной. Производство изделий из натурального меха и кожи ведется за счет эксплуатации и уничтожения животных. Отказавшись от такой продукции, можно избежать убийства животных. Современные технологии позволяют создавать материалы для производства обуви, верхней одежды, которые полностью безопасны для человека и окружающей среды.

Особое внимание к вопросам экологии и охраны окружающей среды, приводит к возрастанию потребности в экологичных продуктах во всех сферах человеческой жизнедеятельности. Выбирая данную продукцию, человечество заботится о природе и своем здоровье.

Источники

1. Мода и окружающая среда [Электронный ресурс]. URL: https://moda.ru/article/moda-i-okruzhayushhaya-sreda/ (дата обращения: 06.03.2021).

3. Organic одежда. Преимущества неоспоримы [Электронный ресурс]. URL: https://vegetarian.ru/news/Organic_odejda_Preimuschestva_neosporimyi.html (дата обращения: 06.03.2021).

2. Чем «быстрая мода» опасна для окружающей среды? [Электронный ресурс]. URL: https://www.dw.com/ru/чем-быстрая-мода-опасна-для-окружающей-среды/a-43424648 (дата обращения: 07.03.2021).

4. Топ-5 брендов, которые активно поддерживают эко-инициативу [Электронный ресурс]. URL: https://wfc.tv/ru/stati/o-mode/top-5-brendov-kotorye-aktivno-podderzhivayut-eko-initsiativu (дата обращения: 07.03.2021).

5. Eco-friendly: как и зачем спортивные бренды заботятся об экологии [Электронный ресурс]. URL: https://www.championat.com/lifestyle/article-3951997-kak-sportivnye-brendy-zabotjatsja-ob-ekologii-nike-adidas-patagonia-quiksilver.html (дата обращения: 07.03.2021).

Секция 9. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.316.7

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ ВЕТРА В БУИНСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН (ПО СОСТОЯНИЮ НА ОКТЯБРЬ 2020 Г.

Ф. Хассан Алхадж[1], И.Ю. Мазаров[2], А. Альзаккар[3], О.М. Альмохаммед[4], Н.Ф. Тимербаев[5]

[1,2,3,4,5]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[3]Северный технический университет, г. Мосул (Ирак)

[1]Fouadhajjhassan42@gmail.com

Анемометры расположены на определенной высоте для измерения скорости и направления ветра, на станции данных, которая установлена в городе Суркино в течение октября 2020 г. Данные полученных с помощью датчиков иллюстрируется таблицами на Excel, эти данные должны быть обработаны, чтобы стать полезным. Изучены гистограмма, распределение скорости ветра и среднемесячная скорость ветра. Практический эксперимент на Суркино будет дан, и данные будут обработаны.

Ключевые слова: Гистограмма скорости ветра, суточная скорость ветра, распределение скорости ветра.

Введение

Анемометры расположены на разных высотах: 99 м; 95,8 м; 75,8 м; 55,8 м. Датчики направления ветра поддерживаются на высоте 95,65 и 55,65 м. Эти датчики используются для измерения скорости ветра, направления ветра. Собранные данные представлены в таблицах Excel, каждая таблица представляет один день с интервалом в 10 минут. Каждый слот представляет собой среднее из 10 минут. Гистограмма, суточное скорость ветра и распределение скорости ветра заводятся из таблиц.

1. Гистограмма

Гистограмма рассчитывается с использованием формулы “frequency” в Excel [1], диапазон скорости ветра находится в пределах от 0 до 20 м/с. Полученная гистограмма представлена на рис. 1.



Рис. 1. Гистограмма скорости ветра

2. Суточная скорость ветра

Суточная скорость ветра каждого месяца – это средняя скорость ветра каждого датчика за час [2]. Полученные средние значения скорости ветра представлены кривыми; они показывают изменение скорости ветра во времени. Кривые на рисунке 2 показывают среднюю скорость ветра по времени для каждого датчика на разных высотах измерительной станции. Ограничение средней скорости ветра составляло (от 6,3 до 8,9 м / с) с 8 утра до 6 вечера.

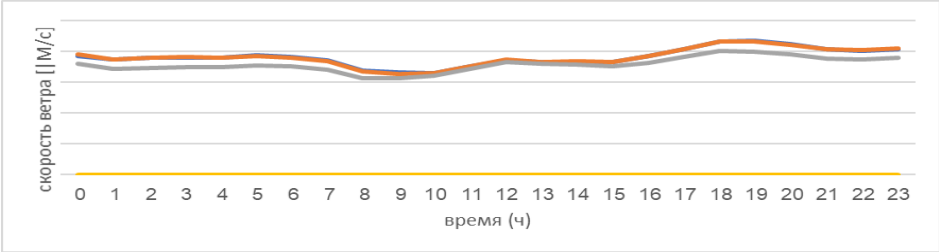


Рис. 2. Средняя скорость ветра в обозначенный день в октябре 2020 г/ в Суркино

3. Распределение скорости ветра

Чтобы иметь возможность изобразить распределение скорости ветра или (розу ветров) сначала необходимо определить среднюю скорость ветра в дополнение к среднему направлению ветра, затем скорость ветра разделить на группы в соответствии с изменением скорости ветра: от 0 до 3 м/с, от 3 до 6 м/с, от 6 до 9 м/с и более 9 м/с [3]. Соответствующие углы также разбить на группы, например, от 0 до 12 градусов в направлении «N», от 12 до 34 градусов в направлении «NNE» и т. д. График распределения средней скорости ветра показано на рис. 3.



Рис. 3. Распределение средней скорости ветра

Как видно из рис. 3, колебания скорости ветра максимальны в северо-восточном направлении, они составляют около 22 %.

Вывод

1. Результаты этого практического исследования подтверждают, что город Суркино является одним из хороших мест для реализации проекта ветряной электростанции.

2. Рекомендуется провести дальнейшие исследования, чтобы измерить другие месяцы и получить общий мониторинг скорости ветра.

Источники

1. “What is a Histogram?” [Электронный ресурс]. URL: https://asq.org/quality-resources/histogram (дата обращения: 21.01.2021).

2. McFarlane Diurnal variations of land surface wind speed probability distributions under clear-sky and low-cloud conditions / Yanping He [et al.]. DOI:10.1002/grl.50575 // Geophysical research letters. 2013. Vol. 40. Pp. 3308–3314.

3. Wind power assessment and evaluation of electricity generation in the Gulf of Tunis, Tunisia / Taher Maatallah [et al.]. DOI: 10.1016/j.scs.2012.06.004 // Sustainable Cities and Society. 2013. Vol. 6, Is. 1. Pp. 1–10.

УДК 620.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ В ВОЗДУШНО-АЛЮМИНИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРАХ ПРИ РАЗВИТИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ГРЕЦИИ

Бакиртзис Андреас Иоаннис
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва
curandero@rambler.ru
Науч. рук. И.В. Королев

Рассматривается вопрос об использовании алюминия для производства воздушно-алюминиевых батарей при перспективном развитии солнечной энергетики в Греции.

Ключевые слова: электроэнергия, солнечная энергетика, Греция, воздушно-алюминиевые батареи, аккумуляторы, алюминий.

Изменение климата превратилось в острую экологическую проблему, и одной из основных причин является огромное количество газа CO_2, выбрасываемого из-за резкого роста человеческого населения и деятельности. Одним из методов борьбы с изменением климата является сокращение потребления нефти в качестве энергетического и материального ресурса и, что особенно актуально в настоящее время, использование возобновляемых источников энергии для электромобилей и производства электроэнергии.

Решением данной проблемы является создание аккумуляторов большой емкости, которые могут сохранять избытки возобновляемой энергии, чтобы уменьшить зависимость от нефти. Применение алюминиево-воздушных аккумуляторов перспективно с точки зрения экологии, так как отсутствуют выбросы CO_2 и NO_x, а также существует возможность рационального использования алюминиевого топлива при восстановлении $Al(OH)_3$ вновь до Al без добычи бокситов.

Развитие солнечной энергетики в Греции началось в 2006 г., и уже к 2009 году использование энергии, полученной через солнечные батареи резко увеличилось. Это объясняется высокой инсоляцией – облучением параллельным пучком лучей, поступающих с направления солнечного диска. В Средиземноморье приблизительно 1700 кВт·ч/м^2 (рис. 1).

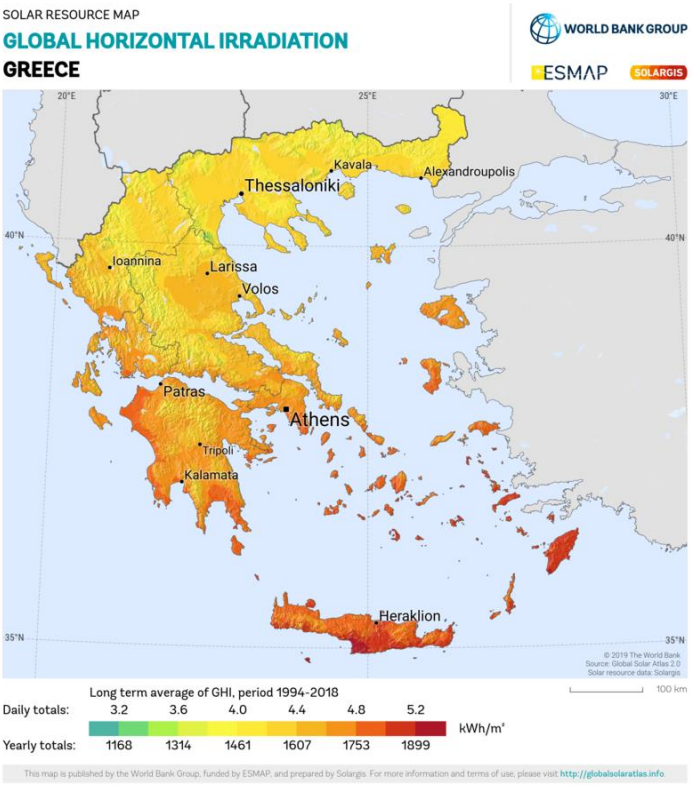


Рис. 1. Уровень инсоляции в Греции

Греция занимает 5-е место в списке стран по количеству энергии, выработанной солнечными панелями, на душу населения. Ожидается, что около 7 % всей потребляемой электроэнергии в стране будет вырабатываться на электростанциях, использующих солнечные панели [1].

В настоящее время в Греции строится крупнейшая в Европе солнечная электростанция на двусторонних модулях мощностью 204 МВт, которая начнёт работать во второй половине 2021 г. [2].

Солнечные электростанции генерируют электроэнергию днем, а большая потребность в электричестве возникает в вечерние часы. Следовательно, без аккумуляторов солнечные электростанции не будут эффективны. Вырабатываемая солнечными батареями энергия накапливается в аккумуляторных батареях, затем полученный ток преобразуется из постоянного в переменный, и отправляется на нужды домашнего хозяйства. Для производства 1 кВт энергии достаточно 7–10 $м^2$ фотоэлементов.

Литий-ионные аккумуляторы широко применяются в качестве накопителя энергии в электромобилях и в энергетике. Однако ограниченный ресурс лития и его неравномерное распространение на земле препятствуют развитию литий-ионных аккумуляторов для крупномасштабного применения. В соответствии с существующими технологиями и скоростью роста производства лития литиевые руды закончатся примерно через 25 лет, а литиевые запасы разведанных ресурсов, связанные с соляными озерами, истощатся примерно через 50 лет [3]. Перспективным направлением является использование алюминия для изготовления алюминиево-воздушного аккумулятора.

Алюминий является самым распространенным металлом и третьим наиболее распространенным элементом в земной коре после кислорода и кремния [4]. Этот факт в сочетании с самой высокой теоретической объемной емкостью делает этот металл одним из наиболее перспективных анодов для электрохимических систем накопления энергии.

Относительно высокая плотность алюминия, которая составляет около 2,7 $г/см^3$ и его трехвалентное ионное состояние приводят к тому, что теоретическая объемная емкость алюминия достигает 8,04 А·ч, что в два и три раза выше, чем у магния и лития соответственно. Это уникальное свойство делает батареи на основе алюминия особенно интересными для их использования в устройствах, где доступный объем ограничен или где минимальный размер является наиболее важным элементом – для энергоснабжения портативной электроники, электромобилей или для домашнего энергопотребления.

Перспективным является использования алюминия в воздушно-алюминиевых аккумуляторах (Al-Air). У них одно из самых высоких значений плотности энергии среди батарей всех типов, но они все еще не получили широкого распространения из-за сложностей с высокой стоимостью анода и удаления побочных продуктов при использовании традиционных электролитов [8].

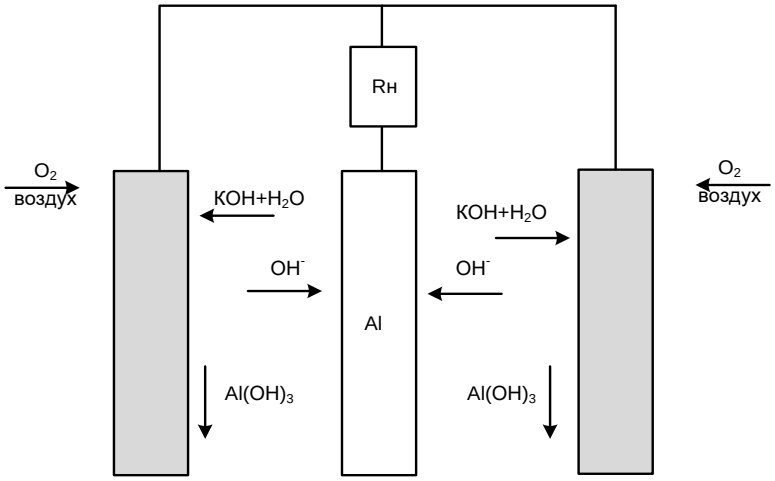


Рис. 2. Воздушно-алюминиевая батарея (Al-Air)

Воздушно-алюминиевая батарея генерирует ток за счёт химической реакции металла с кислородом из окружающего воздуха. Анодом является алюминиевая пластина. С двух сторон ячейка покрыта пористым материалом с серебряным катализатором, который фильтрует CO_2. Металлические элементы медленно деградируют до $Al(OH)_3$.

В тоже время, алюминиевая промышленность, однако, несет ответственность приблизительно за 1 % выбросов парниковых газов, созданных человеком, причём около 40 % приходится на сам процесс производства алюминия (прямые выбросы) и около 60 % – на выработку электроэнергии (косвенные выбросы) для получения алюминиевого металла [5]. Примерно один кг алюминия образует (5-20) кг CO_2. Следовательно, важно для увеличения производства алюминия и для любых алюминийсодержащих применений использовать возобновляемую энергию для электролиза алюминия, чтобы сократить выбросы. Итак, можно рассмотреть алюминий как перспективный энергоноситель. Возобновляемая энергия сохраняется в виде алюминия и транспортируется к месту его энергетического использования в регионы с повышенной экологической нагрузкой или в местность, где испытывают дефицит энергоресурсов, например на островах Греции.

Для производства 1 кг алюминия необходимы температуры около 1000 °C, а также 9–12 кВт·ч электрической энергии с эффективностью процесса 85–95 % [6]. Если электролиз воды происходит за счет возобновляемой энергии гидроэлектростанции, солнца, ветра и так далее, функционирование алюминиевой энергетики (алюмоэнергетика) не должно приводить к увеличению вредного воздействия на окружающую среду. Теоретически можно получить около 5 кВт·ч на 1 кг в алюминиево-ионной батарее.

Для сравнения металлический литий, как и алюминий, получают методом электролиза хлорида лития при температуре порядка 500 °C [7], но при этом процессе электрическое энергопотребление составляет 32–40 кВт·ч на 1 кг.

Принимая во внимание эти данные, потребляемая электрическая энергия для выработки алюминия примерно в три-пять раз ниже, чем для лития, обеспечивающего такую же теоретическую гравиметрическую или объемную емкость металлического отрицательного электрода в батарее.

Следовательно, перспективно разрабатывать аккумуляторные батареи на основе алюминия для развития солнечной энергетики в Греции и во всём мире. Использование алюминия для аккумуляторов в районах выработки солнечной энергии позволит оптимально перераспределить выработку и потребление электроэнергии.

Источники

1. Hellenic association of photovoltaic companies [Электронный ресурс]: сайт. URL: https://helapco.gr/en/greek-pv-market-investment-opportunities (дата обращения: 30.01.2021).

2. Сидорович В. В Греции строится крупнейшая в Европе солнечная электростанция на двусторонних модулях [Электронный ресурс]. URL: https://renen.ru/v-gretsii-stroitsya-krupnejshaya-v-evrope-solnechnaya-elektrostantsiya-na-dvustoronnih-modulyah (дата обращения: 30.01.2021).

3. Кудрявцев П.Г., Кудрявцев Н.П. Литий: ресурсы, добыча и перспективы развития мирового рынка // Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 10-12. С. 70–81.

4. Developments in electrode materials and electrolytes for aluminium-air batteries / D.R. Egan [et al.] // Journal of Power Sources. 2013. Vol. 236. Pp. 293–310.

5. Global Aluminium Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development [Электронный ресурс]. URL: https://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/fl0000181.pdf (дата обращения: 30.01.2021).

6. Habashi F. Extractive metallurgy of aluminum // Handbook of Aluminum. Vol. 2: Alloy production and materials manufacturing / G.E. Totten and D.S. MacKenzie, Eds. Marcel Dekker, 2003. Pp. 1–45.

7. Lithium-metal of the future / P. Mahi [et al.]. DOI:10.1007/BF03257617 // Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 1986. Vol. 38, Is. 11.

8. «Воздушно-алюминиевая батарея – что это, и почему она – перспективна?» [Электронный ресурс]. URL: https://www.el-info.ru/vozdushno-alyuminievaya-batareya-chto-eto-i-pochemu-ona-perspektivna (дата обращения: 30.01.201).

УДК 620.97

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

А.Н. Богданова[1], М.А. Гребёнкина[2]
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]bogdaannovaa@gmail.com, [2]milana.107710@gmail.com
Науч. рук. Н.Ф. Тимербаев

Рассмотрены технологии переработки твёрдых коммунальных отходов с получением электрической энергии.

Ключевые слова: твёрдые коммунальные отходы, повторное использование, сжигание, захоронение, мусорный полигон, биогаз, мусоросжигательный завод, энергетическая утилизация отходов.

В связи с быстрым развитием промышленности и ускоренным темпом жизни современных людей остро встает вопрос обращения с отходами производства и потребления. Эта проблема приняла серьезный характер из-за оказываемого на биосферу планеты негативного необратимого воздействия человеком. Одними из наиболее распространённых видов отходов являются твердые коммунальные отходы (ТКО) [1]. Твердые коммунальные отходы – это отходы, которые образуются в жилых помещениях в процессе жизнедеятельности населения и товары, утратившие потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами. В состав ТКО входят отходы, возникающие в процессе деятельности юридических лиц, сходные с отходами, образуемыми в жилых помещениях физическими лицами [2]. По данным

Росстата за 2019 год, в России образуется около 7751 миллиона тонн твёрдых коммунальных отходов ежегодно. ТКО представляют собой серьезную опасность для окружающей среды, поэтому требуют правильной и безопасной утилизации. Знакомство с существующими технологиями по переработке и сортировке ТКО – вклад каждого человека в заботу об окружающем мире.

Предотвращение образования мусора и его повторное использование (стимулирование и популяризация многоразовых товаров, вывод из оборота одноразовых товаров и поддержка проектов по их ремонту) – первый шаг рациональной утилизации ТКО. Далее следует переработка образовавшегося мусора, с целью сохранения таких ценных ресурсов, как стекло, метал, бумага и пластик. В результате энергия, раннее затраченная на производство товара, полностью или частично сохраняется. Отходы, не подлежащие переработке, подвергаются утилизации с получением энергии (мусорные полигоны и сжигание не подлежащего вторичному использованию мусора). Данная иерархия по работе с отходами (рис. 1) принята ЕС в рамках Рамочной директивы [3].



Рис. 1. Иерархия управления отходами

Схема разделения ТКО представлена на рисунке 2. Существуют методики, при помощи которых можно получать энергию из отходов, наиболее распространённые – сжигание и захоронение.

Отходы, не подлежащие термической утилизации, а также токсичные отходы, необходимо подвергать захоронению на специально оборудованном мусорном полигоне с получением биогаза в процессе его разложения.

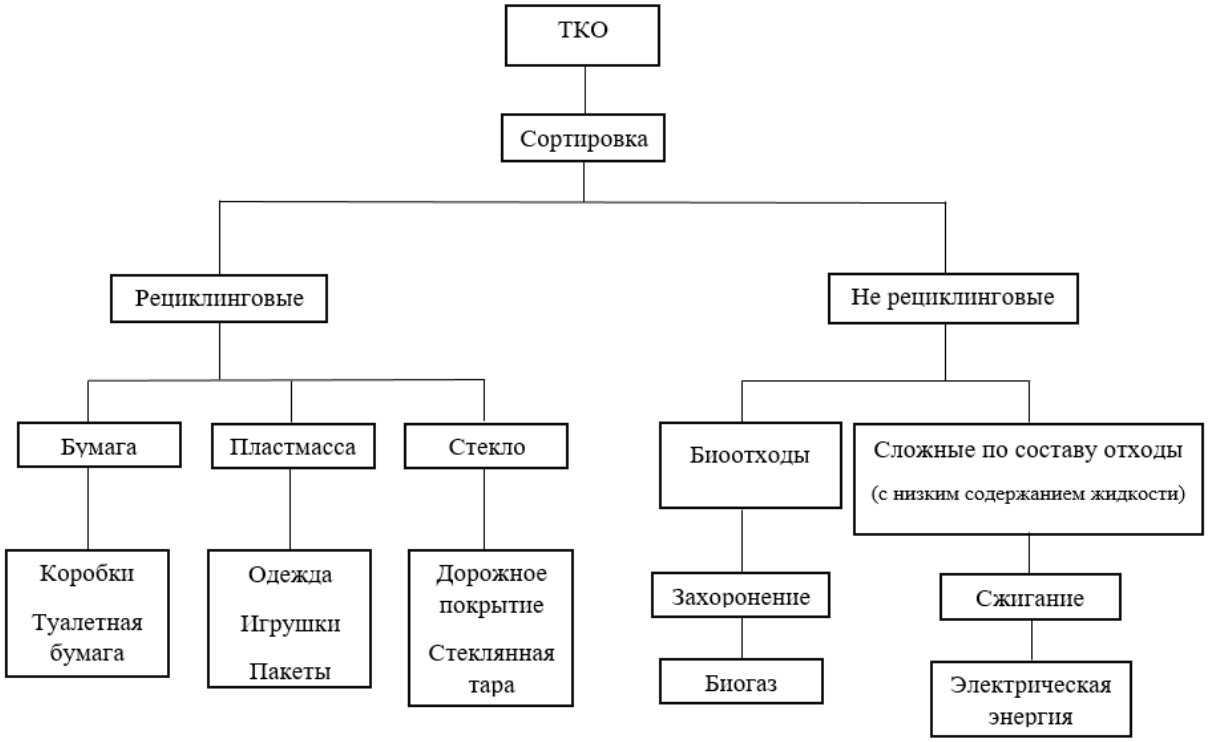


Рис. 2. Схема разделения ТКО

Правильно организованный мусорный полигон – сложное высокотехнологичное сооружение. Его строительство состоит из нескольких этапов:

– подготовка дна (выкладка дна слоем глины, водонепроницаемой геомембраной, геотекстилем и щебнем)

– установка системы труб для сбора фильтрата и свалочного газа

– установка защитной проницаемой мембраны после заполнения свалки

– строительство рядом с полигоном насосных и очистных станций для выделяющихся газов и фильтратов.

Технология эксплуатации мусорных полигонов предполагает сбор свалочного газа с помощью системы дегазации, его очистку от примесей и использование в следующих целях [4] (рис. 3).

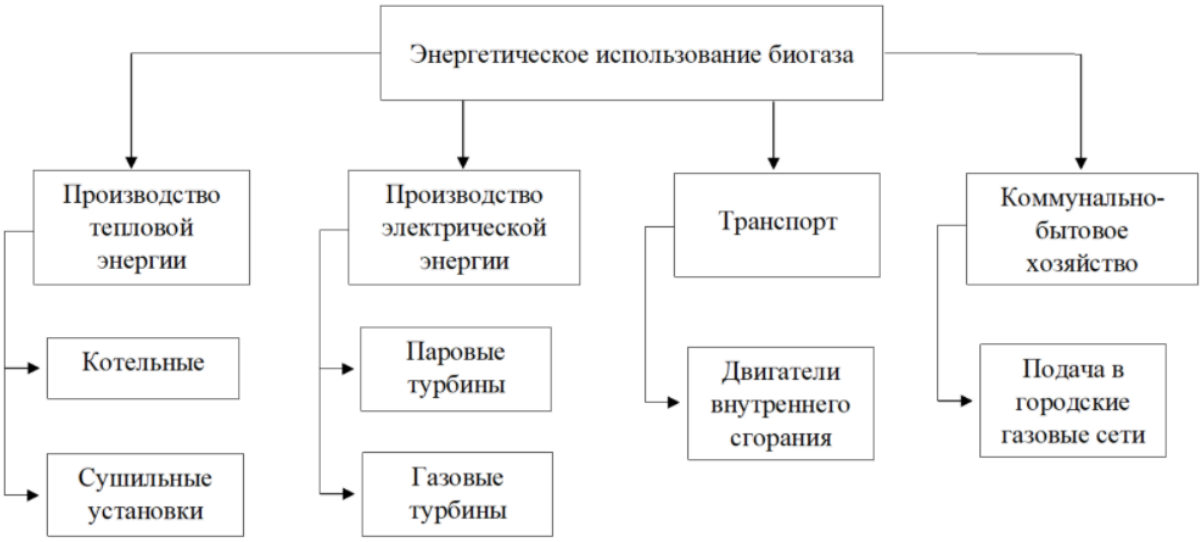


Рис. 3. Энергетическое использование биогаза

Технологии добычи и утилизации биогаза получили широкое распространение за рубежом. В Германии, например, к началу нового тысячелетия добыча биогаза на полигонах ТКО составила около 35 млн $м^3$ в год, что позволяет получать ежегодно 140 млн кВт·ч электроэнергии и экономить около 14 тыс. тонн нефти в год.

На российских полигонах и свалках, площадь которых составляет около 4 млн га, биогаз практически не собирается. Первые шаги в этом направлении осуществила фирма «Геополис», построившая совместно с фирмой «Гронтмай» (Нидерланды) установки для сбора биогаза на двух подмосковных полигонах ТКО (в Мытищах и Серпухове). Технико-экономические расчеты, выполненные на основе опытных данных, подтвердили эффективность добычи свалочного метана в России, где могут быть осуществлены сотни экономически выгодных проектов [5].

Рассмотрим технологию термической обработки мусора [6]. Работа мусоросжигательных заводов состоит из нескольких этапов (рис. 4).

На завод доставляют партии уже отсортированных и не подлежащих вторичному использованию ТКО. Сначала их проверяют на уровень радиационного фона; если он соответствует норме, то затем их взвешивают и выгружают в приёмный бункер-накопитель. Там мусор измельчается, разделяется на фракции, поступает в котлы, в каждом из которых имеется две зоны. Количество котлов зависит от устройства предприятия. Чем больше котлов имеется на заводе, тем большее количество отходов будет термически обработано. По данным «РТ-Инвест» Госкорпорации Ростех, один котёл рассчитан на 7 000 т мусора.

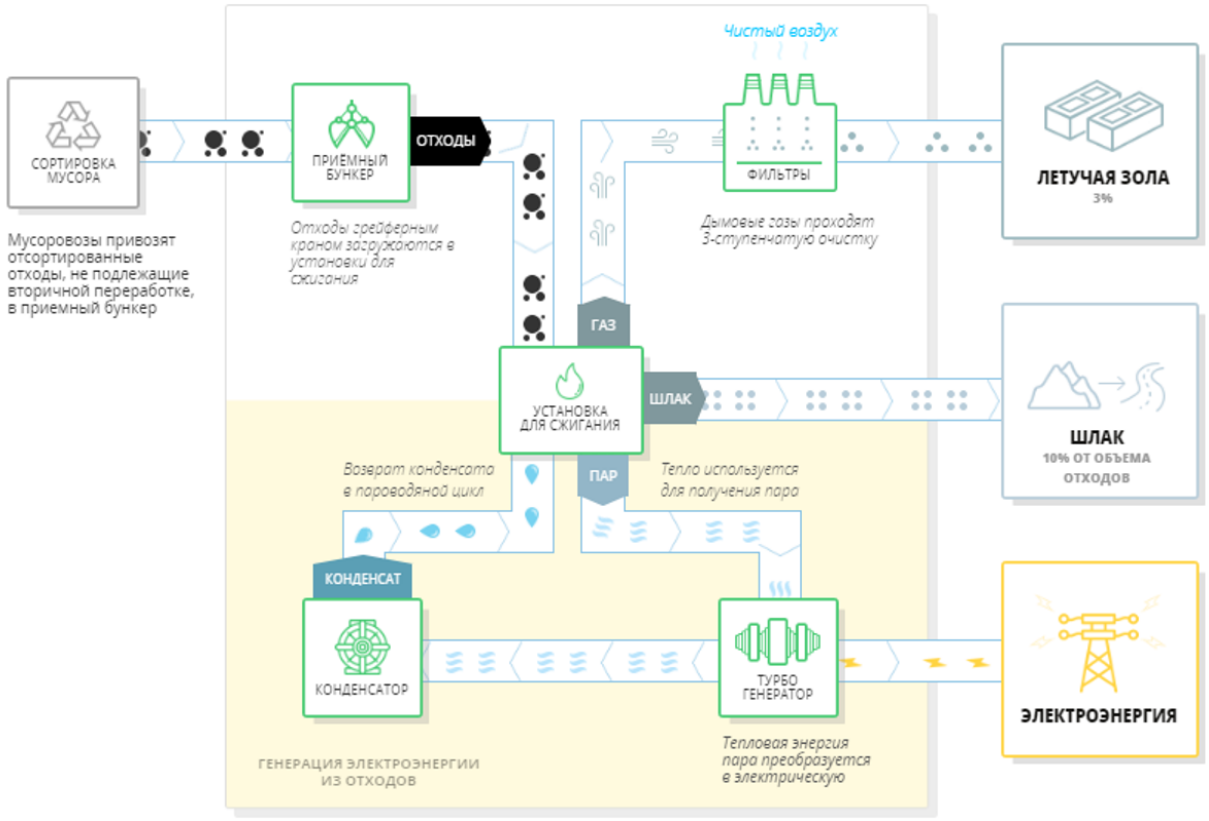


Рис. 4. Процесс термической переработки ТКО в энергию
на мусоросжигательном заводе

В первой зоне котла отходы обрабатываются при температуре 1 260 °C. Такая высокая температура обеспечивает нейтрализацию токсичных диоксиновых соединений – разложение сложных полимерных диоксинов на простые (кислород, углерод, хлор). Во второй зоне происходит уничтожение органических соединений и обезвреживание газовых выбросов при температуре 850 °C. Затем дымовые газы и шлак попадают в реактор, где обезвреживаются активированным углем и аммиаком, охлаждаются и после тщательной фильтрации выделяются в атмосферу при температуре 140 °C.

Дымовые газы, которые образовались во время сжигания, поступают в котёл. Энергия газов под давлением преобразуется в энергию пара; он поступает в турбину, которая вращается и запускает генератор переменного тока, производящий электричество. На нужды мусоросжигательного завода требуется 5–10 % от общей производимой мощности, остальное электричество поставляется потребителям. После турбины пар возвращается в конденсатор, где преобразуется обратно в воду и снова возвращается в котёл – так обеспечивается замкнутый цикл производства.

После сжигания отходы уменьшаются на 90 % в объеме, остаются лишь зола и шлак. Шлак применяется для отсыпки дорог, также из него отбирают чёрные и цветные металлы, которые впоследствии отправляются на переработку. Благодаря технологии Carbon8, признанной ООН, зола может превращаться в бордюры, плитку и заменять цемент.

На данный момент в России число свалок во много раз превосходит количество мусороперерабатывающих заводов. Развитие системы обращения с коммунальными отходами в рамках национального проекта «Экология» [7], рассчитанного на 2019–2024 гг., позволяет прогнозировать активное внедрение технологий энергетической утилизации в нашу жизнь, ликвидацию несанкционированных свалок в границах городов.

Каждый человек может внести посильный вклад в снижение негативного воздействия на окружающую среду, следуя стратегии эффективного обращения с отходами.

Источники

1. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс]: федер. закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 7 апреля 2020 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 28.11.2020).

2. Федеральная служба государственной статистики. Окружающая среда [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_otxod3.xls (дата обращения: 28.11.2020).

3. Рамочная директива об отходах [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en (дата обращения: 29.01.2021).

4. Энергетический потенциал свалочного газа на полигонах ТБО [Электронный ресурс]. URL: http://belfes.ru/ (дата обращения: 29.01.2021).

5. Биогаз полигонов ТБО – важный резерв альтернативных источников энергии [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/biogaz-poligonov-tbo-vazhnyy-rezerv-alternativnyh-istochnikov-energii (дата обращения: 29.01.2021).

6. Энергия из отходов: новейшие технологии против мусора [Электронный ресурс]. URL: https://rostec.ru/news/energiya-iz-otkhodov-zelenye-tekhnologii-protiv-musora/ (дата обращения: 29.11.2020).

7. Национальный проект «Экология» [Электронный ресурс]. URL: https://strategy24.ru/rf/ecology/projects/natsional-nyy-proyekt-ekologiya (дата обращения: 02.02.2021).

УДК 621.311.245

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

А.Р. Гаирбекова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
gairbekova.nastya@mail.ru
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассмотрены преимущества использования ветроэнергетических установок. Особое внимание уделено такому экологически важному вопросу, как проблемы утилизации элементов ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: альтернативная энергетика, ветроэнергетика, выработка ресурса, утилизация, переработка, экология.

В связи с растущей необходимостью охраны окружающей среды и истощением невозобновляемых энергетических ресурсов, одной из главных задач человечества в настоящее время становится развитие альтернативной энергетики, а также поиск новых источников энергии. Как известно, одной из перспективных областей альтернативной энергетики является ветроэнергетика [1]. Хорошо известны положительные стороны ветроэнергетики, такие как:

– экономия ресурсов, так как для функционирования ветряных электростанций не требуется топливо;

– высокий показатель экологичности, поскольку при работе ветряных установок не происходит выбросов вредных веществ в атмосферу;

– относительно простое обслуживание и быстрая установка ветряных установок [2].

Однако, несмотря на весомые преимущества ветроэнергетики, старению подвержены не только живые организмы, но и оборудование. В среднем срок службы ротора ветроустановки составляет 20–25 лет, затем они подлежат замене [3]. Поэтому проблемой, обращающей на себя внимание различного рода экспертов, стал износ ветроустановок первого поколения, поскольку почти все они или выработали свой ресурс, или устарели настолько, что их содержание становится нерентабельным, следовательно, они нуждаются в утилизации и переработке.

Лопасть – самая большая деталь ветряка, она может достигать 60 м в длину, и даже больше. Лопасти изготавливают из углеволокна, стекловолокна, древесины бальзы, полиуретана, сплава и эпоксидной смолы. Этот композитный материал практически не воспламеняется, плохо горит, забивает фильтры воздухоочистительных установок и вполне способен вывести их из строя [4].

Для переработки конструкционных материалов лопастей требуются высокоэффективные технологии деления ингредиентов, поэтому вторичное использование композитного материала, из которого выполнены лопасти ветрогенераторов, экономически не оправдано и очень затруднительно. В связи с этим организуются полигоны для захоронения неразлагающихся деталей, куда вывозят гигантские части ветрогенераторов и просто засыпаются землей.

Один из таких полигонов находится в окрестностях города Каспер, штат Вайоминг, США, где уже находится около 900 лопастей, которые будут храниться там до тех пор, пока не получат широкого распространения новые технологии, позволяющие полностью перерабатывать стекловолокно. Еще несколько таких захоронений имеются в Лейк-Миллс в Айове, Су-Фоллс в Южной Дакоте.

Специалисты, озадаченные этой проблемой, работают над альтернативными технологиями переработки лопастей из композитного материала, среди которых механическая рециркуляция, сольволиз и пиролиз. Успешные исследования в этих направлениях позволят создавать безотходные ветровые турбины и использовать их совместно с тепловыми насосами [5]. Поэтому совместно с ветроэнергетическими корпорациями была создана межотраслевая площадка, основой которой стало ветроэнергетическое объединение WindEurope, Европейский совет химической промышленности Cefic и ассоциация EUCIA, производящая композитные материалы. Данные корпорации ведут поиск новых способов переработки и утилизации лопастей ветрогенераторов совместными усилиями.

Европейская технологическая и инновационная платформа по ветроэнергетике (ETIPWind) поделилась возможными перспективами превращения лопастей во вторсырьё. Для этого их измельчают до маленьких частей, которые позже дробят и полученный продукт служит наполнителем при производстве пластмасс или новейших волокнистых композитных материалов, его также включают в производство досок из полимеров, поддонов для складских помещений, отделочных материалов для наружного применения.

В Европе переработанные композитные материалы применяют в строительстве — часть цементного сырья заменяется стекловолоконными и композитными материалами при производстве бетона, а оставшиеся органические включения сжигают как топливо вместо угля, снижая выбросы углеводорода в атмосферу [6].

Источники

1. Захарова В.Е. Перспективы использования ветроэнергетических установок в России и за рубежом // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 129–130.

2. Федотова А.О. Анализ эффективности применения ветроэнергетических установок // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 67–69.

3. Курицына К.С. Ветер как альтернативный источник энергии // Научному прогрессу – творчество молодых: матер. X Междунар. молодежной науч. конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2015. С. 256–257.

4. Захарова В.Е. Сравнение технических характеристик разных типов ветряных установок // Научному прогрессу – творчество молодых: матер. X Междунар. молодёжной науч. конф. по естественным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2015. 243 с.

5. Шарафисламова Э.А., Кондратьев А.Е. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 2. С. 256–258.

6. Бубенчиков А.А., Демидова Н.Г., Мальков Н.Г. Экологическая экспертиза ветроэнергетической установки // Молодой ученый. 2016. № 28 (132). С. 31–35.

УДК 53.043

ВЛИЯНИЕ РАСХОДА КИСЛОРОДА ПРИ МАГНЕТРОННОМ НАПЫЛЕНИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ ОЛОВА НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

А.Ф. Иванов[1], Ф.С. Егоров[2], В.Г. Яковлев[3]
[1]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,2,3]ООО «Хевел», г. Новочебоксарск
[1]af.ivanov@hevelsolar.com, [2]f.egorov@hevelsolar.com, [3]v.yakovlev@hevelsolar.com
Науч. рук. В.Л. Матухин

Проведено исследование зависимости выходных параметров солнечных элементов от расхода кислорода при напылении тонкой пленки оксида индия олова методом магнетронного распыления мишени.

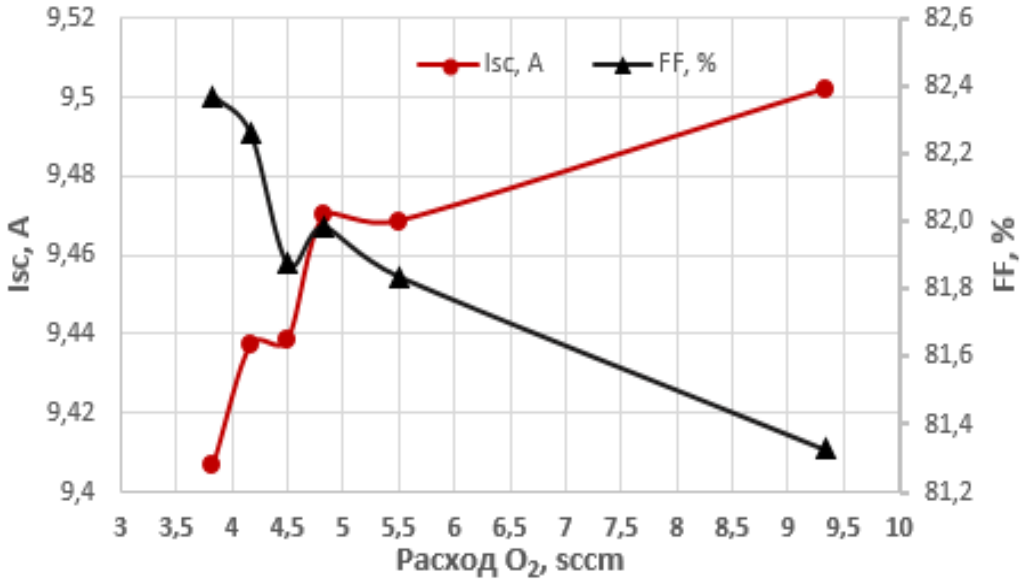
Ключевые слова: ток короткого замыкания, солнечный элемент, fill factor, PVD, ITO.

В современной солнечной энергетике нашел широкое применение материал оксид индия олова (ITO – от англ. *indium tin oxide*). Преимущество ITO перед альтернативными материалами заключается

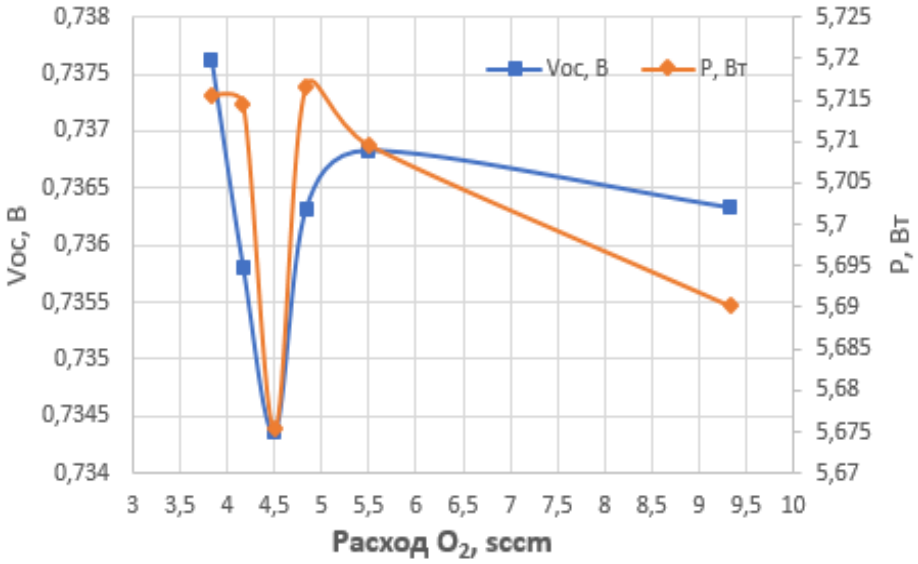
в том, что при малых толщинах он обладает лучшими оптическими свойствами и электрическими параметрами [1–3]. ITO обычно применяется в производстве прозрачных проводящих оксидов (ППО), жидкокристаллических экранов, органических светодиодов, сенсорных дисплеев и солнечных элементов (СЭ). Последнее, в свою очередь, является неотъемлемой частью в производстве солнечных модулей. Благодаря способности отражать спектр инфракрасного излучения, ITO используют в теплозащите. Также ITO может использоваться для создания прозрачных проводящих покрытий на других материалах, защищая от электростатических зарядов.

В производстве солнечных модулей по технологии HIT (*Heterojunction with Intrinsic Thin layer*) также используется данный материал в качестве ППО солнечного элемента (СЭ). В технологическом процессе изготовления СЭ, кремниевые пластины перемещаются с помощью оснастки (паллет из нержавеющей стали) внутри вакуумных камер, где происходит осаждение ITO методом магнетронного распыления мишени (PVD) [3]. Важным параметром при напылении пленки ITO является расход кислорода, т.к. данный параметр влияет на электрические и оптические свойства пленки [4–7]. После осаждении слоя ITO кремниевые пластины перемещаются на следующий этап изготовления СЭ.

В данной работе проведено исследование зависимости выходных параметров СЭ от расхода кислорода при напылении тонкой пленки ITO методом PVD. В качестве результатов исследования представлены графики полученных зависимостей (см. рисунок).



а



б

Графики зависимости солнечного элемента от расхода кислорода O_2 при напылении тонкой пленки ITO методом PVD: *а* – I_{sc} и *FF*; *б* – V_{oc} и *P*

Как видно из рисунка увеличение расхода кислорода от 3,8 sccm до 9,3 sccm приводит к заметным изменениям выходных параметров СЭ. При низком значении расхода кислорода наблюдается высокие значения мощности (*P*), напряжения холостого хода (V_{oc}), коэффициента заполнения вольтамперных характеристик (*FF*) СЭ и низкое значение тока короткого замыкания (I_{sc}). С увеличение расхода кислорода I_{sc} увеличивается, а *P*, V_{oc} и *FF* уменьшается.

Источники

1. Влияние режима магнетронного распыления и состава реакционного газа на структуру и свойства пленок ITO / А.И. Бажин // Физическая инженерия поверхности. 2012. Т. 10, № 4. С. 342–349.

2. Закирова Р.М. Разработка метода модификации свойств ITO плёнок ионно-лучевой обработкой при реактивном ВЧ магнетронном напылении [Электронный ресурс]. URL: http://elibrary.udsu.ru/ (дата обращения: 28.11.2020).

3. Орехов Д.Л. Разработка технологии гетероструктурных солнечных элементов на кристаллическом кремнии с использованием промышленных реакторов плазмохимического осаждения [Электронный ресурс]. URL: https://etu.ru/ (дата обращения: 28.11.2020).

4. Surface potentials of magnetron sputtered transparent conducting oxides / A. Klein [et al.] // Thin Solid Films. 2009. Vol. 518. Pp. 1197–1203.

5. Chen A. and Zhu K. Computer simulation of a-Si/c-Si heterojunction solar cell with high conversion efficiency // Solar Energy. 2012. Vol. 86. Pp. 393–397.

6. Role of the work function of transparent conductive oxide on the performance of amorphous/crystalline silicon heterojunction solar cells studied by computer simulation / L. Zhao [et al.] // Physica Status Solidi A. 2008. Vol. 205. Pp. 1215–1221.

7. Centurioni E. and Iencinella D. Role of front contact work function on amorphous silicon/crystalline silicon heterojunction solar cell performance // IEEE Electron Device Letters. 2003. Vol. 24. Pp. 177–179.

УДК 620-92

ПОДБОР СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В СООТВЕТСТВИИ С ТИПОМ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Р.Ф. Камалиева
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
rruzzi@yandex.ru
Науч. рук. А.А. Филимонова

Рассмотрены методы получения водорода, степень очистки, себестоимость процесса и типы топливных элементов, а также схематично сопоставлены виды топливных элементов и способы производства водорода.

Ключевые слова: водород, себестоимость, степень очистки, топливный элемент.

2020 г. ознаменовался «взрывным» вниманием к водородной энергетике во всем мире. Этот «интерес» не угасает, а еще больше набирает обороты и в 2021 г. Использование водорода в качестве топлива является одним из способов сокращения выбросов парниковых газов, а также увеличения коэффициента теплоотдачи [1].

Водород получают как в лабораторных условиях, так и в промышленности. Наиболее энерго- и ресурсоэффективные, хорошо освоенные промышленные способы получения водорода включают паровую конверсию метана, газификацию угля, электролиз воды, термохимическое и плазмохимическое разложение воды, биохимические методы [2].

95 % водорода производят из природного газа [2]. Паровая конверсия метана с водяным паром проводится при температуре, равной 1000 °С, под давлением и в присутствии катализатора:

$$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO+3H_2$$

Водород получают 95–98,5 % чистоты с содержанием 1–5 % метана, угарного и углекислого газов. Себестоимость процесса составляет 2–5 $ за один килограмм полученного водорода [3, 4].

Процесс газификации угля основан на пропускании паров над раскаленным углем при температуре 800–1300 °С и без доступа кислорода:

$$H_2O + C \leftrightarrow CO + H_2$$

Стоимость водорода, полученного данным способом, составляет 2–2,5 $ за килограмм. В конечном продукте содержатся примеси угарного и углекислого газов [3, 4].

Производство водорода методом электролиза воды в настоящее время составляет менее 5 % из-за высокой себестоимости (около 7 $), но является наиболее перспективной технологией в будущем. Чистота полученного водорода может составлять 99,98 % [3, 4].

Водород можно получить при помощи термохимического или биохимического методов. При термохимическом методе происходит нагревание биомассы без доступа кислорода до температуры 500–800 °С. В результате выделяется водород чистотой 93–95 %, а вместе с ним угарный газ и метан. Себестоимость процесса составляет 7–10 $. В случае биохимического метода водород вырабатывается бактериями. Получение водорода из биомассы является более экологически чистым методом [3–5].

Газообразный чистый водород выпускают высшего, первого и второго сортов в сжатом виде [6]. Он должен соответствовать физико-химическим показателям, приведенным в таблице.

Водород используют в водородной энергетике, в частности для топливных элементов. Топливный элемент – устройство, которое преобразует химическую энергию топлива (водорода) и окислителя (воздуха) в электрическую энергию в результате электрохимической реакции. Топливные элементы делятся на основные пять типов [7]:

– твердооксидные топливные элементы;

– топливные элементы с щелочными электролитами;

– топливный элемент с протонообменной мембраной;

– топливный элемент на основе ортофосфорной кислоты;

– топливный элемент на основе расплавленного карбоната.

Качественный состав водородсодержащих газовых смесей, разделенных по степени очистки

Наименование показателя	Значение		
	Высший сорт	Первый сорт	Второй сорт
Объемная доля водорода в пересчете на сухой газ, %, не менее	99,9999	99,999	99,994
Суммарная объемная доля кислорода и аргона, %, не более	0,00002	0,0002	0,002
Объемная доля, %, не более:			
азота	0,00005	0,0005	0,002
метана	0,00003	0,0003	0,002
паров воды	0,0002	0,002	0,004

По механизму работы различают низкотемпературные и высокотемпературные топливные элементы [7]. Для низкотемпературных необходим относительно чистый водород. Высокотемпературные топливные элементы работают на любом органическом топливе – синтез-газе, природном газе, биогазе, метаноле и даже на угле. На рисунке представлено сопоставление типа топливного элемента с методом получения водорода, подходящего для данного вида топливного элемента.



Сопоставление типа топливного элемента и методов получения водорода

Таким образом, в водородной энергетике в качестве топлива может использоваться как чистый водород, так и водород с примесями, полученный менее затратным способом. В связи вышесказанным необходимо разрабатывать и совершенствовать методы получения водорода, подбирая оптимальные условия для получения максимально чистого водорода с минимальными экологическими и экономическими затратами.

Источники

1. Перспективы развития водородной энергетики в татарстане / А.А. Филимонова [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. № 6. С. 79–91

2. Современные направления развития водородных энергетических технологий / А.А. Филимонова // Надежность и безопасность энергетики. 2019. Т. 12, № 2. С. 89–96.

3. Производство вдорода [Электронный ресурс]. URL: https:// ru.wikipedia.org/wiki/Производство_водорода (дата обращения: 06.03.2021).

4. Dincer I. Green methods for hydrogen production // Int. J. Hydrogen Energy. 2012. Vol. 37. Pp. 1954–1971.

5. Jovan D.J., Dolanc G. Can Green Hydrogen Production Be Economically Viable under Current Market Conditions // Energies. 2020. Vol. 13, Is. 24. 16 p.

6. ГОСТ Р 51673-2000. Водород газообразный чистый. Технические условия [Электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/ 1200025265 (дата обращения: 07.03.2021).

7. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учеб. пособие / науч. ред. С.Е. Щеклеин. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. 229 с.

УДК 620.92

АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А.А. Латыпова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
alsuu_es@mail.ru
Науч. рук. Р.Н. Ганиев

Несмотря на сформированную и развитую системы электроэнергетики в мире, население многих сельских местностей развивающихся стран мира остаётся без электроснабжения. По данным информационных агентств количество жителей, лишенных возможности электроснабжения составляет почти один миллиард человек. Указанное обстоятельство диктует необходимость развития альтернативных способов генерации электроэнергии и организации систем распределения и передачи энергии потребителям. В работе рассматриваются варианты децентрализованных систем электроснабжения с возможностью использования всех видов возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: децентрализованная энергетика, возобновляемые источники энергии, автономные установки, солнечная энергетика, ветроэнергетика, геотермальная энергетика, биомасса, малая гидроэнергетика.

Большинство стран мира имеют развитую систему централизованного электроснабжения. Информационное агентство «РИА-Новости» 13 ноября 2019 г. привело цитаты из доклада Международного энергетического агентства (МЭА) WorldEnergyOutlook, в котором говорится, что почти миллиард человек в мире не имеют доступа к электричеству, большинство которых проживают в сельской местности [4]. Это указывает, что система централизованного электроснабжения в одиночку не способна обеспечить электрической энергией все население Земли. И это является одной из актуальных проблем мировой энергетики.

Несмотря на сформированную и развитую системы электроэнергетики в мире, население многих сельских местностей развивающихся стран мира остаётся без электроснабжения. По данным информационных агентств количество жителей, лишенных возможности электроснабжения составляет почти один миллиард человек. Указанное обстоятельство диктует необходимость развития альтернативных способов генерации электроэнергии и организации систем распределения и передачи энергии потребителям.

Самым реальным вариантом решения данной проблемы является развитие децентрализованной энергетики. Помимо того, что децентрализованные источники энергии помогают решить проблему электроснабжения в местах, где отсутствует возможность подключения к централизованной сети, они также имеют свои преимущества:

– потребители таких источников энергии находятся в малой удаленности от источника, соответственно, потери в такой системе будут ниже;

– использование децентрализованных источников энергии (ДИЭ) позволяют несколько разгрузить сооруженные системы и линии электропередач;

– с целью увеличения процента надежности рассмотреть возможности повышения количества децентрализованных источников;

Использование децентрализованной энергетики будет еще рациональнее, если в качестве источника энергии использовать возобновляемые источники энергии.

Системы децентрализованного электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) можно разделить на следующие группы:

1) энергия солнечного излучения – тепловая и лучистая (солнечные батареи, фотоэлектрические модули);

2) энергия воздушного ветрового потока (ветроэлектрические установки);

3) гидравлическая (водная) энергия речного стока; приливов, морских волн и течений (малые ГЭС);

4) геотермальная энергия (геотермальные станции);

5) биологическая энергия (электрические станции, в которых генерация электроэнергии происходит в результате разложения биомассы фермерских и сельских хозяйств) [2].

Рассмотрим возможные варианты использования децентрализованных автономных установок с использованием ВИЭ в мировом масштабе.

Солнечная энергетика. На сегодняшний день реализуемы следующие способы использования энергии солнца – это преобразование солнечного света в энергию тепла и электричества.

Большинство стран Африканского континента находятся в зоне интенсивного солнечного облучения. Данноеположительноеявление дает значительное преимущество для развития солнечной энергетики в данном регионе, освобождая разработчиков от необходимостипримененияя дорогой инфраструктуры и построения систем централизованного электроснабжения. Около 90 % всей территории континента облучаются энергией более 2000 кВт·ч/м^2 в год. Расчеты показали, что солнечные батареи, расположенные всего на трети процента территории региона, способны вырабатывать энергию для всей Европы [5].

Исходя из этого можем сделать вывод, что в районах Африки, не имеющих возможности подключения к централизованной системе электроснабжения, представляется возможным построение децентрализованных установок, основывающихся на солнечной энергии. На сегодняшний день признанными лидерами в использовании солнечной энергетики являются Китай, Индия и США, а также все ближе к ним подбираются страны ближнего Востока.

Ветровая энергетика. Немаловажным аспектом развития ВИЭ является ветроэнергетика. Известно, что потенциальная мощность ветряных источников может составлять до $2{,}43 \cdot 10^{15}$ МВт, что составляет примерно 25 % общего годового потребления электроэнергии в мире [1]. Большая часть ветрогенераторных установок расположена в странах Европы и Северной Америки, но уровень потребностей в электропотреблении развивающихся стран Африки и Азии диктует необходимость использования ветряных потенциалов огромных территорий как внутриконтинентальных так и прибрежных морских территорий (Китай). Таким образом рассматриваемый вид ВИЭ применим практически на всей территории указанных регионов.

Малая гидроэнергетика. На сегодняшний день существует следующая градация гидроэлектростанций (ГЭС). ГЭС мощностью меньше 30 МВт считаются малыми, к микроГЭС относят станции, мощность которых не превышает 100 кВт. ГЭС в указанном порядке мощностей считаются ВИЭ. Очевидно, развитие малой энергетики возможно на территории государств, в которых имеются речные или прибрежные гидроресурсы.

В России развитие малых ГЭС наблюдается на территории Дальнего Востока. По данным исследований перспектив развития малой энергетики института «Ленгидропроект» на территории Приморского края возможно введение в эксплуатацию до 8 малых ГЭС общей мощностью 27 МВт, которые смогут в совокупности вырабатывать до 115 млн кВТ·ч энергии. Это позволит уменьшить поставку около 40 тысяч тонн условного топлива, что эквивалентно 28 тыс. т дизельного топлива. Возврат инвестиций на подобные сооружения составляет около семи лет. Как показали исследования сооружение объектов малой энергетики в отдаленных районах Приморского края и Камчатки, является целесообразным решением с дальнейшими экономическими перспективами [1].

Поскольку малые ГЭС не имеют большинства отрицательных сторон крупных ГЭС, они могут стать самыми экономичными и экологичными источниками электроэнергии. Особенно это касается районов сельской местности и отдаленных территорий как в странах Европы и Америки, так и в Африке и Азии.

Геотермальная энергетика. Под малой геотермальной энергетикой принято понимать геотермальные электростанции с установленной мощностью до 5 МВт. Тепловой поток, текущий из недр Земли через её поверхность, составляет 47±2 ТВт тепла (400 тыс. ТВт·ч в год, что в 17 раз больше всей мировой выработки, и эквивалентно сжиганию 46 млрд т угля). Использование даже 1 % этой мощности эквивалентно нескольким сотням мощных электростанций.

Геотермальные источники являются основной для построения так называемых геотермальных электростанций (ГТЭС). Так, к объектам малой геотермальной энергетики можно отнести ГТЭС, мощность которых не превышает 5 МВт. Исследования структуры тепловых источников Земли показали, что объем генерируемого тепла составляет почти 47 ТВт, что соответствует энергии сгорания 46 млрд т угольных запасов. Таким образом, использование всего 1 % указанной мощности будет соответствовать мощности, генерируемых несколькими сотнями традиционных электростанций.

Самыми перспективными для развития ГТЭС являются такие вулканические регионы как Япония и северо-западная Камчатка в России. На данный момент ГТЭС довольно широко распространены в Новой Зеландии, Китае, Японии и др[6]. Большинство разработанных ГТЭС начиналось как пробные небольшие проектные решения с модульной структурой построения для дальнейшего развития и расширения.

Биоэнергетика. В зависимости от разновидностей биомассы возможны различные технологии ее энергетического использования. Выделяют следующие методы получения энергии.

От типа и объема различных видов биомассы зависят способы генерации электроэнергии. Так, в настоящее время существуют следующие виды способов выработки электроэнергии:

– сжигание сырья растительного происхождения(древесина, древесные отходы, торф, листья и т. п.);

– сжигание твердых бытовых отходов городов;

– сжигание отходов сельскохозяйственного производства;

– биоконверсия или разложение органических веществ растительного или животного происхождения в анаэробных условиях с образованием биогаза, этанола, бутанола и др.

Объем и состав запасов биомассы, которую можно использовать для генерации энергии, в мире регулярно изменяется, что затрудняет измерение и контроль данного ресурса. Причиной тому является интенсивный рост способов и технологий в области переработки биомассы в топливные запасы.

Благодаря запасам биомассы на сегодняшний день генерируется больше 10 % мировой энергии. По прогнозам ученых к середине 21 в ресурсы биомассы могли бы обеспечить до 65 процентов потребления электроэнергии в мире. Основная часть биомассы находится в странах Африканского региона, на Карибах, Южной Америке [3].

Переработка биомассы и генерация электроэнергии из биоресурсов считается весьма устойчивой отраслью альтернативной энергетики. Благодаря использованию биомассы снижаются парниковые выбросы, увеличивается безопасность и надежность генерации электроэнергии. Кроме того, биотопливная энергетика способствует развитию промышленности и созданию рабочих мест в развивающихся сельских регионах мира.

Вышеизложенные факты и анализ возможностей использования ВИЭ в мировой энергетике указывает на необходимость и возможность электрификации удаленных от крупных энергосистем автономных потребителей в странах Азии, Африки и Южной Америки. В указанных

странах имеются самые благоприятные условия для внедрения объектов малой энергетики на основе ВИЭ. В настоящее время уровень существующих технологий способствует развитию и продвижению различных отраслей ВИЭ: ветроэнергетики, гелиоэнергетики, биоэнергетики, гидроэнергетики и геотермальной энергетики

Источники

1. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. М.: Наука, 2004.159 с.

2. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика: моногр. СПб.: Наука, 2013. 307 с.

3. Мировые тенденции в области построения автономных систем электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии / М.А. Сурков [и др.] // Науковедение – Технические науки. 2012. № 4 (13). URL: https://naukovedenie.ru/PDF/42tvn412.pdf (дата обращения: 07.03.2021).

4. РИА Новости [Электронный ресурс]. URL: https://ria.ru/20191113/1560868852.html (дата обращения: 07.03.2021).

5. Солнечная энергия по странам [Электронный ресурс]. URL: https://ru.qaz.wiki/wiki/Solar_power_by_country (дата обращения: 07.03.2021).

6. Геотермальная энергетика [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальная_энергетика (дата обращения: 07.03.2021).

УДК 620.92

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ

И.Н. Лесниченко
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. Ю.А. Аверьянова
qwryudzho514@gmail.com

Рассмотрено использование возобновляемой энергетики в Краснодарском крае. В этом докладе подробно рассказано о преимуществах и недостатках использования возобновляемой энергетики в Краснодарском крае. А также хорошо изучены, какие виды возобновляемой энергетики используются на данный момент в Краснодарском крае и какие изменения будет претерпевать этот вид добычи энергии в данном регионе страны.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, нетрадиционные виды энергии, особенности ландшафта и климата.

Возобновляемые источники энергии являются одной из развивающихся отраслей России, так согласно «Энергетической стратегии России» на период до 2035 г. одним из важнейших направлений в энергетике станет развитие и масштабное использование нетрадиционных видов энергии, таких как: солнечная энергетика; ветровая энергетика; энергия морских приливов и волн; геотермальная и гидротермальная энергии; энергия биомасс.

Перед строительством и введением в эксплуатацию установок, позволяющих вырабатывать возобновляемую энергию, необходимо знать все особенности ландшафта и климата, где будут использоваться данные нетрадиционные виды энергии. И исходя из многочисленных данных об изучение ландшафтно-климатических особенностей Краснодарского края, можно смело утверждать, что данный регион подходить для эксплуатации возобновляемых источников энергии [1].

Краснодарский край являет собой идеальную площадку для реализации проектов в сфере альтернативной энергетики. Однако доля «зеленой» энергии в общем балансе по-прежнему не достигает и 2 %. Энергосистема региона исторически дефицитна, объемы потребления ресурсов ежегодно увеличиваются, а пики туристического сезона приводят к серьезным перегрузкам и перебоям в энергоснабжении.

География Краснодарского края позволяет использовать все известные на сегодняшний день виды ВИЭ. И регион с большим или меньшим успехом их осваивает. Прежде всего, заметны успехи в гелио- и геотермальной энергетике, в проектировании ветровых электростанций. Сельхозпредприятия все чаще обращают внимание на преимущества биогазовых станций и мини-ГЭС. А местные жители и предприниматели – на тепловые насосы. Начнем с самой очевидной «альтернативы», а именно с трехсот солнечных дней в году.

Учитывая выгодное географическое положение и значительный потенциал солнечной энергии, разработка этого ВИЭ всего на 0,01 % полностью обеспечила бы энергетические потребности региона.

Для потребителей экономически целесообразно сооружение сезонных солнечных водонагревательных установок с работой меж отопительный период. Установка подобных конструкций среди санаторных и курортных комплексов как в удаленных и труднодоступных горных местах, так и на побережье становится делом вполне привычным [2].

Солнечную водонагревательную установку, гелиоколлектор для обогрева помещения либо фотоэлектрические модули устанавливаешь на крыше и получаешь бесплатную тепло- и электроэнергию. Такое оборудование окупается примерно за 4–8 лет. При этом лучше использовать

комбинированный вариант: подключиться и к альтернативному, и к более надежному традиционному источнику. Хорошим примером может служить «Умный вокзал» в Анапе, где большую часть потребляемой энергии удалось с помощью фотоэлементов заместить солнечной энергией.

Еще одно перспективное направление для Юга России – применение геотермальных источников. «Краснодарский край в этом отношении – третий регион в стране по потенциалу после Камчатки и Дагестана. У нас разведано 18 геотермальных месторождений с потенциальной мощностью 258 МВт, пробурено 79 скважин глубиной два-три километра. В лучшие времена в крае добывалось до десяти миллионов кубометров воды с температурой до 120 °С». Внимания этому виду ВИЭ в крае уделяется пока недостаточно, а от имеющегося потенциала используется лишь 20–30 %. Причина, прежде всего, в расположении. Геотермальные месторождения имеются только в районах предгорья, где проходит тектонический разлом, и магма поднимается на глубину 3,5 км, нагревая подземные воды. Осваивать их довольно сложно и дорого. Но не нужно недооценивать перспективы. Если же говорить об энергии ветра, то в последние годы основные усилия властей были направлены на изучение ветровых нагрузок в различных зонах края и проектирование ветряных комплексов. Непосредственное внедрение разработок пока находится на подготовительной стадии [3].

Во время Олимпиады в Сочи (2014 г.) в эксплуатацию был введен ряд объектов, что частично решило проблему энергодефицита, правда, лишь в одной локальной зоне. Будущее энергетики в крае видят в развитии альтернативных источников энергии. Краснодарский край – один из самых южных регионов России, носящий гордое звание «здравницы страны». Сегодня он динамично развивается: здесь проходят мероприятия мирового значения, идет массовое жилищное и промышленное строительство, расширяется курортно-рекреационная сфера [2].

При этом электроснабжение региона только на 35 % обеспечивается собственными источниками (вырабатывается до 6 млрд кВт-ч в год). Более 60 процентов электроэнергии поступает из соседних регионов – энергосистема Краснодарского края является одной из самых дефицитных среди энергосистем Южного федерального округа России. При этом из-за активного развития экономики и роста числа потребителей нагрузки на энергосистему края ежегодно увеличиваются в среднем на 4 %. Основной рост электропотребления (до 7–8,5 % в год) приходится на наиболее крупные города региона (Краснодар, Сочи, Новороссийск).

Активно в крае занимаются вопросами энергосбережения. Крупнейшая электросетевая компания на территории Краснодарского края и Республики Адыгея «Кубаньэнерго» бесплатно устанавливает многофункциональные счетчики абонентам, присоединенным к сетям компании. В итоги энергетики снижают потери, а потребитель получает возможность экономить. На сегодняшний день установлено более 25 тыс. многофункциональных приборов учета. Подобная работа проводится на основе энергосервисных контрактов, и эффект от их реализации уже превысил 205 млн руб. [1].

Источники

1. Основы использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии: учеб. пособие / В.Ю. Федянин [и др.]. Барнаул: ООО «МЦ ЭОР», 2018. 146 с.

2. Сумин А.М. Энергетическая политика современной Германии: тенденции, проблемы, перспективы. М.: Газоил Пресс, 2018. 270 с.

3. Алхасов А.Б. Возобновляемая энергетика / ред. Е.Б. Гугля. М.: Физматлит, 2012. 256 с.

УДК 621.316

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ОПТИМАЛЬНОСТИ МЕСТА УСТАНОВКИ ОБЪЕКТОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Я.Ю. Малькова
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, г. Томск
yamalkova96@gmail.com
Науч. рук. Р.А. Уфа

Широкое распространение объектов возобновляемой генерации сопровождается ростом влияния на режимные параметры электроэнергетической системы. Планировать новые вводы объектов на основе возобновляемых источников энергии необходимо с учетом характера данного влияния. В статье приведен один из вариантов решения обозначенной задачи на примере типовой схемы посредством программной реализации расчетной части.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, оптимальное место и мощность, итерационный метод.

Объекты на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в настоящее время получили достаточно широкое распространение в электроэнергетической отрасли России и мира. Так, согласно [1], объем доступных ВИЭ в России сопоставим не менее 4,6 млрд т условного углеводородного топлива. Кроме того, планируется обеспечить следующий объем ежегодных вводов объектов возобновляемой генерации с 2020 по 2024 гг. [1] (рис. 1).

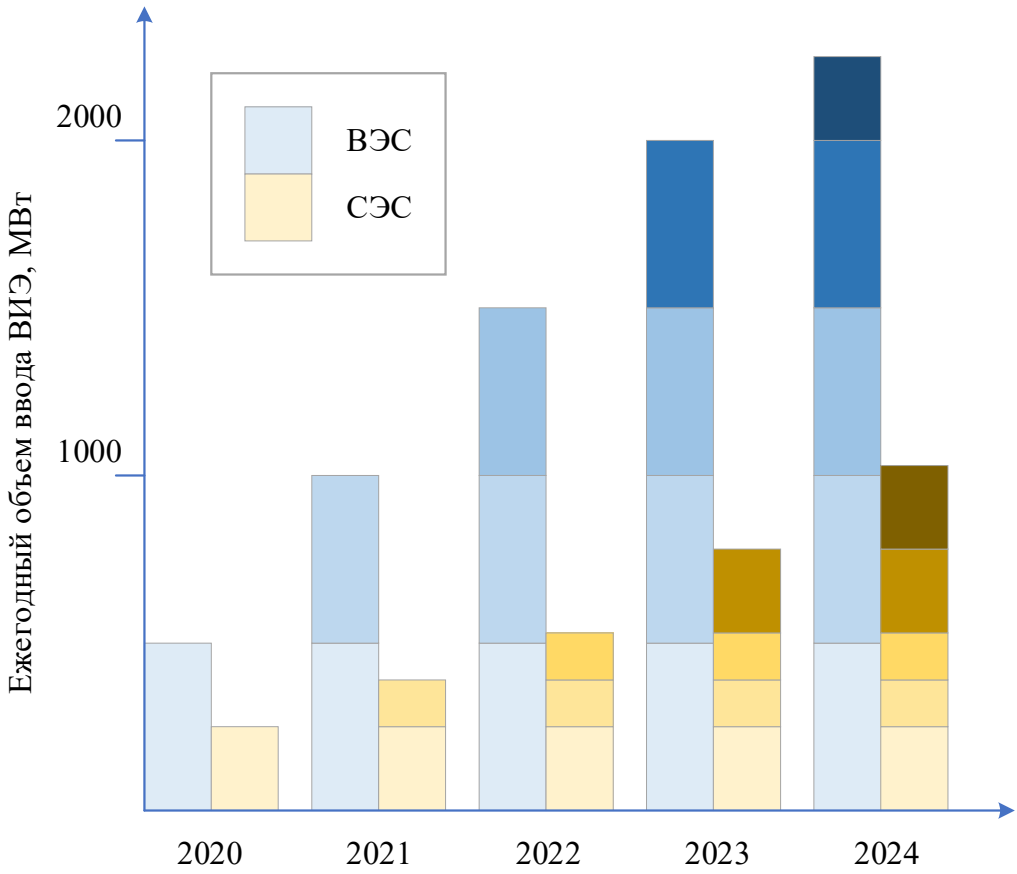


Рис. 1. Прогнозируемый объем вводов объектов ВИЭ в России с 2020 по 2024 гг.: ВЭС – ветряные электростанции, СЭС – солнечные электростанции

Согласно рис. 1, за рассматриваемый период планируется увеличение установленной мощности ВЭС на более чем 2 ГВт, СЭС – на 1 ГВт. При этом, увеличивается и единичная установленная мощность объектов ВИЭ.

Данные объекты, при внедрении их в электроэнергетическую систему (ЭЭС), оказывают существенное влияние на режим работы системы. Таким образом, при планировании новых вводов объектов ВИЭ необходимо учитывать данное влияние.

Оптимизация режима работы ЭЭС посредством внедрения объекта ВИЭ осуществляется путем определения его оптимальной конфигурации (места установки и мощности). В свою очередь, оптимальная конфигурация соответствует минимальному из возможных значений целевой функции, параметрами которой, в рамках обозначенной задачи, могут выступать перетоки активной и реактивной мощности, отклонение уровня напряжения от номинального значения, пропускная способность линий связи по условиям термической стойкости, капитальные затраты на строительство 1 кВт установленной мощности, себестоимость генерации и транспортировки 1 кВт ч электроэнергии, критерии надежности электроснабжения, характер воздействия на состояние окружающей среды и др.

Сведем решаемую задачу к однокритериальной. Таким образом, оптимальная конфигурация внедряемых объектов ВИЭ будет соответствовать минимальному значению потерь активной мощности, остальные критерии учтем в виде сопутствующих ограничений. В частности, для обеспечения соответствия требованиям отраслевых стандартов вводим ограничение на положительное и отрицательное отклонение уровня напряжения шин ЭЭС 5 % [2].

В предыдущих работах, в частности в [3], для определения оптимальной конфигурации внедряемого объекта ВИЭ на примере типовой схемы (15 bus IEEE [4]) были задействованы шины, характеризующиеся минимальным уровнем напряжения, а именно *12*, *13* и *15*. Размер устанавливаемой генерации во всех трех случаях соответствовал 100 кВт.

Выполним программную реализацию расчетной части целевой функции, построенной на основе итерационного расчета перетоков и потерь мощности по линиям связи [5], для всех возможных мест установки и размеров внедряемого объекта в соответствии с задаваемым диапазоном допустимых мощностей и шагом изменения мощности. Для определения глобального минимума целевой функции реализован пузырьковый сортировочный метод.

Для сопоставления результатов, полученных посредством ручной установки модели объекта ВИЭ в исследуемую схему в программном комплексе MATLAB/Simulink и разработанной программной реализацией расчета перетоков и потерь мощности, ограничим диапазон допустимых мощностей для всех шин системы 100 кВт, шаг изменения мощности 10 кВт.

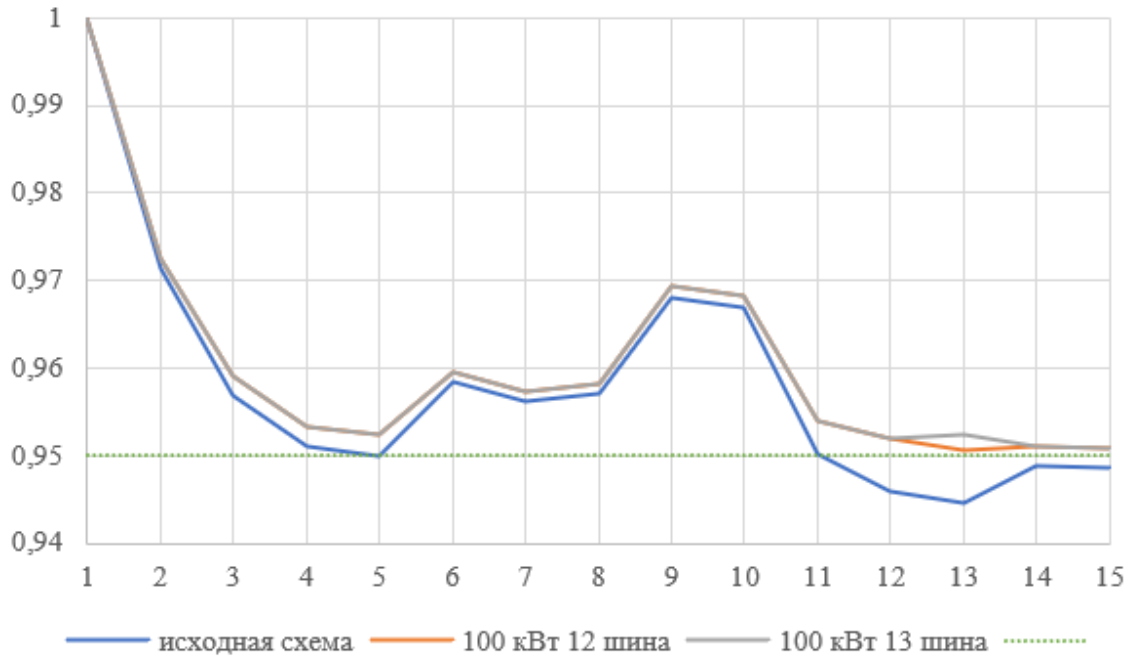


Рис. 2. Уровни напряжения шин схемы 15 bus IEEE

Согласно рис. 2, по результатам первого запуска разработанной программной реализации расчета перетоков и потерь мощности с учетом наложенного ограничения на отклонение уровня напряжения оптимальным местом установки является шина 12, мощность объекта 100 кВт, при этом потери мощности сократились на 9 % и составили 56,141 кВт. Следующим оптимумом, характеризующимся несколько большим значением потерь, является установка объекта ВИЭ мощностью 100 кВт на шину 13, потери в схеме в данном случае составили 56,165 кВт. Во втором варианте потери больше, однако уровень напряжения на шине 13 выше, чем при установке объекта ВИЭ на шину *12*.

Таким образом, в зависимости от вида целевой функции и того или иного значения весового коэффициента перед потерями активной мощности и перед максимальным отклонением уровня напряжения от номинального значения будет для заданного диапазона допустимых мощностей оптимальной установка объекта ВИЭ мощностью 100 кВт или на шину *12*, или на шину *13* соответственно.

Так как в рамках представленного решения вид целевой функции предполагался однокритериальным, контролируемым параметром выступают потери активной мощности, то оптимальным местом установки объекта ВИЭ является шина *12*.

На основании вышеизложенного, можно заключить, что объекты ВИЭ имеют достаточно широкое распространение в ЭЭС России и мира. Так, в России в ближайшие пять лет планируется увеличение установленной мощности ВЭС и СЭС практически в два раза. Актуальным является вопрос проектирования новых вводов объектов ВИЭ с учетом их влияния на режимные параметры ЭЭС.

Результат работы выполненной программной реализации итерационного метода расчета перетоков и потерь мощности соответствует выполненной ранее ручной установке объектов ВИЭ в программном комплексе MATLAB/Simulink, однако занимает гораздо меньше времени и позволяет автоматизировать процесс выбора оптимальной конфигурации объекта ВИЭ и обеспечить широкий спектр возможностей задания тех или иных ограничений при проектировании нового ввода.

Источники

1. Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2035 г. [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства Рос. Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р (ред. от 24 октября 2020 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 07.03.2021).

2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2013. 15 с.

3. Малькова Я.Ю., Рудник В.Е. Оценка оптимальности места установки объектов возобновляемой генерации // Тинчуринские чтения – 2020: матер. Междунар. молод. науч. конф. Казань: Изд-во КГЭУ. 2020. Т. 1. С. 540–543.

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. Jabari F., Asadi S., Seyed-barhagh S. A Novel Forward-Backward Sweep Based Optimal DG Placement Approach in Radial Distribution Systems // Optimization of Power System Problems. Methods, Algorithms and MATLAB Codes. 2020. Vol. 262. Pp. 49–61.

УДК: 66:621.6; 662.6: 621.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАМИНАРИЗАТОРОВ ПОТОКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
solovyeva.ov@kgeu.ru

Исследовано разделение эмульсии в элементе горизонтального гравитационно-динамического сепарационного устройства, представляющего собой набор пластин. Исследовано влияние размера пластин на интенсивность разделения водонефтяной эмульсии. Расчеты показали, что эффективной длиной ламинаризаторов потока является длина L = 0,06 м.

Ключевые слова: разделение водонефтяной эмульсии, коалесцентная перегородка, эксперимент, гравитационно-динамический сепаратор, пластины.

Разделение водонефтяных эмульсий является важным процессом в различных отраслях промышленности. При добыче нефти в скважину закачивается вода для поддержания пластового давления, соответственно при откачке сырая нефть представляет собой водонефтяную эмульсию [1, 2].

Экспериментальные и численные исследования показывают, что горизонтальные сепараторы являются наиболее эффективными и экономичными [3, 4]. Главным компонентом в гравитационных сепараторах с системой отстаивания является перегородка, задерживающая фазы в состоянии покоя, способствуя объединению пузырьков в более крупные и разделению.

В работе проведено численное моделирование движения эмульсии в элементе сепарационного устройства с установленными ламинаризаторами потока.

Постановка задачи

Расчетная область представляет собой элемент сепарационного устройства с тремя рядами пластин, расположенных в шахматном порядке. На входе задавались значения массового расхода нефти и воды в эмульсии, на выходе из расчетной области значение атмосферного давления, на верхней и нижней границе – условия симметрии.

Параметры нефти, используемой в расчетах: плотность – 960 $кг/м^3$, коэффициент кинематической вязкости – 0,048 $кг/(м \cdot с)$.

Для определения доли нефти в воде было выбрано равноудаленных сечений:

– на начальном участке до пластин – $H_1 = 0{,}08$ м и $H_2 = 0{,}016$ м;

– после первого ряда пластин – $H_3 = 0{,}32$ м и $H_4 = 0{,}4$ м;

– после второго ряда пластин – $H_5 = 0{,}56$ м и $H_6 = 0{,}64$ м;

– после третьего ряда пластин – $H_7 = 0{,}8$ м и $H_8 = 0{,}88$ м.

Расчеты проведены в программном комплексе ANSYS Fluent (ver. 19.2).

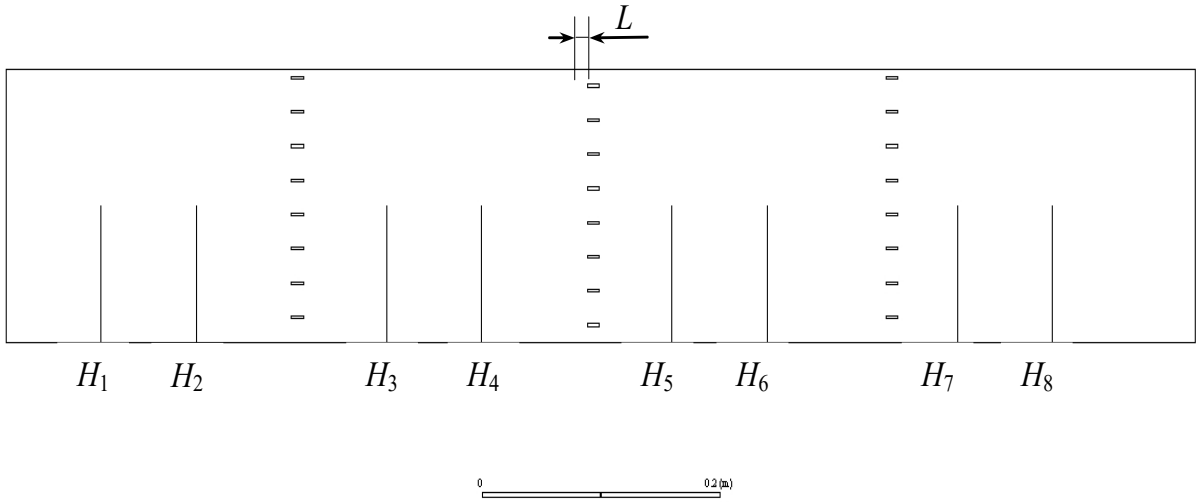
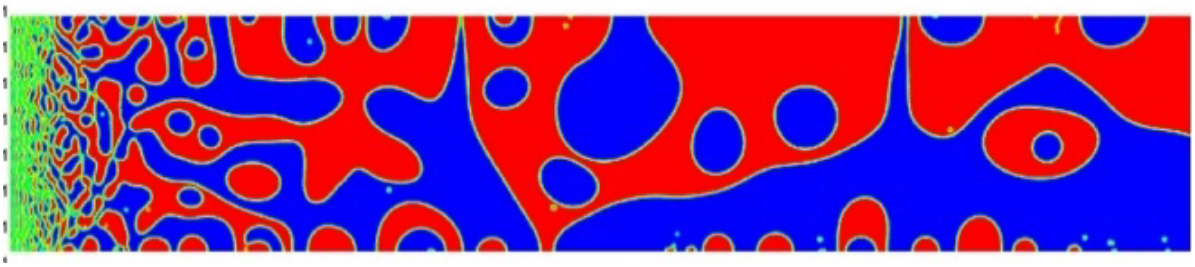


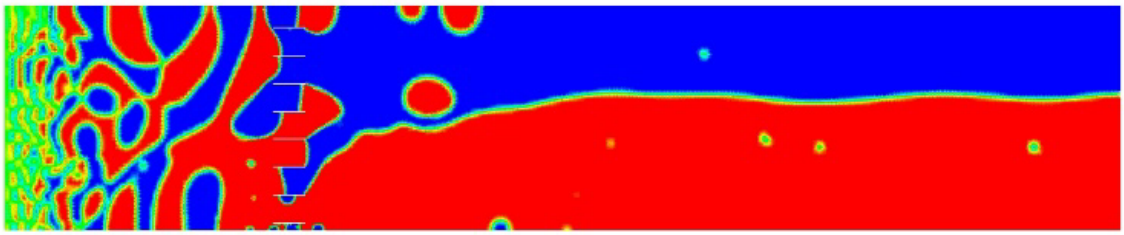
Рис. 1. Схема расчетной области с пластинами и линиями H_1–H_8 вдоль которых определялась объемная доля нефти в воде

Результаты расчетов

Первоначально для оценки целесообразности установки пластин был проведен расчет в элементе сепаратора без установленных ламинаризаторов потока. Картина течения демонстрирует отсутствие разделения эмульсии (рис. 2, *а*) и полное успокоение потока с разделением эмульсии после ряда установленных пластин (рис. 2, *б*).



а



б

Рис. 2. Распределение воды в элементе сепарационного устройства в отсутствии пластин (*а*) и для одного ряда пластин длиной $L = 0{,}03$ м (*б*) при скорости потока на входе $v = 0{,}02$ м/с

Цель исследования заключалась в определении оптимального значения длины пластины, при котором наиболее эффективно происходит отделение нефтяной фазы от фазы воды. На рисунке 3 представлен график с кривыми для пластин длиной $L = 0{,}075$; 0,06; 0,045; 0,03; 0,015; 0,0075 м. Видно, что наиболее оптимальным вариантом являются пластины длиной $L = 0{,}06$ м, так как в самом начале до пластин имеется заметное влияние на поток, из-за чего начальная доля нефти существенно ниже в сравнении с другими пластинами, данный размер пластин демонстрирует отсутствие колебаний доли нефти в воде.

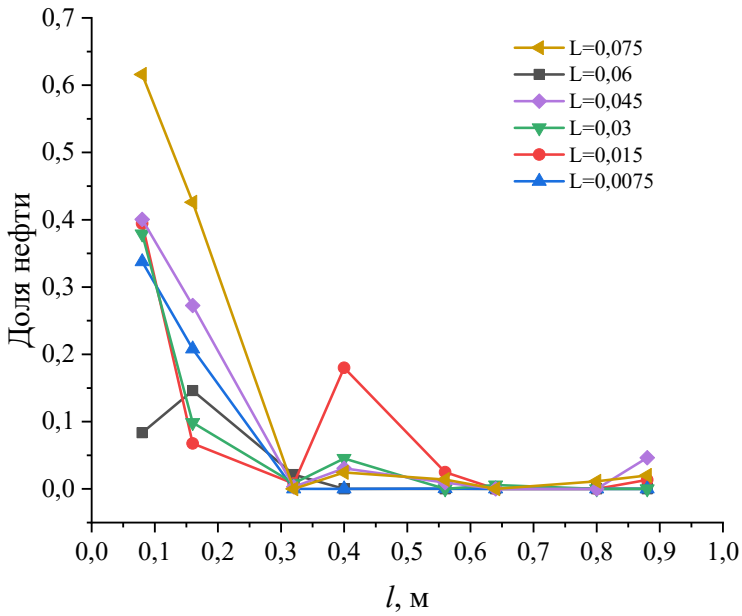


Рис. 3. Доля нефти в воде при различных значениях длины пластин

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что использование ламинаризатров потока, состоящих из трех рядов пластин длиной $L = 0{,}06$ м, позволяет добиться интенсификации разделения эмульсии в канале еще на начальных участках сепарационного устройства.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160005.

Источники

1. Separation of water-in-heavy oil emulsions using porous particles in a coalescence column / Y. Li [et al.] // Separation and Purification Technology. 2016. Vol. 166. Pp. 148–156.

2. Abdulredha M.M., Hussain S.A., Abdullah L.C. Optimization of the demulsification of water in oil emulsion via non-ionic surfactant by the response surface methods // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2020. Vol. 184.

3. Application of CFD for designing conventional three phase oilfield separator / A. Ghaffarkhah [et al.] //Egyptian journal of petroleum. 2017. Vol. 26, Is. 2. Pp. 413–420.

4. Skjefstad H.S., Stanko M. Experimental performance evaluation and design optimization of a horizontal multi-pipe separator for subsea oil-water bulk separation // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2019. Vol. 176. Pp. 203–219.

УДК 620.91

МИРОВОЙ РЫНОК ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПОСЛЕ КОРОНАВИРУСНОГО КРИЗИСА

С.С. Рахматуллин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
samatrakhmatullin@gmail.com
Науч. рук. Ю.А. Аверьянова

Новый 2021 г. начался с бурного роста возобновляемых источников энергии даже после того, как пандемия COVID-19 нанесла удар почти по всей мировой экономике. Благодаря основным поворотным моментам прошлого года, рост, скорее всего, продолжится. Чтобы понять, что является движущей, а также сдерживающей силой развития ВИЭ, в данной работе проанализированы последние крупнейшие изменения, формирующие их мировой рынок в 2021 г. – после коронавирусного кризиса.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, коронавирус, мировая экономика, пандемия COVID-19, солнечная энергия, экологически чистая электрогенерация.

«2020 год стал годом положительных сюрпризов для окружающей среды, которые мало кто предвидел. Это был прорывной год в области устойчивого развития и инфраструктуры», – говорит Джефф МакДермотт, глава Nomura Greentech – инвестиционного банка в области устойчивых технологий и инфраструктуры [1]. Прорывные достижения не прекращаются и сегодня. Так, в настоящее время Китай взял на себя обязательство достичь углеродного нейтралитета к 2060 г., поставив крупнейший в мире рынок солнечной и ветровой энергетики на путь наращивания мощностей по мере того, как он начинает реализацию своего следующего пятилетнего плана [2]. Даже после того, как правительство заблокировало большие территории страны в начале 2020 г., предприятиям все еще требовалась и требуется солнечная энергия. В связи с этим, а также в связи с заявлениями президента Си Цзиньпина об обнулении выбросов углерода, главную группу солнечной энергетической промышленности Китая ожидает рекордный рост бизнеса в течение ближайших пяти лет (рис. 1) [3].

Что касается солнечной энергетики Соединенных Штатов Америки, то их установка солнечных батарей будет развиваться в условиях продолжающегося бума. По данным глобальной исследовательской и консалтинговой группы в области ВИЭ “Wood Mackenzie” и национальной некоммерческой торговой ассоциации солнечной энергетики в США “Solar Energy Industries Association” во втором квартале 2020 г. количество жилых объектов в США упало почти на 20 % по сравнению с первым – самым высоким кварталом 2020 г. [4], однако к концу года этот сектор восстановился, и страна добавила 19 гигаватт общей солнечной энергии, достигнув рекорда (рис. 2) [5]. По тем же данным в третьем квартале 2020 года емкость аккумуляторов в США увеличилась более чем вдвое по сравнению со вторым кварталом. Новые проекты систем накопления энергии в Калифорнии стали основной причиной этого всплеска (рис. 3) [5].

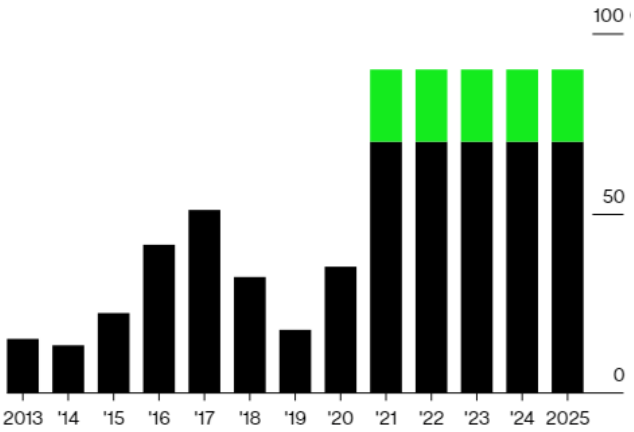


Рис. 1. Низкие и высокие пятилетние прогнозы солнечной электрогенерации в Китае, ГВт

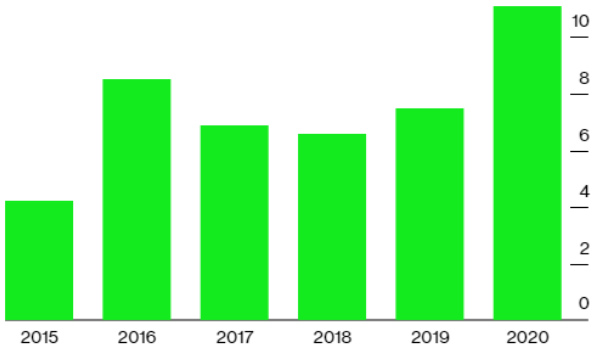


Рис. 2. Ежегодная установка солнечных панелей в США за 1–3 кварталы, ГВт

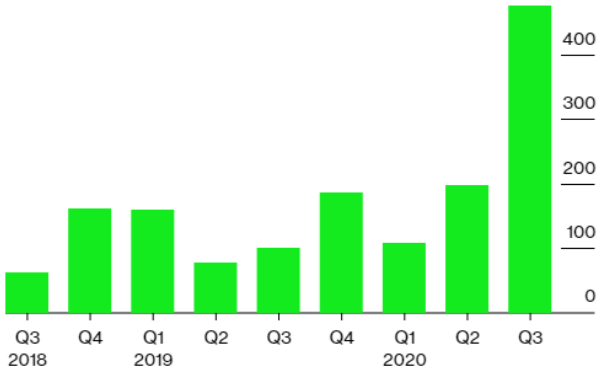


Рис. 3. Ежеквартальное увеличение емкости аккумуляторов в США, МВт

Испания – страна с наибольшим солнечным потенциалом в Европе выросла в плане выработки солнечной электроэнергии в 2020 г. более чем на 60 % по сравнению с 2019 г., выработав более 15 000 гигаватт-часов электроэнергии, по данным сетевой компании страны “Red Electrica” (рис. 4) [6]. Солнечная южноевропейская страна по-прежнему имеет около трети установленных солнечных мощностей по сравнению с Германией – лидером ЕС, однако испанский сектор будет расти примерно в два раза быстрее немцев в ближайшие два года, по данным BloombergNEF [7].

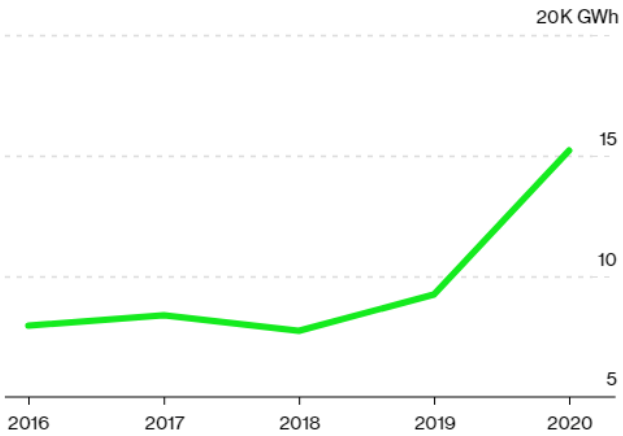


Рис. 4. Ежегодные данные солнечной электрогенерации в Испании, тыс. ГВт·ч

В Индии в 2020 г. коммунальные предприятия, обремененные долговыми обязательствами, подверглись большой нагрузке в результате крупнейшей в мире пандемии, что привело к 72-процентному снижению количества солнечных установок и самому медленному за последние десять с лишним лет пополнению ветроэнергетического сектора. В то же время, с другой стороны, заявки на разработку новых солнечных проектов продолжают ставить рекорды. Это означает, что, как только финансы энергетических компаний будут в порядке, существует вероятность, что солнечная энергия будет самым дешевым вариантом. Еще одной хорошей новостью явилось то, что благодаря пустующим заводам и улицам небо стало чище, а, следовательно, смог меньше блокировал поступающий на фотоэлементы солнечный свет, позволяя тем самым генерировать больше электроэнергии [3].

В Австралии около 29 % домохозяйств в настоящее время оснащены солнечными панелями на крышах по причине высоких цен на электричество и обильного света, что с каждым годом губительнее сказывается на традиционной электроэнергетике: дневной спрос на электроэнергию из сети упал до рекордно низкого уровня в трех штатах в 2020 г., в результате чего дорогостоящие электростанции работают на значительно меньшей мощности. Таким образом, рост возобновляемых источников энергии присутствует и в этой стране [3].

В Великобритании 2020 г. стал самым «зеленым» годом в стране с точки зрения энергетики (рис. 5). Причиной тому 67-дневный период отсутствия использования угля в качестве энергетического топлива. Такого не наблюдалось со времен промышленной революции. Стоит отметить, что Великобритания к 2025 г. собирается полностью отказаться от загрязняющего природу топлива, сделав ветряные станции главным источником электроэнергии в стране. Из новостей данного характера: премьер-министр Борис Джонсон поклялся запретить выпуск новых газовых автомобилей к 2030 г. и потратить один миллиард долларов на очищение экологии от углекислого газа, по крайней мере, в двух промышленных центрах [3].

Помимо положительного темпа мирового роста солнечной энергетики, 2020 г. привнес и некоторые проблемы, не связанные с коронавирусным кризисом. Так, в Синьцзяне взрыв на заводе по производству поликремния “GCL” [7] и наводнение в провинции Сычуань, вблизи еще одного крупного завода по производству поликремния “Tongwei Solar” [8], привело к закрытию этих китайских фабрик, что менее чем за два месяца повлияло на 75-процентный мировой рост цен фотогальванических элементов, поскольку их изготовление основано именно на данном

материале (рис. 6). Цены на модули солнечных батарей испытали первое ежеквартальное повышение с 2015 г. Это плохая новость для разработчиков новых проектов в данной сфере, предлагающих низкие цены исходя из предположений, что затраты на оборудование будут всегда падать, как это наблюдалось исторически [3].

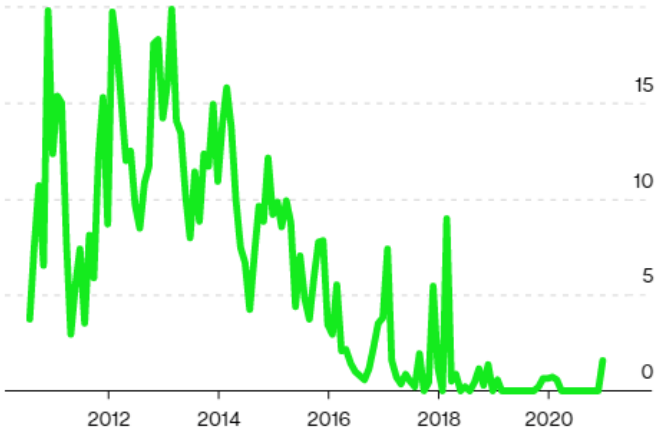


Рис. 5. Данные по угольной энергетике Великобритании, тыс. МВт

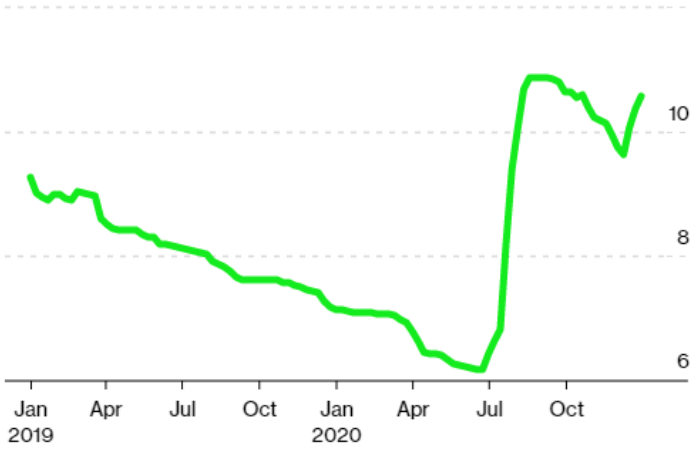


Рис. 6. Данные по ценам на материалы для солнечных панелей, $ за кг

Также некоторые проблемы для возобновляемой энергетики наблюдались в Северной Калифорнии, США, где отключение электричества, вызванное риском лесных пожаров, сначала способствовало росту интереса американских домовладельцев к установке солнечных систем на крышах своих домов, а затем, в сентябре, по иронии судьбы, дым от большого пламени пожаров заслонил солнечные лучи, что, не дойдя до фотоэлектрических элементов, не позволили сгенерировать ожидаемую электроэнергию [9].

Однако, ни одна из указанных проблем, ни сама коронавирусная пандемия в 2020 не остановила позитивное развитие мирового рынка ВИЭ, последним доказательством чего в данной работе является новость из Европейского союза: по данным экологической группы “Ember”, в разгар пандемии, когда по причине приостановки большинства промышленных предприятий, общий спрос на электроэнергию в ЕС упал, доля возобновляемых источников в нем резко возросла (40 % выработки электроэнергии возобновляемыми источниками энергии против 34 % сжиганием ископаемых видов топлива). Такое опережение наблюдается в истории энергетики ЕС впервые [10].

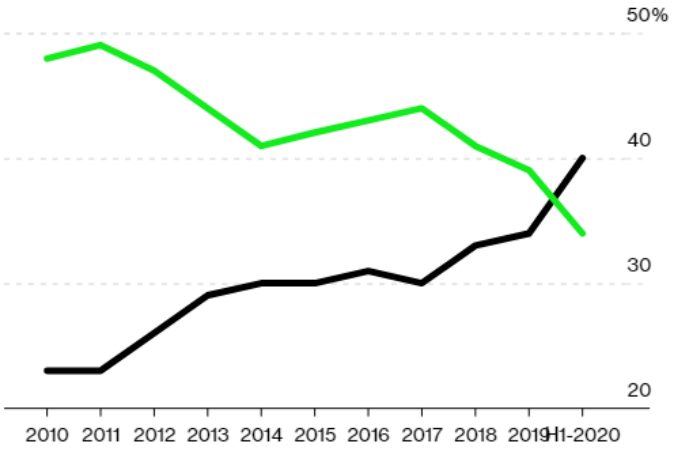


Рис. 7. Сравнение генерации электроэнергии ВИЭ (черная кривая) и сжиганием ископаемых без ядерного топлива (зеленая кривая)

Источники

1. Construction Innovations LLC [Электронный ресурс]. URL: https://yandex.ru/turbo/hightech.fm/s/2020/09/23/china-for-carbon-neutrality (дата обращения: 06.01.2021).

2. “The Solar-Powered Future is Being Assembled in China” [Электронный ресурс]. URL: https://www.bloomberg.com/features/2020-china-solar-giant-longi/ (дата обращения: 07.01.2021).

3. “Renewable energy boom” [Электронный ресурс]. URL: https://sg.style.yahoo.com/the-10-ways-renewable-energys-boom-year-will-shape-2021-032912967.html (дата обращения: 09.01.2021).

4. “COVID-19 information and resources” [Электронный ресурс]. URL: https://www.seia.org/covid-19-information-resources (дата обращения: 08.01.2021).

5. “Solar Market Insight Report” [Электронный ресурс]. URL: https://www.seia.org/research-resources/solar-market-insight-report-2020-q4 (дата обращения: 08.01.21)

6. “Global market outlook” [Электронный ресурс]. URL: https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2020/06/21-SPE-GMO-report-mr.pdf (дата обращения: 09.01.2021).

7. «Взрывы на заводе по производству поликремния» [Электронный ресурс]. URL: https://sunnik.com.ua/vzryvy-na-zavode-po-proizvodstvu-polikremniya-gcl-v-sintszyane-kitaj-mogut-povliyat-na-mirovuyu-tsenu-na-polikremnij/ (дата обращения: 10.01.2021).

8. «В Китае закрылся завод по производству поликремния» [Электронный ресурс]. https://generacia.energy/ru/novosti/v-kitae-zakrylsja-zavod-po-proizvodstvu-polikremnija-tongwei-solar-29082020/ (дата обращения: 10.01.21)

9. “Northern California hit by mega power cuts over wildfire fears” [Электронный ресурс]. URL: https://www.bbc.com/news/world-us-canada-49982236 (дата обращения: 11.01.2021).

10. “Renewables beat fossil fuels” [Электронный ресурс]. URL: https://ember-climate.org/project/renewables-beat-fossil-fuels/ (дата обращения: 12.01.2021).

УДК 621.311.245

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

А.Р. Тимершин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
super.azatonrobot@gmail.com
Науч. рук. А.Е. Кондратьев

Рассмотрены особенности применения ветроэнергетики в республике Татарстан. Произведен анализ основных конструктивных особенностей различных ветрогенераторов. Произведена оценка потенциала ветровой энергетики.

Ключевые слова: ветроэнергетика, горизонтальные ветрогенераторы, вертикальные ветрогенераторы, ветряная ферма, альтернативная энергетика.

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, занимающаяся преобразованием энергии, заключённой в воздушных массах, в другие виды энергии, удобные для использования, например, механическую,

тепловую, но чаще всего в электрическую энергию, принцип её получения предельно прост, направленный поток ветра вращает лопасти генератора, которые в свою очередь прикреплены к первичному валу, который передает момент на коробку, которая повышает скорость вращения ротора электрогенератора. Основным преимуществом ветряных станций перед станциями, использующими различные виды ископаемого топлива является то, что энергию ветра, за счёт которой идёт выработка можно считать неисчерпаемой, также она является более экологичной и безопасной по сравнению с атомной энергетикой.

Показателем эффективности ветрогенератора, как и любой другой энергетической установки является его мощность, которая в свою очередь зависит от мощности потока воздуха (N):

$$N = pSV^3 / 2$$

где V – скорость ветра; ρ – плотность воздуха; S – ометаемая площадь [1].

Наибольшее распространение ветряные электростанции получили в таких странах, как Дания, где на ветроэнергетических установках в 2019 г. было произведено 48 % всего электричества, в Ирландии с показателем в 33 %, в Португалии – 27 %, в Германии – 26 % [2].

На данный момент наибольшее распространение получили горизонтальные трехлопастные ветрогенераторы, но всё чаще и чаще начинают появляться роторные ветрогенераторы в вертикальной осью вращения, так как эффективность при относительно небольшой скорости ветра 3–12 м/с намного выше, также из плюсов вертикальных генераторов можно отметить низкий уровень шума по сравнению с горизонтальными, что повышает эксплуатационный комфорт на участках частных домов и жилищных кооперативов. Также преимуществом ветроэнергетических установок малой мощности является возможность использовать их не только для обеспечения электроэнергией, но и для получения тепла, благодаря объединению ветровых установок с различными видами электрических теплогенераторов, таких как электрический котёл нагрева воды или тепловой насос. Используя различные совокупности данных установок можно достичь полной автономности постройки от внешних источников тепла и электроэнергии [3].

В Республике Татарстан есть множество районов, в которых возможна установка и эффективное использование ветрогенераторов роторного типа для частной либо мелкой промышленной генерации. Это территории возле таких населённых пунктов как: Бугульма, Зеленодольск, Тетюши, Чистополь.

Потенциал развития ветроэнергетики в республике Татарстан не заканчивается на установке частных, либо мелких промышленных ветряных станций. Силами Казанского Государственного Энергетического Университета были определены 3 наилучших площадки для возведения на них ветряных ферм, на которых возможна установка ветрогенераторов с горизонтальной осью большой мощности. Самой энергоёмкой является территория в Спасском районе недалеко от села Измери, далее идёт Рыбно-Слободский район (село Малая Елга), а также Камско-Устьинском районе (село Красновидово). Постройка на этих площадках ветроэнергетических станций высокой мощности суммарно могут покрыть до 6 % установленной электрической мощности, что является хорошим показателем для республики с такой энергоёмкостью [4].

У республики Татарстан есть все задатки для развития ветроэнергетики. Уже сейчас имеются площадки для возведения ветряных станций с мощность примерно до 150 МВт, что является хорошим показателем. С развитием технологий эти цифры будут только увеличиваться. Учитывая всё факторы, ветряная энергетика является одним из самых перспективных источников альтернативной энергии на фоне остальных, таких как энергия солнца и энергия геотермальных источников [5].

Источники

1. Курицына К.С. Ветер как альтернативный источник энергии // «Научному прогрессу – творчество молодых»: матер. X Междунар. молод. науч. конф. по естественнонаучным и техническим дисциплинам. Йошкар-Ола, 2015. С. 256–257.

2. Захарова В.Е. Перспективы использования ветроэнергетических установок в России и за рубежом // Научному прогрессу – творчество молодых. 2017. № 2. С. 129–130.

3. Хайруллина А.И. Варианты применения ветрогенераторов для систем отопления // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 70–71.

4. Федотова А.О. Анализ эффективности применения ветроэнергетических установок // Научному прогрессу – творчество молодых. 2020. № 2. С. 67–69.

5. Шарафисламова Э.А., Кондратьев А.Е. Совместная работа теплового насоса с ветрогенератором малой мощности // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 2. С. 256–258.

УДК 621.311

КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ТОТЭ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Шалухо[1], Л.Е. Веселов[2]
[1,2]НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
[1]shaluho@nntu.ru, [2]veselov022@gmail.com

Статья посвящена разработке методики выбора оптимальной установленной мощности твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), работающих на биогазе из переработанных отходов сельхозпроизводства. Рассмотрена система электроснабжения животноводческого предприятия, которое получает электроэнергию от централизованной электрической сети. Решается задача интеграции в систему электроснабжения ТОТЭ на биогазе. Проведены исследования эффективности применения ТОТЭ в системе электроснабжения. Определены критерии оптимизации для разработки методики выбора установленной мощности ТОТЭ.

Ключевые слова: твердооксидные топливные элементы, биогаз, система электроснабжения, сельскохозяйственное предприятие.

Сельское хозяйство является важнейшей отраслью экономики России. Низкое качество электроснабжения и необходимость утилизации производственных отходов являются серьезными проблемами для развития современных сельскохозяйственных предприятий. Решение этих проблем связано с расширением использования источников распределенной генерации, которые работают на биогазе из утилизированных отходов производства. Наибольшими преимуществами при работе на биогазе обладают твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) [1, 2].

Широкое использование ТОТЭ в системах электроснабжения требует решения ряда научно-технических и методических задач, одной из которых является выбор оптимальной установленной мощности ТОТЭ.

Существенными недостатками ТОТЭ являются высокая удельная стоимость 1 кВт установленной мощности и низкая маневренность. Поэтому при выборе установленной мощности ТОТЭ возникают конфликтующие критерии. Так, чем больше установленная мощность ТОТЭ, тем больше электрической энергии предприятие может получить от собственного экологичного источника. Но при этом значительно

увеличиваются капитальные затраты на ТОТЭ. Кроме того, часть вырабатываемой электрической мощности ТОТЭ может оказаться невостребованной из-за низкой нагрузки предприятия.

Объектом исследования является животноводческое предприятие. Предприятие получает электрическую энергию от централизованной электрической сети. Предприятие имеет биогазовую установку, установки накопления и очистки биогаза. Рассматривается интеграция в систему электроснабжения энергоустановки на ТОТЭ, которая работает на биогазе.

Для выбора оптимальной установленной мощности ТОТЭ проведен анализ четырех критериев:

1) средняя расчётная себестоимость производства электроэнергии на протяжении жизненного цикла ТОТЭ (*the Levelized Cost of Energy* – LCOE);

2) комплексные затраты на электроснабжение предприятия за расчетный период;

3) дисконтированные комплексные затраты на электроснабжение предприятия за расчетный период;

4) объем биогаза для работы ТОТЭ за 1 год.

Для энергоустановки на ТОТЭ, интегрированной в рассматриваемую систему электроснабжение, значение LCOE определяется по формуле:

$$\mathrm{LCOE} = \frac{\sum_{t=0}^{T}\left[\left(C_{\mathrm{КАП}} + C_{\mathrm{ТЕХ}} + C_{\mathrm{РП}}\right)\cdot\left(1+r\right)^{-t}\right]}{\sum_{t=0}^{T}\left(W_{\mathrm{ТОТЭ}}\right)},$$

где $C_{\mathrm{КАП}}$ – капитальные затраты на энергоустановку на ТОТЭ; $C_{\mathrm{ТЕХ}}$ – затраты на техническое обслуживание ТОТЭ; $C_{\mathrm{РП}}$ – затраты на рабочий персонал; r – ставка дисконтирования для года t; $W_{\mathrm{ТОТЭ}}$ – электроэнергия от ТОТЭ, потребленная предприятием; T – расчетный период.

Комплексные затраты на электроснабжение предприятия за расчетный период определяются по формуле:

$$C_{\Sigma} = \sum_{t=0}^{T}\left(C_{\mathrm{КАП}} + C_{\mathrm{ТЕХ}} + C_{\mathrm{РП}} + C_{\mathrm{ЦЭС}}\right),$$

где $C_{\mathrm{ЦЭС}}$ – затраты на покупку электроэнергии от централизованной электрической сети.

Капитальные затраты на энергоустановку на ТОТЭ относятся к первому году расчетного периода. Экономия за счет использования ТОТЭ, которая обеспечивает возврат капитальных вложений, приходится на последующие годы. Чтобы привести разновременные денежные потоки к одному моменту времени, выполняется расчет дисконтированных комплексных затрат:

$$C_{Д\Sigma} = \sum_{i=0}^{T} \left[C_{Дi} \cdot (1+r) - t \right],$$

Чем меньше LCOE, $C_{У}$ и $C_{ДУ}$, тем более экономически эффективным является применение ТОТЭ в системе электроснабжения предприятия.

Объем биогаза для работы ТОТЭ пропорционален массе переработанных отходов сельхозпроизводства. Поэтому этот критерий можно рассматривать как критерий экологической эффективности применения ТОТЭ в системе электроснабжения предприятия. Объем использованного для работы ТОТЭ биогаза, произведенного из отходов сельхозпроизводства, за год определяется по формуле:

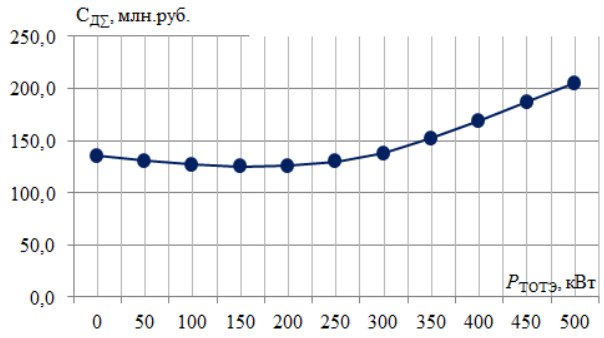
$$V_{БГ} = 8760 \cdot P_{ТОТЭ} \cdot F_{ТОТЭ},$$

где $P_{ТОТЭ}$ – номинальная (паспортная) мощность ТОТЭ; $F_{ТОТЭ}$ – средний удельный расход первичного газообразного топлива (биометана) ТОТЭ на выработку 1 кВтч ($м^3$/кВтч).

С помощью разработанной базы данных по ТОТЭ [3] компьютеной программы на базе Exel, основанной на математической модели работы системы электроснабжения с ТОТЭ и приведенных выше формулах, проведены исследования эффективности применения ТОТЭ на биогазе в системе электроснабжения сельскохозяйственного предприятия. В качестве объекта исследования выбрана система электроснабжения предприятия молочного животноводства на 2 000 крупного рогатого скота [4]. Расчетный период (жизненный цикл системы) принят равным 10 годам.

Определен диапазон изменения установленной мощности ТОТЭ. Минимальная установленная мощность ТОТЭ принята равной 0 (система электроснабжения работает без ТОТЭ). Для оценки максимальной электрической мощности ТОТЭ определен максимальный суточный объем вырабатываемого биогаза, который получился равным 3024,08 $м^3$. С учетом этого максимальная мощность ТОТЭ равна 500 кВт.

С помощью компьютерной программы выполнена имитация работы системы электроснабжения на протяжении расчетного периода. Мощность ТОТЭ изменялась итеративно от 0 до 500 кВт с шагом 50 кВт. Полученные результаты показали, что комплексные затраты и дисконтированные комплексные затраты на электроснабжение предприятия без ТОТЭ превышают затраты при использовании ТОТЭ оптимальной мощности (при заданных исходных условиях). График зависимости дисконтированных комплексных затрат от номинальной мощности ТОТЭ показан на рисунке.



Зависимость дисконтированных комплексных затрат от установленной мощности ТОТЭ

При этом критерии экономической эффективности (LCOE, комплексные затраты на электроснабжение, дисконтированные комплексные затраты на электроснабжение) имеют выраженный экстремум функции. Это связано с тем, что при увеличении мощность ТОТЭ возрастает доля электроэнергии, которая не используется предприятием (утилизируется на балластной нагрузке). Объем использованного биогаза (следовательно, масса переработанных отходов сельхозпроизводства) при увеличении мощности ТОТЭ возрастает.

На основе полученных результатов предложено:

– в качестве основного критерия эффективности применения ТОТЭ на биогазе принять дисконтированные комплексные затраты на электроснабжение предприятия за жизненный цикл системы (критерий позволяет учесть высокую удельную стоимость 1 кВт ТОТЭ);

– в качестве дополнительного критерия эффективности применения ТОТЭ на биогазе использовать массу переработанных отходов сельхозпроизводства за год, но с учетом уточнения расхода биометана для конкретной мощности ТОТЭ.

Задачей будущей работы является разработка методики выбора оптимальной установленной мощности ТОТЭ для интеграции в систему электроснабжения сельскохозяйственного предприятия с учетом предложенных критериев.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение о предоставлении грантов для государственной поддержки молодых российских ученых-кандидатов наук № 075-15-2020-097 (МК-593.2020.8) от 18.03.2020 г.).

Источники

1. Киселев И.В. Повышение энергетической эффективности твердооксидных топливных элементов и обоснование их применения для энергоснабжения потребителей малой мощности: автореф. …дис. канд. техн. наук. М., 2013. 20 с.

2. Официальный интернет-сайт компании BloomEnergy [Электронный ресурс]. URL: https://www.bloomenergy.com. (дата обращения: 10.02.2021).

3. База данных по твердооксидным топливным элементам (ТОТЭ): БД 2020622076 Рос. Федерация № 2020621942; заявл. 21.10.2020; опубл. 28.10.2020.

4. Система электроснабжения животноводческого комплекса с энергоустановкой на твердооксидных топливных элементах / Е.Н. Соснина [и др.] // Актуальные проблемы энергетики – 2020: сб. науч.-техн. ст. Нижний Новгород, 2020. С. 316–325.

УДК 621.31

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А.В. Шалухо[1], Н.И. Эрдили[2], А.С. Власов[3]
НГТУ им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород
[1]shaluho@nntu.ru, [2]erdili.ni@yandex.com, [3] lion32211@yandex.ru
Науч. рук. Е.Н. Соснина

В соответствии с Концепцией развития электроэнергетики России будущее распределенной генерации связано с внедрением современных цифровых технологий и постепенным переходом к функционированию энергосистемы по принципу энергетического интернета, предполагающего создание виртуальных электростанций (ВиЭС). Статья посвящена вопросам управления ВиЭС, объединяющими источники

распределенной генерации и потребителей электроэнергии. Рассмотрено применение мультиагентного метода для управления энергообменом между распределенными объектами. Для исследуемой ВиЭС определен перечень агентов и предложен алгоритм их взаимодействия. Приведено описание критериев, на основе которых агенты должны принимать решения. Введен критерий экологичности, в соответствии с которым каждому агенту-генератору присваивается рейтинг по экологичности.

Ключевые слова: мультиагентная система управления, виртуальная электростанция, распределенная генерация.

Концепция энергетического интернета [1, 2] предполагает создание интеллектуальных электротехнических систем, в которые объединяются энергоустановки, накопители и потребители электроэнергии с возможностью свободного энергетического и информационного обмена. Для повышения эффективности распределенной генерации наиболее перспективными моделями таких систем являются виртуальные электростанции (ВиЭС) [3, 4].

Чем больше распределенных объектов будут объединены, тем большая эффективность может быть достигнута. При этом актуальной задачей является разработка новых подходов к управлению энергообменом между распределенными разнохарактерными энергоустановками и потребителями электроэнергии.

Объектом исследования является ВиЭС, объединяющая установки распределенной генерации (мини-ТЭЦ, фотоэлектрические установки, ветроэлектростанция) и потребителей. В работе рассматривается применение мультиагентной системы (МАС) для управления энергообменом с учетом критерия экологичности [5].

Принципы МАС основаны на взаимодействии множества агентов, которые определяются своими приоритетами и заложенными алгоритмами работы [6, 7]. Для исследуемой ВиЭС определен перечень ключевых агентов, в том числе агент генерации электрической энергии и агент нагрузки. Агент генерации оповещает участников МАС об объёме излишков вырабатываемой мощности, а агент нагрузки на основе своих критериев связывается с подходящими для него агентами генерации. Основные приоритеты агентов ориентированы на достижение наибольших показателей эффективности работы системы при соблюдении баланса мощностей [8].

В общем случае взаимодействие агентов происходит по следующему алгоритму:

1) выявление снижения эффективности – появление инициатора;

2) выбор инициатором действия из перечня доступных действий;

3) направление инициатором смежным агентам запросов для получения разрешения на выполнение выбранных действий;

4) проверка смежными агентами отсутствия снижения эффективности при указанных действиях;

5) передача сообщения смежными агентами инициатору/участнику о разрешении изменений или ретрансляция сообщений о выполненных изменениях смежным агентам;

6) при разрешении всеми смежными агентами – выбор инициатором участника, а также направление ему команды на выполнение действия;

7) ожидание участником сообщений–запретов от смежных агентов после выполненных воздействий. При наличии запрета – возврат к п. 2, с переводом проверенного действия в набор недоступных;

8) реализация и проверка инициатором достаточности выполненного действия. В случае недостаточности возврат к п. 2.

Определены критерии, на основе которых агенты будут принимать решения.

Критерий 1 – соблюдение баланса мощностей (является необходимым условием при энергообмене).

Критерий 2 – рейтинг агентов генерации электрической энергии по экологичности (каждому агенту присваивается рейтинг экологичности, где наилучший показатель соответствует возобновляемым источникам энергии). Учет данного критерия необходим для увеличения спроса на электроэнергию от ВИЭ, стоимость которой, как правило, превышает стоимость электроэнергии от традиционных энергоустановок.

Критерий 3 − длина линии электропередачи. При объявлении обоих типов агентов в МАС задаются длины линий электропередачи (ЛЭП) и точки подключения, в качестве последних указываются ближайшие шины распределительного пункта или электрической подстанции. Агенты, подключенные к общим шинам, взаимодействуют преимущественно друг с другом. Данный критерий позволит минимизировать потери мощности при ее передаче в электрической сети.

Критерий 4 – стоимость электрической энергии. Агенты генерации устанавливают стоимость за производимую электроэнергию при объявлении в МАС, а агенты нагрузки стремятся выбрать наиболее дешевое предложение с учетом критериев 2 и 3.

Таким образом, агент нагрузки при выборе агента генерации учитывает следующую систему условий:

$$\begin{cases} Ag_n \to Ag_{gj}(R \to \max) \\ Ag_n \to Ag_{gj}(l \to \min) \\ Ag_n \to Ag_{gj}(c \to \min) \end{cases}$$

где Ag_n – агент нагрузки; Ag_{gi} – i-й агент генерации с соответствующим рейтингом экологичности (R), длиной ЛЭП (l) и ценой за производимую электрическую энергию (c).

Задачами будущей работы являются:

1) разработка агента просьюмера, обладающего возможностью динамического изменения своей роли при энергообмене (переход от агента нагрузки к агенту генерации и наоборот);

2) разработка методики принятия решений агентами с учетом предложенных критериев;

3) разработка модели мультиагентной системы управления в программном комплексе *JADE* и отработка разработанной методики.

Важными преимуществами мультиагентной системы управления по сравнению с централизованным управлением является открытость и возможность масштабирования. Применение мультиагентного подхода для управления системами с распределенной генерации соответствует принципам энергетического интернета.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00541).

Источники

1. «План мероприятий («дорожная карта») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы [Электронный ресурс]. URL: https://www.rvc.ru/nti/roadmaps/dk_energynet_new.pdf (дата обращения: 09.03.2021).

2. «Архитектура интернета энергии» [Электронный ресурс]. URL: https://medium.com/internet-of-energy/87224da0b72b (дата обращения: 09.03.2021).

3. Power Flow Control in Virtual Power Plant LV Network / E. Sosnina [et al.] // Int. J. Renew. Energy Res.2018. Vol. 8. Pp. 328–335.

4. Соснина Е.Н., А.В. Шалухо А.В., Кечкин А.Ю. Оптимизация электропехнического комплекса виртуальной электростанции с источниками распределенной генерации // Фёдоровские чтения – 2017: матер. Междунар. науч.-практ. конф. М., 2017. С. 312–320.

5. Соснина Е.Н., Шалухо А.В., Эрдили Н.И. Вопросы обмена электрической энергией между объектами распределенных систем электроснабжения // 24-я Нижегородская сессия молодых ученых (технические, естественные, математические науки). Нижний Новгород, 2019. С. 245–247.

6. Черемисин В.Т., Третьяков Е.А. Повышение эффективности распределительных электрических сетей железных дорог на основе мультиагентного метода управления режимами // Вестник ИГЭУ. 2019. № 4. С. 54–63.

7. Фишов А.Г., Карджаубаев Н.А. Децентрализованное мультиагентное регулирование напряжения в электрических сетях // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 6. С. 183–195.

8. Фишов А.Г., Мукатов Б.Б. Реконфигурация электрических сетей с распределенной генерацией и мультиагентным управлением // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326, № 9. С. 143–151.

Секция 10. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, ПОДСТАНЦИЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

УДК 621.311.4

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОДСТАНЦИ МАГИСТРАЛЬНАЯ 220 КВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

А.А. Ахмадеев
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. Р.Н. Балобанов

Рассмотрены распределительные устройства и коммутационное оборудование подстанции Магистральная 220 кВ и предложены технические решения при ее реконструкции.

Ключевые слова: реконструкция, подстанция, распределительное устройство.

Непрерывное развитие современных электрических сетей – это прямое следствие неуклонно растущего спроса на электроэнергию. Спрос, о котором мы говорим, имеет разносторонний характер. На фоне высокой плотности застройки городских территорий наблюдается острый дефицит земельных участков, которые можно было бы отвести под строительство новых объектов электроснабжения. Поэтому реконструкция подстанций в таких условиях является оптимальным решением для проблемы, связанной с существующим дефицитом электроэнергии. К тому же есть причины, позволяющие признать реконструкцию вполне оправданным мероприятием. Они заключаются в сильном износе оборудования, используемого в составе действующих электрических подстанций, а также в плотной застройке таких городов как Казань.

Подстанция Магистральная 220 кВ является объектом ОАО «Сетевая компания», находится в городе Казань и осуществляет прием и распределение электроэнергии на таких классах напряжения как 220,110 и 10 кВ. Распределительное устройство 220 кВ выполнено по схеме «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» (рис. 1). Распределительное устройство 110 кВ выполнено по схеме «схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин»

(рис. 2). Распределительное устройство 10 кВ выполнено по схеме «одна секционированная систем шин». Подстанция соединяется воздушными линиями электропередач с Казанской ТЭЦ-2, ПС Киндери, и является немаловажным объектом электроэнергетики республики Татарстан.

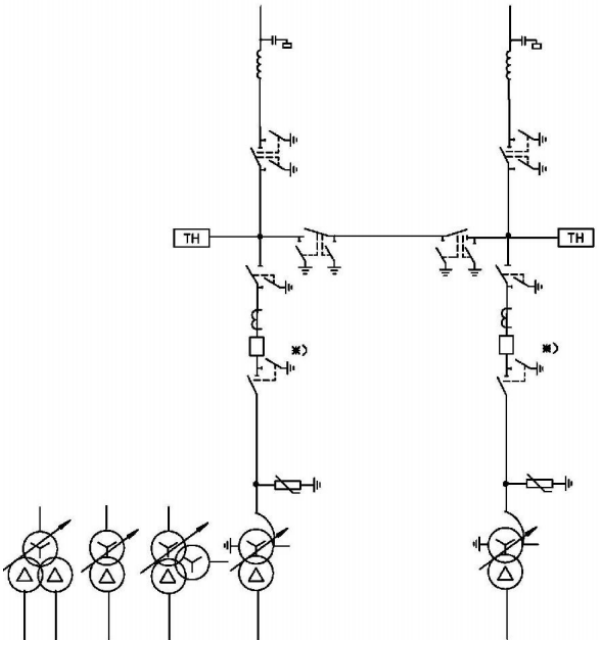


Рис. 1. Схема «мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»

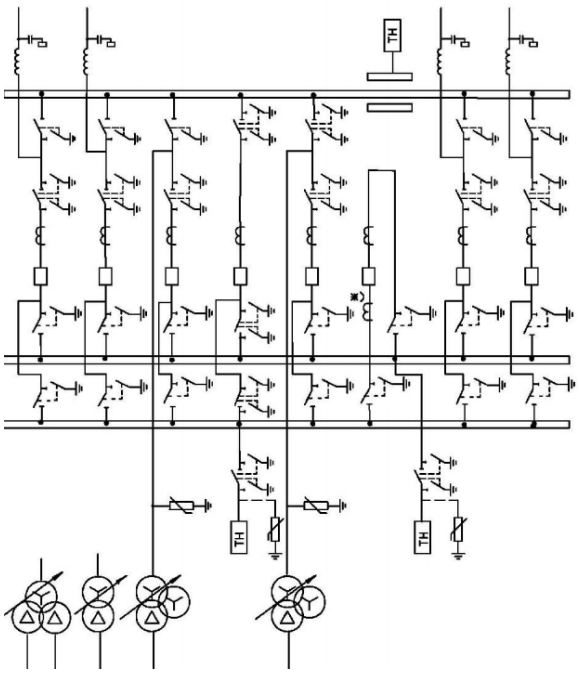


Рис. 2. Схема «схема с двумя системами сборных шин и с обходной системой шин»

Мною было проанализировано действующее коммутационное электрооборудование подстанции Магистральная в распределительных устройствах классом напряжения 220, 110 и 10 кВ. В ОРУ 110 кВ установлено восемь выключателей типа ВМТ – 110 и два выключателя типа ВЭБ-110. Выключатели типа ВМТ-110, используемые в ОРУ, были выпущены и введены в эксплуатацию в 1991 г. Данные коммутационные аппараты устарели, выработали свой срок службы и доставляют не мало проблем с точки зрения их эксплуатации. В связи с этим, мною предложено реконструировать открытое распределительное устройство классом напряжения 110 кВ и заменить его на КРУЭ. При этом схема с двумя рабочими системами шин с обходной системой шин будет заменена на две рабочие системы шин (см. рисунок). Использование КРУЭ является предпочтительным вариантом исходя из следующих факторов:

1) элегаз является экологически безопасной заменой масла;

2) срок эксплуатации КРУЭ до первого ремонта, как правило, составляет не менее 15 лет. Обеспечена высокая надежность. Размер инвестиций на реконструкцию с использованием модульных КРУЭ существенно меньше, чем с применением ЗРУ, так как не требуется строительство капитального здания. Применение КРУЭ существенно сокращает эксплуатационные расходы;

3) площадь, занимаемая КРУЭ, составляет 10–25 % от общей площади, требуемой для традиционного ОРУ, а объем ячейки КРУЭ более чем в 100 раз меньше ячейки ОРУ. Это позволяет строить подстанции в условиях плотной застройки или высокой стоимости земли (крупные города и мегаполисы). Габариты КРУЭ позволяют применять их в контейнерно-модульных компоновках [1].

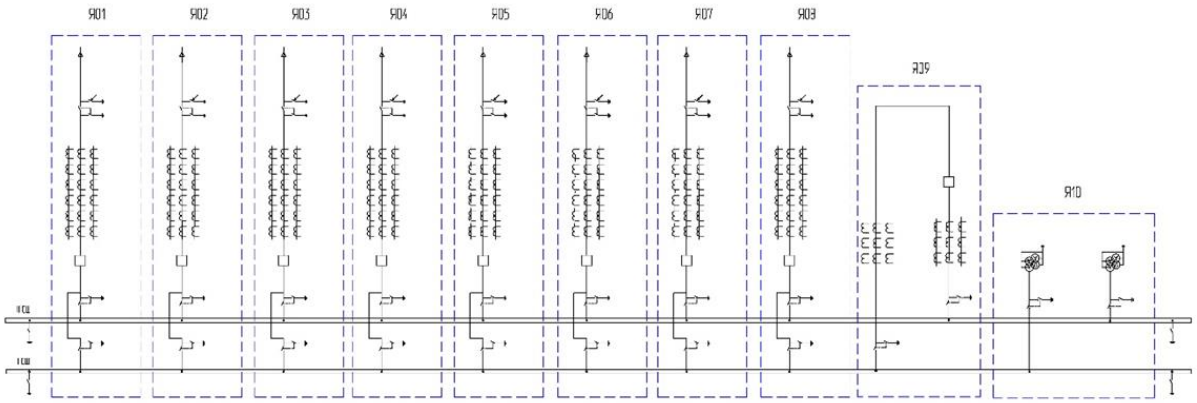


Рис. 3. Вариант однолинейной электрической схемы КРУЭ 110 кВ

К тому же немало важным фактором является модульное исполнение КРУЭ, за счет которого всегда можно увеличить количество присоединений на данном напряжении.

Также планируется увеличение количества присоединений на ОРУ 220 кВ, поэтому необходимо изменить схему распределительного устройства исходя из СТО 56947007-29.240.10.248-2017 на «шестиугольник» [2]. При увеличении присоединений необходима установка коммутационного оборудования. Мною предложено установить два выключателя типа ВЭБ-220. Данные выключатели предпочтительнее масляных выключателей исходя из ряда причин, таких как скорость включения и отключения, параметр потока отказов. В дополнение к перечисленным преимуществам ВЭБ просты в эксплуатации, поскольку в них нет масла, и имеют, в сравнении, не большие габариты. Также данные выключатели рекомендованы к применению таким документом как СТО 56947007- 29.130.10.095-2011[3].

Вывод

Проанализировано коммутационное оборудование распределительных устройств ПС Магистральная 220 кВ. Часть выключателей претерпевает моральный и физический износ. К тому же на одном из напряжений подстанции планируется увеличение числа присоединений. В связи с этим были предложены следующие технические решения при реконструкции подстанции: использование КРУЭ на напряжении 110 кВ, установка выключателей типа ВЭБ-220 на напряжении 220 кВ, замены схемы РУ 220 кВ на «шестиугольник».

Источники

1. КРУЭ – элегазовое комплектное распределительное устройство [Электронный ресурс]. URL: http://kruerf.ru (дата обращения: 21.02.2021).

2. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ [Электронный ресурс]. URL: STO_56947007-29.240.10.248-2017.pdf (дата обращения: 26.02.2021).

3. СТО 56947007- 29.130.10.095-2011 [Электронный ресурс]. URL: 56947007-29.130.10.095-2011.pdf (дата обращения: 19.02.2021).

УДК 621.3.019.3

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛА ЖИЗНИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Р.Р. Ахметьянов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ahmetyaov@mail.ru
Науч. рук. Т.В. Лопухова

В докладе приведён цикл жизни электрооборудования и сформулированы критерии надежности. Смоделирован цикл жизни электрооборудования с помощью программно-вычислительных систем. Выделены критерии надежности влияющие на электроснабжение.

Ключевые слова: цикл жизни электрооборудования, критерии надежности, надежность электроснабжения.

Современные тенденции развития технического оборудования требуют уделять большее внимание надежности электрооборудования. Надежность в настоящее время всё чаще определяется как услуга, предоставляемая потребителям. Надежность это вероятность электротехнического устройства выполнять в полном объёме свои функции в течение заданного промежутка временит и при определённых условиях эксплуатации [1]. В учебной литературе и в публикациях различного рода производится описание влияния цикла жизни электрооборудования (ЭО) на его надежность.

В большинстве литературы применятся количественные расчеты оценки показателей надежности, в том числе таких свойств: безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости. Благодаря этим показателям проводят расчетно-аналитическую оценку количественных характеристик различных свойств ЭО. Оценку надежности осуществляют с помощью теорий вероятностей, математической статистики, теорий массового обслуживания, теория графов и математического моделирования. На всём этапе жизненного цикла ЭО, а именно создание, испытание и эксплуатации, применяют расчёт вероятностных характеристик надежности ЭО, используя статистические данные при эксплуатации [2]. В [1] показатели надёжности рассчитываются путем определения вероятностных характеристик выхода из строя ЭО. Т. е. применяется теория вероятности при определении надёжности ЭО.

При обеспечении надёжности и эффективности работы ЭО широко используются, вероятностно-статистические модели, в которых применяются определённые случайные величины. Применение таких моделей требует времени для сбора большого количества информации необходимой для решения задач по определению надёжности работы ЭО. Многочисленные работы, связанные с расчётом формул теорий вероятностей показывают эффективность таких методов решений при проектировании и создании ЭО [3–5]

К оценке надежности ЭО необходимо подходить, принимая во внимание сложность процессов создания, транспортировки и функционирования ЭО в цикле всех этапов жизни. Также нужно учитывать затраченные ресурсы при эксплуатации ЭО и необходимость повышения уровня принятия решений обслуживающим персоналом в условиях неопределенности и неполноты информации в период эксплуатации жизненного цикла ЭО.

Надёжность является планируемой. Надежность должна закладываться при проектировании и разработки ЭО. Проектирование учитывает влияние внешних факторов, поэтому производятся расчеты механических и электрических свойств. На этом этапе жизненного цикла выявляются ошибки, которые могут повлиять на работу ЭО.

В данной работе предлагается определение критериев надежности ЭО не только с позиции его эксплуатации, но и с позиции проектирования, производства и испытания, в процессе которых и были заложены сами критерии. Использование критериев надежности обеспечивает единое информационное пространство в диагностике, включая мониторинг, и эксплуатацию ЭО на этапах всего жизненного цикла. Под надежностью ЭО будут учитываться параметры состояния ЭО в рассматриваемом этапе цикла.

В исследование решаются такие задачи:

1. Построение алгоритмов определения критериев надёжности, позволяющих определить, в той или иной степени, и классифицировать необходимые условия эксплуатации ЭО, различать критерии между собой, прогнозировать влияния критериев на выход из строя ЭО.

2. Разработка модели эксплуатации ЭО, позволяющей оценить критерии надежности по совокупности (сумме), воздействующих факторов и диагностики.

3. Формирование программной среды для осуществления алгоритмов определения критериев надежности, их обработки и диагностирования.

Определение критериев надежности требует создания модели цикла жизни ЭО с применением программно-вычислительных систем. Само определение состоит из методов оценки состояний и моделирования функционирования на всех этапах жизненного цикла ЭО.

Источники

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015. 24 с.
2. Балобанов В.Н. Надежность электроустановок: учеб.-метод. пособие. Хабаровск: ДВГУПС, 1999.
3. Метод и алгоритмы расчета показателей надежности по многомерным данным / Э.М. Фархадзаде [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2017. Т. 60, № 1. С. 16–29.
4. Бобров А.В., Тремясов В.А Теория надежности в энергетике: учеб.-метод. пособие. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 110 с.
5. Основы теории надежности систем электроснабжения: учеб. пособие / В.В. Карпов [и др.]. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2003. 72 с.
6. Китушин В.Г. Надежность энергетических систем. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. 256 с.
7. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Надежность функционирования энергосистем и электроснабжение потребителей (научные основы надежности энергосистем) // Электро. 2002. № 4.
8. Чекан Г.В. Совершенствование топологического метода и разработка программного комплекса для оценки безотказности электроэнергетических объектов: автореф. дис. … канд. техн. наук. М., 2018. 24 с.
9. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах / пер. с англ.; под ред. Ю.Н. Руденко. М.: Энергоатомиздат, 1983. 288 с.

УДК 621.316.54

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЯЧЕЙКИ ТРАНСФОРМАТОРА Т2 НА ЗАО «АВИАСТАР-ОПЭ»

И.А. Буренина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
burenina.ilona@mail.ru
Науч. рук. Р.Н. Балобанов

В ходе работы был произведен анализ и сравнение двух схем: системы «отделитель-короткозамыкатель» (далее «ОД-КЗ») и элегазового выключателя на предприятии «ЗАО «Авиастар-ОПЭ» в ячейке трансформатора Т2 (см. рисунок). В данной ячейке была произведена замена системы «ОД-КЗ» на элегазовый выключатель, так как рассматриваемая система имеют низкую надежность

и при возникновении аварийной ситуации в следствии искусственно созданного КЗ отключение ВЛ будет иметь отрицательное влияние на электрооборудование предприятия, так как оборудования очень чувствительно к отклонениям напряжения.

Ключевые слова: отделитель, короткозамыкатель, элегазовый выключатель, реконструкция, сравнение, энергооборудование.

В ходе работы был произведен анализ и сравнение двух схем: системы «отделитель-короткозамыкатель» (далее «ОД-КЗ») и элегазового выключателя на предприятии «ЗАО «Авиастар-ОПЭ» в ячейке трансформатора Т2 (см. рисунок). В данной ячейке была произведена замена системы «ОД-КЗ» на элегазовый выключатель, так как рассматриваемая система имеют низкую надежность и при возникновении аварийной ситуации в следствии искусственно созданного КЗ отключение ВЛ будет иметь отрицательное влияние на электрооборудование предприятия, так как оборудования очень чувствительно к отклонениям напряжения.

Система отделитель – короткозамыкатель – система, являющая альтернативой высоковольтному выключателю [1].

Отделитель – высоковольтный коммутационный аппарат, который предназначен для быстрого автоматического отключения повреждённых участков цепи в бестоковую паузу АПВ, потому что его конструкция не рассчитана на гашение электрической дуги.

Короткозамыкатель – коммутационный аппарат, который используется для создания искусственного замыкания на землю в сетях электроснабжения, с целью вызвать их защитное отключение.

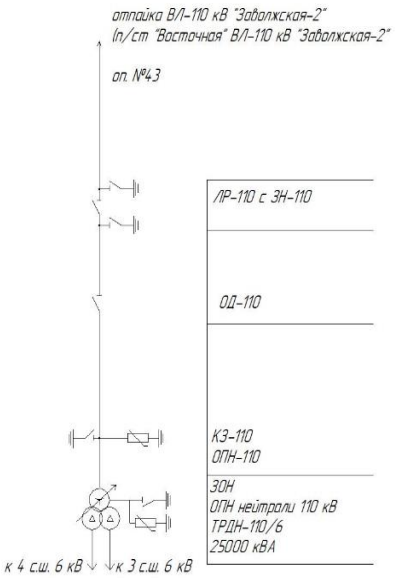
Преимущества системы «ОД-КЗ»: дешевизна – на данном присоединении достаточно иметь только один головной тяжёлый высоковольтный выключатель, а на отходящих фидерах – относительно дешёвые системы отделитель – короткозамыкатель [1]. Недостатки системы «ОД-КЗ»: низкая надёжность – при неправильной работе отделителя без электроснабжения может оказаться много потребителей.

Элегазовый выключатель [3] – это коммутационный аппарат, который использует элегаз как среду для гашения электрической дуги; аппарат предназначен для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме, в нормальных или аварийных режимах.

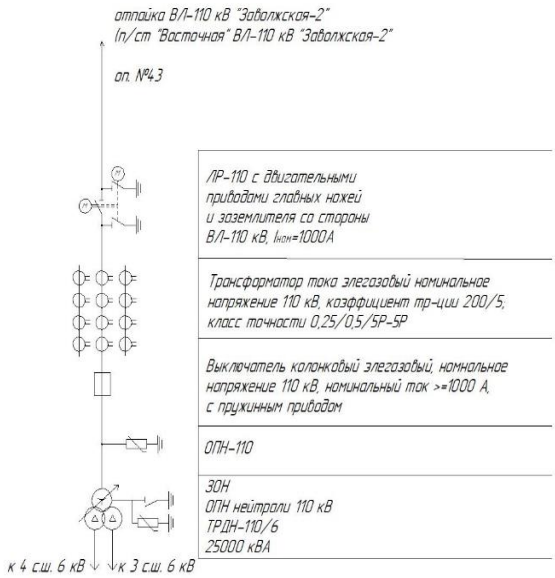
К достоинствам стоит отнести: универсальность; быстрота действия могут эксплуатироваться в среде где повышена вибрация и пожароопасность; долговечность элегаза; отключает как переменный, так и постоянный

токи высокого напряжения [2]. К недостаткам стоит отнести: дороговизна; установка должна производиться только на фундаменте или специальном электрощите; неблагоприятное влияние низких температур; для обслуживания требуется специальное оборудование [2].

Вывод: в реалиях современного мира элегазовые выключателя являются наиболее практичными аппаратами для коммутации. Система «ОД-КЗ» на данный момент является морально устаревшей и ее больше не используют на подстанциях, а на тех подстанциях, где данная система еще эксплуатируется производят переход на элегазовые или вакуумные выключатели, причина в том, что система «ОД-КЗ» отключает всю повреждённую линию, в том время как элегазовый выключатель отключает только поврежденный участок.



Ячейка Т2 до замены оборудования



Ячейка Т2 после замены оборудования

Источники

1. «Система отделитель – короткозамыкатель» [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_отделитель_—_короткозамыкатель (дата обращения: 22.01.2021).

2. Макаров Д. Элегазовые выключатели 110 кВ, 220 кВ [Электронный ресурс]. URL: https://asutpp-ru.turbopages.org/asutpp.ru/s/elegazovye-vyklyuchateli.html (дата обращения: 22.01.2021).

3. «Элегазовый силовой выключатель» [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Элегазовый_силовой_выключатель (дата обращения: 22.01.2021).

УДК 621-315

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ

С.Ж. Жылдызбекова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
s.zhyldyzbekova@yandex.ru
Науч. рук. А.Е. Усачев

Приведены интерпретации о результатах измерения частичных разрядов (ЧР) в кабельных линиях (КЛ).

Ключевые слова: частичные разряды, пробой изоляции, кабельная линия.

Безопасная работа электроэнергетических систем является одной из важнейших задач современной электроэнергетики. Несмотря на то, что исследовано значительное количество методов диагностики электрооборудования, существующие диагностические мероприятия оказываются недостаточно эффективными. Одним из способов уменьшения расходов на эксплуатацию оборудования является повышение надежности его работы путем уменьшения количества технологических нарушений. Поэтому актуальной задачей является создание новых и повышение эффективности существующих методов и средств диагностики высоковольтной изоляции.

Частичным разрядом (ЧР) называют кратковременный разряд сверхмалой мощности, возникающий внутри или на поверхности изоляции высоковольтных кабелей. Частичные разряды возникают в местах неоднородности изоляции, иными словами, на участках изоляции, имеющих дефекты – проводящие и полупроводящие включения, газовые пузырьки, зоны увлажнения. С течением времени, периодически повторяющиеся ЧР разрушают изоляцию, чем хуже состояние линии, то тем чаще на участке возникают частичные разряды приводя в конечном итоге к ее пробою.

Важными элементами кабельной сети являются:

1) диагностика на основе измерения ЧР при типовых испытаниях кабельной линии;

2) обновление IT-системы для регистрации и анализа данных по кабельным участкам и арматуре, полученным после анализа результатов измерений ЧР;

3) разработка системы оценки состояния кабелей по диагностике ЧР, а также другой технической информации о сети среднего напряжения, собранной в компьютерных системах;

4) организационные изменения в компании с целью управления сетью среднего напряжения на основе собранной информации;

5) реализация системы распределения данных по кабельной сети среднего напряжения и мониторинг оптимального использования данных [1].

Одним из перспективных методов является диагностика частичных разрядов (ЧР) в изоляции электрооборудования. При возникновении ЧР происходит несколько физических процессов, регистрируя которые можно судить о характеристиках ЧР:

1) импульсы тока частичных разрядов. Регистрация электрических сигналов ЧР осуществляется с помощью датчиков, обеспечивающих индуктивную или емкостную связь с объектом исследования;

2) акустические сигналы;

3) возмещения электромагнитного поля;

4) изменения химического состава изоляционного материала. [2]

За рубежом и в том числе, России, в последние годы наблюдается необходимость замены испытаний КЛЭП повышенным напряжением постоянного тока *DC*, превышающем рабочее напряжение ($U_{раб}$) в 3…6 раз, на диагностику изоляции с помощью измерения частичных разрядов (ЧР), токов утечки, абсорбционных токов и других методов с приложением напряжения (1…1,5)$U_{раб}$.

Установлено, что проведение испытаний кабеля, находящегося в эксплуатации долгое время, повышенным напряжением отрицательно влияет на изоляцию и снижает срок эксплуатации.

Диагностика изоляции кабельной линии в отличии от испытаний относится к неразрушающим методам контроля.

Перспективным методом диагностики является метод измерения ЧР, позволяющий определить уровень частичных разрядов в кабельной линии их местонахождение по длине.

В момент появления частичного разряда в кабельной линии возникает два коротких импульсных сигнала, длительности которых десятки-сотни наносекунд. Эти импульсы распространяются к разным концам кабельной линии. Измеряя импульсы, достигшие начала кабеля, можно определить расстояние до места их возникновения и уровень.

К основным узлам измерительной схемы относятся: высоковольтный адаптер, компьютерный анализатор дефектов и частичных разрядов в кабельных линиях.

Компьютерный анализатор дефектов и частичных разрядов в кабельных линиях может быть выполнен в виде совокупности измерительного блока и портативного компьютера или в виде специализированного измерительного прибора.

Установлено, что в процессе роста дефекта интенсивность частичных разрядов снижается незадолго до наступления пробоя [2]. При проведении диагностики портативными устройствами в этот период существует вероятность ошибочного вывода об отсутствии дефектов.

Важным направлением исследований в этой области является выявление частичных разрядов среди помех. В ходе измерений должно производиться отделение сигналов частичных разрядов от шумов и их классификация по уровню опасности. Фильтрация шумов может быть осуществлена аппаратными или программными методами. В примере аппаратного метода используется мостовая схема регистрации частичных разрядов. Программными методами является использование нейронных сетей и вейвлет-преобразования. Кроме того, исследуются случаи наличия множественных дефектов. Однако, несмотря на широкое распространение метода, исследования в области повышения эффективности регистрации и анализа характеристик ЧР продолжаются [1].

Благодаря диагностике кабеля на основе измерения ЧР в управлении кабельной сетью среднего напряжения должны быть реализованы новые возможности.

Источники

1. Исследование характеристик частичных разрядов в искусственных дефектах линий электропередачи / Д.А. Поляков [и др.] // Омский научный вестник. 2020. № 6 (174). С. 63–68.

2. Analysis of partial discharge signals in medium voltage XLPE cables / Z. Ahmed [et al.] // Proc. 17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering. 2016. Pp. 1–6.

УДК 620.9

КОНЦЕПЦИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АГРЕГАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

И.О. Купцов
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. Ю.Н. Зацаринная

В настоящее время, в энергосистемах различных стран наблюдается постоянная нехватка электроэнергии, вследствие чего республика вынуждена покупать энергию у соседних регионов. Поэтому, стоит обратить свое внимание на такой инструмент как управления спросом на электроэнергию и проанализировать его возможное внедрение в отдельные энергосистемы.

Ключевые слова: управление спросом, потребление, спрос, предложение.

В электроэнергетической системе спрос и предложение должны быть сбалансированы в любой момент времени. Особенностью этой системы является то, что потребление энергии непостоянно, что вынуждает энергосистемы подстраиваться под заданные условия, сохраняя безопасность и бесперебойность передачи энергии.

На данный момент, гибкость энергосистемы может обеспечиваться за счет маневренности тепловых и гидроэнергетических станций, а именно их способностью быстро повышать или снижать выработку электроэнергии. Помимо данного способа, мы можем обеспечить гибкость энергосистемы не только на стороне предложения, но и на стороне спроса.

Таким способом может выступить новый инструмент – управление спросом (Demand Response). Это механизм изменения потребления электроэнергии конечными потребителями относительно их нормального профиля нагрузки в ответ на ценовые сигналы или прямые команды. Такими сигналами могут быть изменение цен на электроэнергию во времени или стимулирующие выплаты, предусмотренные для того, чтобы снизить потребление в периоды высоких цен на электроэнергию на оптовом рынке, обеспечить динамическое регулирование генерации на базе ВИЭ или в моменты, когда системная надежность под угрозой. [3]

Управление спросом вызовет понижение цены на оптовом рынке, спровоцировав тем самым снижение цен на розничном рынке. Также, снижение цен на рынке электроэнергии в пиковые часы, когда для покрытия спроса привлекаются наименее эффективные генерирующие объекты.

Стоит отметить и ряд положительных эффектов от внедрения технологии управления спросом:

– снижение цен РСВ;

– повышение надежности энергосистемы и отказ от строительства дорогих/резервирующих мощностей;

– снижение выбросов за счет меньшей выработки или потенциального вывода из эксплуатации наиболее «грязных станций»;

– возможность для потребителей получить доход на оказании услуги управления спросом,

Управление спросом – это средство оптимизации энергетической системы. С экономической точки зрения система становится более рациональной (повышается эффективность использования существующих генерирующих и сетевых мощностей, снижается потребность в инвестициях в новые мощности). С технологической точки зрения системные операторы получают новый инструмент, повышающий гибкость, помогающий уменьшить отклонения частоты и, в итоге, обеспечить более высокую надежность энергоснабжения и качество электроэнергии.

Выделим основных участников рынка управления спросом.

Системный оператор – специализированная организация, единолично осуществляющая централизованное оперативно-диспетчерское управление в Единой энергетической системе России.

Агрегаторы управления спросом – организации, которые приобретают услуги розничных потребителей, объединяют их способность изменять потребление и конвертируют её в товары и услуги на рынках электроэнергии, мощности и системных услуг.

Потребители – конечное звено цепи розничного рынка электроэнергии, которое участвует в групповом управлении изменением нагрузки.



Рис. 1. Роль агрегаторов

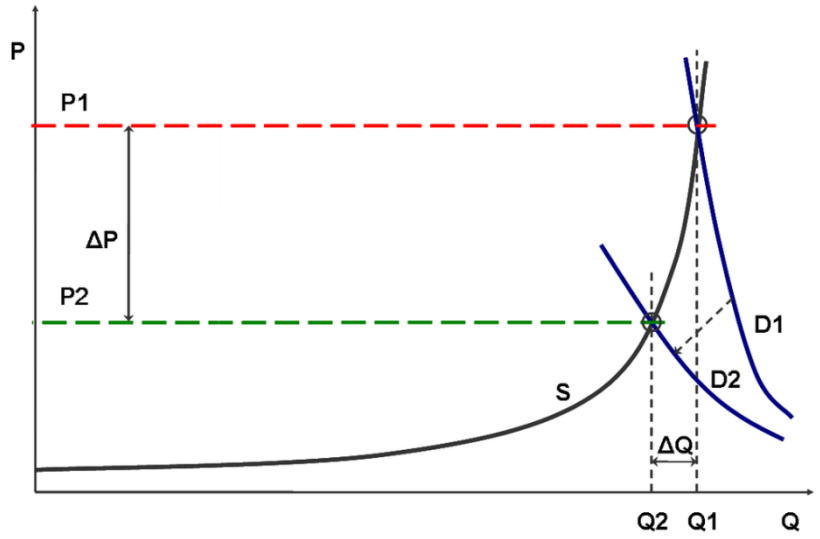


Рис. 2. Механизм работы снижения спроса в пиковые часы

Производится расчет: если разгрузка на 0,5 % потребления приводит к снижению цены рынка более чем на 1 % более возникает событие управления спросом.

Параметры снижения потребления

Объем: возможно заключать договор как на небольшие объёмы разгрузки (10–100 кВт), так и на большие (0,1–10 МВт).

Длительность периода: разгрузка должна длиться 4 или 2 ч в сутки (при 2 ч цена с коэфф. 0,5), в рабочий день, часы, определённые СО.

Данные подаются в СО, который производит отбор заявок Агрегаторов поквартально, перед началом каждого квартала (по цене за 1 МВт).

СО даёт информацию о событии Агрегатору, Агрегатор передаёт её Потребителям, подписавшим Договор управления спросом, но не более 5 разгрузок (событий) в месяц и не менее 1 в месяц.

За выполнение разгрузки (от 1 до 5 раз в месяц) Потребитель получает ежемесячную договорную плату, руб/МВт. [2]

Расчет стоимости оплаты за услугу снижения спросом

$$S = Ц \cdot V_{факт},$$

где S – сумма, которую получает потребитель в рублях; Ц – цена в договоре, руб/МВт; $V_{факт}$ – фактический объем услуги, МВт:

$$V_{\text{факт}} = k_{\text{гот}} \cdot k_{\text{факт}} \cdot V_{\text{план}};$$

$$V_{\text{план}} = k_{\text{длит}} \cdot P_{\text{п}},$$

где $k_{\text{гот}}$ – коэффициент снижения потребления в расчетном периоде:

$$k_{\text{гот}} = n_{\text{гот}} \cdot n_{\text{РД}};$$

$k_{\text{факт}}$ – коэффициент, подтверждение объема снижения потребления:

$$k_{\text{факт}} = n_{\text{факт}} \cdot n_{\text{ПЛ}};$$

$k_{\text{длит}}$ – коэффициент в зависимости от указанной в договоре длительности периода снижения потребления: 2 ч в сутки – $k_{\text{длит}} = 0{,}5$; 4 ч в сутки – $k_{\text{длит}} = 1$; $P_{\text{п}}$ – договорная величина снижения потребления, МВт.

Методы расчета и фиксации факта разгрузки

График базовой нагрузки: объём снижения потребления определяется как разность между графиком базовой нагрузки и объемом потребления электроэнергии энергопринимающего устройства по данным коммерческого учета электроэнергии.

Максимальная базовая нагрузка: объём снижения потребления определяется как разность между значениями условной максимальной нагрузки и значением максимальной базовой нагрузки при условии, что объем потребления электроэнергии энергопринимающего устройства по данным коммерческого учёта электроэнергии не превышает значения максимальной базовой нагрузки.

Заявленный график нагрузки: объем снижения потребления определяется как разность между заявленным графиком нагрузки и объемом потребления электроэнергии энергопринимающего устройства по данным коммерческого учета электроэнергии.

Фиксация факта разгрузки

Разгрузка должна произойти во все часы на объем не ниже договорного, иначе разгрузка в данные сутки считается равной 0.

Частичного исполнения не предусмотрено (если заявленный объем 1 Мвт, а разгрузились на 0,9 МВт, то данные сутки в расчет пойдут не 0,9 от объема, а 0).

Увеличение объема разгрузки в один час не может компенсировать недоразгрузку в другой.

Если за сутки, в которые была разгрузка, отсутствуют данные коммерческого учета или они признаны недостоверными СО – обязательства не исполнены [1].

Взаимодействие по получению и выполнению команд СО на разгрузку

Команда на ограничение:

СО → сообщает агрегатору до 18:00 ч в сутки $X - 1$
Агрегатор → Потребителю до 20:00 ч в сутки $X - 1$

Подтверждение разгрузки:

Потребитель → Агрегатору подтверждение в течение 15 мин с начала разгрузки и в течение 15 мин после завершения разгрузки в сутки X

Передача результатов измерений:

Потребитель → Агрегатору
– до 9 ч р. д., следующего за операционными сутками

Итог: Проанализировав выше представленную информацию, можно сказать, что управление спросом в долгосрочной перспективе позволит оптимизировать потребление электроэнергии и получить дополнительные средства для обеспечения гибкости энергосистемы. Появление механизмов управления спросом в российской электроэнергетике создает новые бизнес-возможности для компаний, оказывающих энергетические услуги, а также технологический компаний, намеренных разработать и коммерциализировать новые технологии в энергетике.

Источники

1. Сидорович В.В., Кулешов М.А., Чаусов И.С. Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности: экспертно-аналитический доклад 2019. С. 7–50.

2. О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам функционирования агрегаторов управления спросом на электрическую энергию в Единой энергетической системе России, а также совершенствования механизма ценозависимого снижения потребления электрической энергии и оказания услуг по обеспечению системной надежности [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Рос. Федерации от 20 марта 2019 г. № 287. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 11.12.2021).

3. Жихарев А.Б., Посыпанко Н.Ю. Demand response на российском рынке: барьеры и перспективы [Электронный ресурс]. URL: https://vygon.consulting/products/issue-1489/ (дата обращения: 11.12.2021).

УДК 621.316

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.В. Прытков
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
chameleon4000@gmail.com
Науч. рук. Е.А. Миронова

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 соотвествующие 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 регулирование 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 ±5 %. При больших отклонениях мощность генератора снижают. По этой причине генераторное регулирование напряжения ограничено.

2. Регулирование напряжения по средством 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 электроэнергии для потребителя является соответствие параметрам 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.

Электроэнергия, 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 могу 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.

Источники

1. Головкин П.И. Энергосистема и потребители электрической энергии. М.: Энергия, 1979.

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., Алекссев А.А., Мызин А.Л. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учеб. пособие. 3-е изд., испр. Екатеринбург: УрФУ. 2012. 93 с.

УДК 621.311.161

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ SMART GRID СЕТЕЙ НА ПОДСТАНЦИИ 10 КВ

А.А. Соловьёва
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Solovyova.alyona@mail.ru
Науч. рук. Е.А. Миронова

На современном этапе развития энергетического промышленно-хозяйственного комплекса развитых и быстроразвивающихся основной задачей является дальнейшее повышение уровня потребления энергоносителей, теоретических обоснований и практических разработок в области создания высокоэффективных систем энергоменеджмента и энергосбережения. Сегодня очень много говорится о важности энергоэффективности и энергосбережения как единственного пути укрепления энергобезопасности, повышения эффективности использования энергоресурсов и снижения энергоёмкости.

Ключевые слова: энергосбережение, автоматизация, АСУТП.

Энергосбережение – это полезное применение электрической энергии, т. е. это меры, которые направлены на повышение энегоэффективности топливно-энергетических ресурсов. С 2009 г. в России действует Федеральный закон № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» [1].

В 2014 г. была утверждена государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [2]. Целью данной программы – обеспечить страну топливно-энергетическими ресурсами, повысить эффективность их использования и снизить антропогенное воздействие топливно-энергетического комплекса на окружающую среду.

По данным проведенным исследованиям, в России имеется существенный потенциал энергосбережения, который позволит снизить объемы потребления энергоресурсов на 45% к текущему уровню. Одним из важных направлений в сфере энергосбережения и энергоэффективности является совершенствование и повышение эффективности использования энергоресурсов в промышленности. Повышение эффективности использования энергоресурсов приведет к их высвобождению. Это обойдется российской экономике в 3 раза дешевле, чем увеличение производства [3].

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) является одним из основных решений перечисленных проблем. Их внедрение позволит максимально повысить качество и оперативность управления [4].

АСУТП на подстанциях является низовым уровнем системы управления Единой национальной электрической сетью. Он на прямую связан с технологическим оборудованием. В рамках АСУТП происходит: сбор первичной информации по всем технологическим процессам; решение задач метрологического обеспечения; выполнение процедур прямого регулирования; выполнение дистанционного управления оборудование; выполнение работ по сбережению ресурсов.

Из этого следует, что эффективность технологических процессов, по существу, обеспечивается на уровне АСУТП.

Источники

1. Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон Рос. Федерации от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант» (дата обращения: 23.01.2021).

2. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» [Электронный ресурс]: утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 15 апреля 2014 г. № 321. URL: https://minenergo.gov.ru/node/323 (дата обращения: 23.01.2021).

3. Гаврилович Е.В., Данилов Д.И., Шевченко Д.Ю. «Умные сети» Smart Grid – перспективное будущее энергетической отрасли России // Молодой ученый. 2016. № 28 (2). С. 55–59.

4. Соснин О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств. М.: Академия, 2017. 240 с.

УДК 621.3.072

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА, УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Ю.В. Сопина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
julia.sjv97@yandex.ru
Науч. рук. Е.А. Миронова

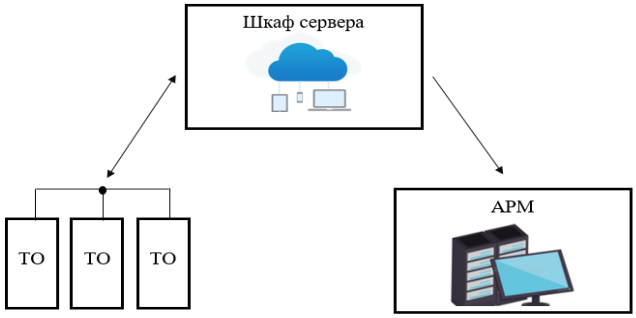
Автоматизированная система управления электротехническим оборудованием (АСУЭТО) – новое направлении в автоматизации электрических станций, особенно актуально в части собственных нужд, которые относится к 1-й категории потребителей. Интеграция системы датчиков, серверов, протоколов обмена информации позволит повысить надежность эксплуатации собственных нужд электрических станций [1].

Ключевые слова: диагностика, мониторинг, собственные нужды электростанции, автоматизированное рабочее место, АСУЭТО, QR-код.

Для поддержания надежной работы системы собственных нужд и увеличения срока службы объектов СН необходимы: безопасная эксплуатация; непрерывный мониторинг; достоверная диагностика; своевременный ремонт.

Все эти критерии могут быть достигнуты за счет внедрения системы, которую условно можно разделить на несколько блоков: 1-й – дистанционное управление для безопасной эксплуатации; 2-й – установка системы мониторинга с последующей диагностикой в режиме online; 3-й – система обработки данных, способная анализировать информацию и выводить техническое состояние объекта в режиме online с помощью QR-кода.

Структура системы мониторинга, управления и диагностики системы собственных нужд представлена на рисунке.



Структура системы мониторинга, управления и диагностики
системы собственных нужд СМУиД

Ядром **системы мониторинга, управления и диагностики** является SCADA-система, которая разработана для решения следующих задач:

– непрерывное измерение различных физических параметров с их преобразованием в электрические сигналы;

– формирование управляющих команд коммутационному оборудованию, исполнительным механизмам и другому оборудованию с выдачей и контролем прохождения соответствующих значений выходных электрических сигналов по каналам системы;

– управление системой охлаждения (СО).

СМУиД может обеспечивать интеграцию в единое информационное пространство различных подсистем, отвечающих за функционирование различных узлов, устройств, приборов и ТО во всех режимах его работы [2].

По результатам выполнения алгоритмов диагностики и прогнозирования технического состояния ТО формируются наглядные графические формы, звуковая и световая предупредительная и аварийная сигнализация, сопровождающаяся предупредительными или аварийными сообщениями. Основанием для формирования технологической сигнализации служит достижение (или приближение) одного или нескольких параметров к критическим величинам, определенным в НТД, действующей на территории РФ.

АРМ – программно-технический комплекс автоматизированной системы, предназначенный для автоматизации деятельности. Он объединяет программно-аппаратные средства, обеспечивающие взаимодействие человека с компьютером, предоставляет возможность ввода информации и её вывод на монитор, как правило, АРМ является частью автоматизированной системой управления (АСУ).

Таким образом, повреждения ТО собственных нужд нарушают работу энергосистемы и потребителей электроэнергии, а ненормальные и аварийные режимы создают вероятность возникновения повреждений

или нестабильности работы энергосистемы. Для обеспечения безаварийной работы энергетической системы необходимо, как можно быстрее выявить причину и отделять место повреждения от неповрежденной сети, восстанавливая нормальные условия их работы и прекращая разрушения на месте повреждения. Опасные последствия ненормальных режимов можно предотвратить путем своевременного обнаружения отклонения от нормального режима и принятия меры к его устранению (снизить ток при его нарастании, понизить напряжение при его увеличении и т. д.).

Внедрение таких систем, как СМУиД, АСУ ЭТО, АИИС КУЭ и QR-код с удаленным мониторингом и возможностью управления и отслеживания поможет реализовать оперативность при ликвидации аварийных режимов оборудования и досрочное выявление ненормального режима работы трансформаторов, сделает производство более эффективным, сэкономит время на обследование тех или иных дефектов оборудования, снизит затраты на эксплуатацию парка оборудования.

Источники

1. Автоматизация энергетических систем / А.Д. Дроздов [и др.]. М.: Энергия, 1977. 440 с.

2. «Электрическая часть электростанций – Механизмы собственных нужд тепловых электрических станций» [Электронный ресурс]. URL: https://forca.ru/knigi/arhivy/elektricheskaya-chast-elektrostanciy-29.html (дата обращения: 23.12.2020).

УДК 621-313-3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВАКУУМНЫХ И ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ 110 кВ

А.П. Трофимов, Л.Р. Хизбуллина
ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань
Филиал ОАО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана, г. Казань
b2304@mai.ru, nerov@mrsu.ru fevyb@mail.ru
Науч. рук. Н.В. Денисова

Рассматриваются технические характеристики вакуумных и элегазовых выключателей на напряжение 110 кВ.

Ключевые слова: вакуум, элегаз.

Вакуумные выключатели. Для сравнения уточним, что дугогасящая среда в вакуумных высоковольтных выключателях является вакуум, он не представляет угрозы для окружающей среды. По сути, это обычная стеклянная тара и металлические компоненты, то есть перерабатываемые материалы.

Вакуум имеет свои преимущества и недостатки, которые отличаются от элегазовых. Одним из выдающихся преимуществ вакуумного высоковольтного выключателя является то, что он прост в сборке, оборудования и имеет небольшое количество компонентов, примерно на 50 % меньше, чем в безгазовом высоковольтном выключателе, что приводит к увеличению срока службы при очень большом количестве рабочих циклов. Кроме того, малое количество компонентов и простота конструкции обеспечивают компактные размеры и малый вес вакуумного высоковольтного выключателя, а, следовательно, простоту технического обслуживания и осмотра. Еще одним преимуществом высоковольтного вакуумного выключателя является высокое диэлектрическое сопротивление.

Наконец, как отмечалось ранее, вакуумный выключатель не представляет угрозы для окружающей среды, как в случае с элегазовым выключателем. В случае вакуумного выключателя нет риска взрыва или пожара, как в случае масляного высоковольтного выключателя.

Одним из наиболее важных недостатков является стоимость. элегазовый высоковольтный выключатель дешевле, что не способствует конкурентоспособности вакуумного высоковольтного выключателя. Необходимы многочисленные исследования, чтобы снизить стоимость вакуумного высоковольтного выключателя, чтобы он стал экономической альтернативой элегазовой технологии.

Элегазовые выключатели. В нормальных условиях элегаз представляет собой инертный газ без запаха, негорючий, нержавеющий и нетоксичный. Однако при температуре выше 1000 °C элегаз разлагается на составляющие его газы, в том числе на декафторид дисера (S2F10), который очень токсичен. К счастью, продукты распада внезапно воссоединяются после того, как дуга погасла (по мере снижения температуры). В соответствии с электрической прочностью, элегаз обладает лучшими свойствами, чем вакуум. Поэтому элегаз используется в качестве изоляционного материала и дугогасящей среды. Использование элегаза позволяет изготавливать электрооборудование более компактных размеров и обеспечивает больше места для его устройства. Это является основанием для того, что примерно 50% общего объема элегаза является диэлектриком в электрических устройствах, таких как высоковольтный выключатель.

Можно предположить, что элегаз стал бы отличной дугогасящей средой для высоковольтного выключателя, если бы не был так опасен для окружающей среды. Элегаз один из самых опасных нагретых газов на планете, как это было установлено на 3-й сессии Рамочной Конференции участников ООН об изменении климата. Тот факт, что элегаз представляет особую угрозу для мирового сообщества, основан на его стабильном молекулярном составе, поскольку этот газ был неразрушим в течение 3 200 лет.

Гарантийный срок службы современных газовых и вакуумных выключателей, составляет 20–25 лет. То есть это период, после которого, как правило, все оборудование должно быть заменено.

Электрическая прочность дугогасящей среды является одной из важнейших характеристик автоматических выключателей. При этом элегаз обладает наибольшей диэлектрической прочностью, особенно при напряжении 110 кВ и выше. Дугогасящая среда вакуумных выключателей при напряжении до 110 кВ включительно не существенно уступает по электрической прочности газовым.

Если это вакуумный выключатель, то после исчерпания ресурса коммутации его необходимо заменить, так как его дугогасительная камера и контактная система не обслуживаются. После исчерпания ресурса газовый выключатель нуждается в капитальном ремонте, в ходе которого оценивается состояние выключателя и определяется возможность дальнейшей эксплуатации коммутационного аппарата.

Что касается веса выключателей, то вакуумные выключатели заметно легче газовых. Это, в свою очередь, облегчает их обслуживание.

Вакуумный выключатель не требует обслуживания дугогасящих и контактных частей, в целом он имеет более простую конструкцию по сравнению с другими выключателями, поэтому прост в обслуживании и не требует применения специализированного оборудования и инструментов.

Элегазовый выключатель имеет более сложную конструкцию по сравнению с вакуумным коммутационным устройством. Но проведение периодического технического обслуживания не вызывает сложностей, объем работ существенно не превышает объем работ с вакуумным выключателем. Единственное, что необходимо, это следить за давлением газа, а в случае его снижения, необходимо его прокачивать.

Подводя итог, можно сделать вывод, что наиболее эффективными, качественными, надежными и предпочтительными с точки зрения пожарной безопасности и экологии являются вакуумные высоковольтные

выключатели. Ведущие производители коммутационных аппаратов этого типа с каждым годом совершенствуют свою продукцию, делая ее более надежной и эффективной. Следующие 10 лет могут стать переломным моментом, ознаменованным переоснащением оборудования. Это означает повышение надежности и снижение затрат на коммутационное оборудование.

Характеристики выключателей

Параметры	Допустимые значения
Элегазовые выключатели	
Номинальное напряжение, кВ	110
Время отключения, с	0,035
Номинальный ток, А	2 500
Рабочее напряжение (максимальное), кВ	126
Максимальный ток отключения, кА	40
Пауза при АПВ, с	0,3
Ток КЗ (максимальный), кА	100
Время протекания тока КЗ, с	3
Утечка элегаза за 12 месяцев, %	0,8
Напряжение подогревательных устройств, В	220
Тип привода	Пружинный
Длина пути утечки, см	270
Масса элегаза, кг	6,3
Количество приводов	1
Масса выключателя, кг	1 700
Срок до планового ремонта, лет	12
Срок эксплуатации, лет	25
Вакуумные выключатели	
Номинальное напряжение, кВ	110
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
Номинальный ток, А	2 500…3 150
Номинальный ток отключения, кА	31,5…40
Ток термической стойкости, кА (3 с)	31,5…40
Ток электродинамической стойкости, кА	81…102
Полное время отключения, мс, не более	47
Собственное время включения, мс, не более	80
Собственное время отключения, мс, не более	32
Механический ресурс, циклов ВО	10 000
Коммутационный ресурс: при номинальных токах, циклов ВО при номинальных токах отключения, циклов ВО	 10 000 25
Масса, кг	1 324

Источники

1. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией: моногр. / Г.Е. Агафонов [и др.]; под ред. Ю.И. Вишневского. СПб..: Энергоатомиздат, 2002. 727 с.

2. Бузунов К.А. Перспективы развития коммутационной аппаратуры высокого напряжения [Электронный ресурс] // Молодёжь и наука: сб. матер. VII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, посвящ. 50-летию первого полета человека в космос. Красноярск, 2011. URL: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section20.html (дата обращения: 17.01.2021).

3. Кравченко А.Н., Метельский В.П., Рассальский А. Н. Высоковольтные выключатели // Электрик. 2006. № 9. С. 11–12.

УДК 62-519

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

И.А. Хабиров
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
super.khabirov@mail.ru
Науч. рук. Е.А. Миронова

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 силовые трансформаторы подвергаются многочисленным внешним и внутренним электромагнитным 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.

Основные методы контроля [2]:

1) осмотры – средство визуального контроля электрооборудований в процессе их эксплуатации;

2) хроматографический анализ – выполняется с помощью хроматографа в лаборатории, где анализируется состояние масла и принимается решение о дальнейшей эксплуатации трансформатора [4];

3) 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 [1].

Измерение сопротивления изоляции в процессе эксплуатации проводиться при неудовлетворительных результатах хроматографического анализа.

Перечисленные методы контроля силовых трансформаторов позволяют комплексно оценить достоверное состояние электрооборудования, что помогает своевременно выявить дефекты трансформатора связанные с качеством масла, температурным режимом, возникновением частичных разрядов. И можно прогнозировать состояние трансформатора и повысить строк его эксплуатации.

Причины и виды повреждений силовых трансформаторов [3]

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

Систему мониторинга силовых трансформаторов можно разделить на 3 уровня (см. рисунок):

1-й уровень включает датчики температуры, газосодержания и влажности;

2-й уровень состоит из блока мониторинга. На этом уровне происходит обработка сигналов I уровня и информационный обмен с III уровнем подсистемы;

3-й уровень включает рабочие станции и серверы (АРМ).

Функции мониторинга [5]:

– контроль температуры верхних слоев масла, определение длительности допустимых перегрузок;

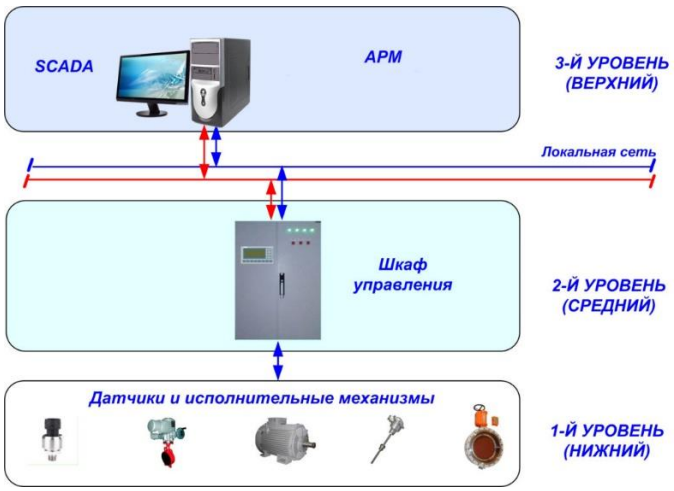
– контроль газосодержания;

– контроль влагосодержания;

– контроль текущей ступени РПН;

– контроль состояния высоковольтных вводов;

– позволяет определить степень 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 на работоспособность электрооборудования.

Источники

1. СТО 56947007-29.180.01.207-2015. Методика измерения частичных разрядов в маслобарьерной изоляции силового трансформаторного оборудования. М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2015. С. 6–7.

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. Богомолов [и др.] // Вестник ВНИИЭ. 1997. С. 25–32.

4. Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. 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.

Секция 11. ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ

УДК 628.3.477.8

ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФЕНОЛОВ МОДИФИЦИРОВАННЫМ КАРБОНАТНЫМ ШЛАМОМ

Н.Е. Айкенова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
twrpx99@mail.ru
Науч. рук. Л.А. Николаева

Рассмотрена перспектива очистки промышленных сточных вод нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности от фенолов отходом производства – модифицированным карбонатным шламом. Рассчитана экономическая эффективность применения модифицированного карбонатного шлама в виде адсорбента на примере ТОО «Актобе нефтепереработка».

Ключевые слова: адсорбция, адсорбент, сточные воды, фенолы, карбонатный шлам, доочистка сточных вод.

Соединения фенола присутствуют в сточных водах предприятий различных отраслей промышленности. Промышленные предприятия потребляют природную воду в большом объеме. Вода используется для технологических операций, приготовления растворов, необходимых для выработки продукции, нагревания и охлаждения, а также промывки технологического оборудования. При отсутствии на предприятиях системы очистки сточных вод значительно возрастает антропогенная нагрузка на окружающую среду, которая напрямую связана с деятельностью предприятия [1].

С развитием промышленности и увеличением промышленных отходов особое внимание уделяется использованию доступных сорбентов, выбор которых определяет экономическая и экологическая составляющая [2]. К таким сорбционным материалам относятся промышленные и агропромышленные отходы [3].

В последние годы сформировалось новое направление в области охраны окружающей среды – использование отходов производства и потребления в качестве материальных ресурсов, в том числе и для очистки сточных вод промышленных предприятий.

Предложена адсорбционная технология очистки сточных вод ТОО «Актобе нефтепереработка» многотоннажным отходом энергетики – шламом химводоподготовки (ХВП), образующимся при известковании и коагуляции на стадии предварительной очистки сырой воды.

Шлам ХВП – отход, который образуется на водоподготовительной установке тепловых электрических станций. Экспериментальные исследования проводились с карбонатным шламом Актюбинской ТЭЦ (влажность – 3 %). Высушенный шлам представляет собой мелкодисперсный порошок от светло-желтого до бурого цвета [4].

Рассмотрена принципиальная возможность очистки сточных вод от фенолов сорбционным материалом, разработанным на основе шлама ХВП. В ранних работах [1] определены технические характеристики и адсорбционная емкость материала по эмульгированным и растворенным нефтепродуктам нефти Шийского месторождения [4]. Технологические характеристики сорбционного материала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические характеристики сорбционного материала

Характеристика	Значение
Размер частиц, мм	0,5…2,5
Насыпная плотность, $кг/м^3$	670
Влажность, %	2,5
Удельная поверхность, $м^2/г$	64,9
Суммарный объем пор, $см^3/г$	0,84
Водопоглощение, %	1,2
Адсорбционная емкость, %:	
по йоду	7
по метилену голубому	20

Для очистки сточных вод ТОО «Актобе нефтепереработка» от нефтепродуктов и фенолов предлагается принципиальная технологическая схема (ТС) производительностью 120 $м^3/ч$ [4].

В целях реализации и функционирования новой технологии в системе охраны водной среды был произведен расчет капитальных и эксплуатационных затрат (табл. 2).

Таблица 2

Экономическая эффективность адсорбционной технологии очистки промышленных сточных вод в год

Наименование показателей затрат	Цена, тыс. руб.
Капитальные вложения для реализации технологии	1 704,8
Транспортировка материала, в год	2,7
Предотвращенный экологический эффект водоему водохранилища	674
Амортизационные отчисления	204,3
Эксплуатационные затраты	837,7
Показатель приведенных затрат	305,1
Прирост неосуществленных возможностей получения дохода	67,4
Годовая экономическая эффективность водоохранных мероприятий	741,4
Экономическая эффективность внедрения технологии очистки сточных вод	436,3

Таким образом, эффективность применения модифицированного карбонатного шлама как адсорбента составляет 1 899,9 тыс. руб. в год, а удельные затраты на 1 $м^3$ очищаемой воды адсорбентом – 3,61 тыс. руб. в год. Эффективность применения данной технологии достигает 87 %.

Источники

1. Николаева Л.А. Адсорбционная очистка промышленных сточных вод модифицированным карбонатным шламом: автореф. дис. … д-ра техн. наук. Иваново, 2017. 33 с.

2. A Review of Potentionally Low-Cost Sorbent for Heavy Metals / S.E. Bailey [et al.] // Water res. 1999. Vol. 33. Pp. 2469–2479.

3. Sulyman M., Namiesnik J., Gierak A. Low-cost Adsorbents Derived from Agricultura By-products // Pol. J. Environ. Stud. 2017. Vol. 26, Is. 2. Pp. 479–510.

4. Айкенова Н.Е., Николаева Л.А. Очистка промышленных сточных вод от фенолов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2019. № 3 (73). С. 9–18.

5. Николаева Л.А., Айкенова Н.Е. изучение механизма абсорбционной очистки сточных вод промышленных предприятий от фенолов (на примере ТОО «Актобе нефтепереработка») // Журнал Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2020. № 4 (78). С. 28–37.

УДК 620.97

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ БАТАРЕЕК

А.Д. Арсланов[1], А.А. Потанин[2], З.А. Даутов[3], И.Н. Хамидуллин[4]
[1]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]arslanovad97@gmail.com, [2]gornego.tes@gmail.com, [3]DautovZA@gmail.com,
[4]xam-ildar2001@yandex.ru.
Науч. рук. М.Ф. Садыков

Описана проблема нерационального использования энергетических ресурсов при утилизации батареек типа АА. Привлекается внимание к вопросам экологии и энергоресурсоэффективности. Представлена установка, которая позволяет заряжать аккумуляторные блоки с помощью батареек вышедших из эксплуатации, и имеет возможность демонстрации процессов передачи полезной энергии, запасенной в них.

Ключевые слова: батарейки, энергоресурсоэффективность, экология, энергия, рациональные способы утилизации.

В России ежегодно выбрасывают около 20 тыс. т батареек [1], это примерно миллиард штук в год, а во многих современных электронных устройствах все еще в качестве элементов питания используются 1,5 В батарейки типа АА. По мере использования они начинают разряжаться и когда значение напряжения опускается ниже 0,8–0,9 В, этого становится недостаточно для питания значительной части электроприборов. Как правило батарейки после этого утилизируются, однако из графика (рис. 1) можно заметить, что в них ещё остается потенциально полезная электроэнергия.

Решением возникшей проблемы является создание устройства, позволяющего извлекать остаточный ресурс батареек для последующего использования. Стенд наглядно демонстрирует, какое количество полезной энергии остается в элементах питания, отработавших свой срок нормальной эксплуатации, при их нерациональной утилизации. Основной задачей разработки является привлечение внимания общественности к идеям экологии и энергоресурсосбережения.

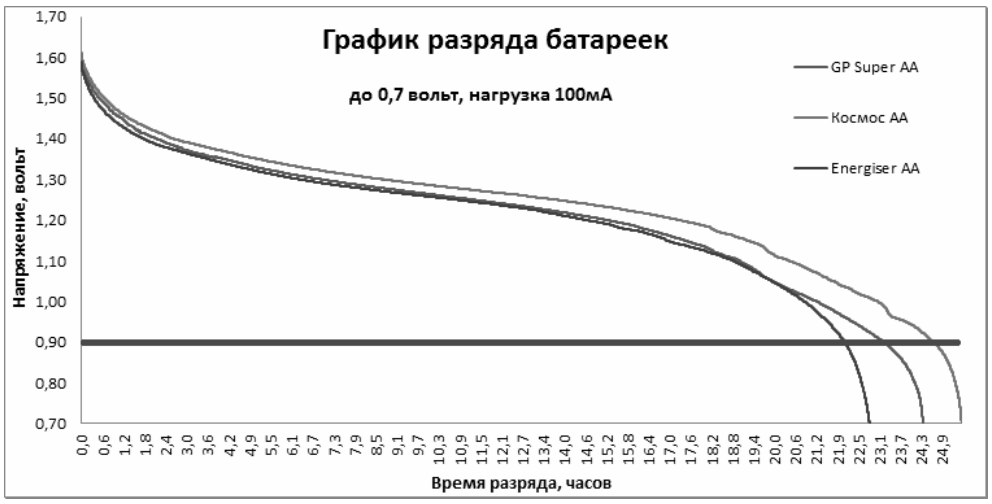


Рис. 1. График разряда АА батареек до 0,7 вольт при нагрузке 100 мА [2]

Устройство представляет собой терминал (рис. 2), имеющий несколько рядов с отсеками для полуразрядившихся батареек. Находящиеся в устройстве батарейки заряжают аккумуляторные блоки и автоматически выталкиваются из своих ячеек в момент полного разряда. Предполагается возможность вывода данных о состоянии уровня заряда питающих элементов на дисплей в виде графиков, анимации разряда батарей и заряда аккумуляторов. Оснащение стенда использованными батарейками возможно в ручном режиме, когда они помещаются в отсеки человеком или в полуавтоматическом, когда происходит складывание батарей в магазины, а замена содержимого отсеков производится механизмом.

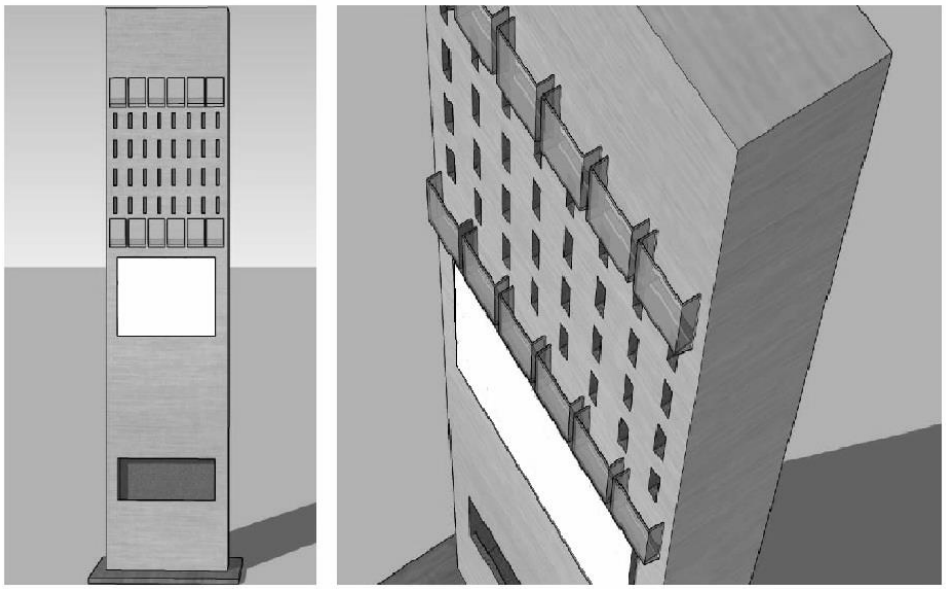


Рис. 2. Общий вид установки

Предлагаемое устройство предоставляет возможность сохранить оставшуюся энергию и заряжать старыми батарейками, уже непригодными в бытовых устройствах, аккумуляторные блоки 4,2 В.

Источники

1. «Как в России утилизируют батарейки» [Электронный ресурс]. URL: https://rg.ru/2019/11/18/reg-cfo/kak-v-rossii-utiliziruiut-batarejki.html (дата обращения: 20.02.2021).

2. «Тест батарей типа AA» [Электронный ресурс]. URL: http://www.cleon.ru/ test-AA-batteries.php (дата обращения: 25.02.2021).

УДК 628.16.067.1

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ОБРАТНООСМАТИЧЕСКОГО КОНЦЕНТРАТА НА ТЭС

Н.П. Ильин
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
ilyinkolya.01@mail.ru
Науч. рук. Л.А. Николаева

Современное развитие мировой энергетики, требует применение большого количества ресурсов, в том числе и водных. Вода на ТЭС используется как теплоноситель. Все производства или технологии требуют получения воды определенного качества. Развитие теплоэнергетики требует совершенствования технологий по подготовке воды. Также требования к водоотведению с каждым годом только возрастают. Поэтому, с целью получения оптимальных схем, задачу водоподготовки нужно осуществлять в комплексе с вопросом очистки и утилизации образующихся загрязненных сточных вод. Решение поставленной задачи возможно осуществить путем применения безреагентных методов очистки.

Обратный осмос – это процесс мембранного разделения жидких смесей путем преимущественного проникновения через полупроницаемую мембрану растворителя под действием приложенного к раствору давления, превышающего его осмотическое давление. В последнее время произошло много различных изменений в оптимизации технологии работы и режимов эксплуатации установок обратного осмоса.

Ключевые слова: обратный осмос, утилизация, адсорбционная технология.

Мембранные технологии применяются для подготовки добавочной воды на ТЭС с парогенераторами сверхвысоких и высоких давлений, используя при этом различные методы, например: микрофильтрация, нанофильтрация, обратный осмос. На данный момент на ТЭС имеются различные решения по утилизации концентрата после обратноосматических установок:

– подача обратноосматичекого концентрата в тепловую сеть или возврат в оборотные системы;

– сброс обратноосматического концентрата в промышленнную канализацию с соблюдением норм солесодержания, при условии его дальнейшего использования;

– максимальное сокращение объемов сброса обратноосматического концентрата, например для регенерации Na-катионитовых фильтров, предвключенных перед обратноосмотической установкой. Реагентная обработка, как наиболее распространенный метод очистки сточных вод, не обеспечивает достижение значений солесодержания для возврата воды в производство. Это приводит к образованию больших объемов сильно засоленных сточных вод с повышенной жесткостью и минерализацией до 15 г/л, что не позволяет не только вернуть их в оборотный цикл, но и сбросить в городскую канализацию. В многочисленных работах подчеркивается необходимость сокращения расхода воды на собственные нужды. Один из таких способов заключается в использовании перед установкой обратного осмоса нанофильтрации. В результате съем с обратно-осмотического мембранного элемента позволяет достигать 80–90 %, что существенным образом позволяет экономить воду.

На установке обратного осмоса рекомендуется применять мембранный элемент с открытым каналом, поскольку это позволит снизить риск образования застойных зон, и следовательно снизить скорость образования осадков, повысить выход фильтрата. Дальнейшее изучение данного вопроса позволило разработать технологию утилизации концентрата, суть которой заключается в применении адсорбционной технологии очистки солевых сточных вод и концентрата установок обратного осмоса от сульфатов и хлоридов многотоннажным отходом энергетики – шламом химводоподготовки, образующимся на стадии предварительной очистки сточных вод.

Шлам химводоподготовки (ХВП) – отход энергетики, который образуется на стадии предварительной очистки природной сырой воды при коагуляции и известковании. Экспериментальные исследования проводились с карбонатным шламом Казанской ТЭЦ-1. Фазовый анализ шлама

показал следующий химический состав: кальцит $CaCO_3$ – 73 %, брусит $Mg(OH)_2$ – 8 %, портландит $Ca(OH)_2$ < 1 %, кварц SiO_2 – 0,4 %, остальные прочие вещества – 17,6 %.

На многих промышленных предприятиях встает вопрос переработки солевых сточных вод после обратного осмоса и химического обессоливания. Имеющиеся на данный момент технологии очистки являются весьма громоздкими с большими затратами.

В табл. 1 приведен качественный состав усреднённого стока химического обессоливания: солесодержание исходной воды (*S*) – 5 мг-экв/дм^3; собственные нужды – 10 %; удельный расход реагента – 2 мг-экв/мг-экв [1].

Таблица 1

Состав усредненного стока

Наименование	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	*S*	pH
Содержание, мг/дм^3	20	10	103	3	120	10	9 100	9

В ранних работах [2] карбонатный шлам рассматривается как сорбционный материал для очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов тяжелых металлов Fe^{3+}, Cr^{3+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, Ni^{2+}.

Здесь рассматривается возможность очистки засоленной сточной воды и обратноосмотического концентрата от сульфат- и хлорид-ионов карбонатным шламом ХВП. Ранее экспериментально была определена адсорбционная ёмкость шлама по отношению к этим анионам, были построены изотермы адсорбции сульфат- и хлорид-ионов, также было показано влияние pH на адсорбцию сульфат- и хлорид-анионов [3].

Изотермы адсорбции сульфат- и хлорид-ионов относятся к H-типу по классификации Смита и описывают протекание хемосорбции. Высокие значения энтальпии адсорбции можно интерпретировать как образование прочной связи между сульфатными и хлоридными анионами и функциональными группами осадка. Такое образование прочных связей объясняется протеканием следующей химической реакции:

$$3SO_4^{2-} + CaCO_3 \times MgCO_3 \times Mg(OH)_2 + H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow CaSO_4 + 2MgSO_4 + 2CO_2\uparrow + H_2O$$

На практике для очистки опресненных сточных вод на промышленных предприятиях используются ионообменные фильтры с гранулированной загрузкой. Адсорбция в динамических условиях имеет большие технологические, эксплуатационные и экономические преимущества перед адсорбцией в статических условиях. Адсорбция в динамических условиях позволяет более полно использовать емкость сорбента. Поэтому на основе мелкодисперсного ила был разработан гранулированный сорбционный материал.

Для получения гранул мелкодисперсный шлам с размером частиц от 0,01 до 0,09 мм смешивают с жидким натриевым стеклом в массовом и объемном соотношении 2:1 соответственно. При меньшем соотношении происходит неполная пропитка шлама жидким натриевым стеклом, при большем – происходит вымывание связующего. При последующем обжиге гранулы разрушаются. Затем смесь доводят до однородной массы, гранулы окатывают вручную, высушивают. Характеристики полученного гранулированного сорбционного материала (ГСМ):

– адсорбционная ёмкость: по сульфатам – 130 $мг/г$, по хлоридам – 116 $мг/г$;

– суммарный объём пор – 0,592 $см^3/г$;

– удельная поверхность – 46,2 $м^2/г$.

Для промышленных процессов наиболее важным является адсорбция загрязняющих веществ в динамических условиях.

Процесс динамической адсорбции сульфатов и хлоридов гидрофобным сорбционным материалом фракции 0,5–2,5 мм исследовали на лабораторной установке, представляющей собой стеклянную фильтровальную колонку диаметром 2,5 см. Концентрация модельных растворов Na_2SO_4 и NaCl составляет 300 $мг/дм^3$.

Высота загрузочного слоя равна 20 см, масса адсорбирующего материала – 54,38 г, скорость фильтрации – 3,5 $м/ч$. Равные объемы модельных растворов пропускаются через загрузку ГСМ порциями по 1 $дм^3$. Проскок сульфатов зафиксирован на уровне 20 $мг/дм^3$, который появляется в фильтрате при пропускании 120,6 $дм^3$ раствора. Полное насыщение сорбционного материала происходит при пропускании 162,3 $дм^3$ раствора.

Процесс хемосорбции прекращался при достижении концентрации сульфатов в фильтрате значений исходной концентрации на входе в фильтр.

Аналогичный эксперимент был проведен с модельным раствором NaCl, только проскок через хлорид-ионы зафиксирован на уровне 10 мг/дм^3 при прохождении 240,4 дм^3 смеси. Полное насыщение «горюче-смазочными материалами» в процессе хемосорбции при трансмиссии 292,3 дм^3 было остановлено, когда концентрация хлорид-ионов достигла значений исходной концентрации на входе в фильтр.

По уравнению Шилова [4] (τ – время защитного действия слоя, ч; K – коэффициент защитного действия слоя, ч/м; L – высота слоя, м; τ_0 – потеря внешнего защитного действия слоя, ч):

$$\tau = K \cdot L - \tau_0$$

рассчитано время и коэффициент защитного действия слоя загрузки при адсорбционной очистке от сульфат- и хлорид-ионов в динамических условиях:

– для сульфат-анионов: τ = 69,2 ч, K = 354,8 ч/м;

– для хлорид-анионов: τ = 130,4 ч, K = 707,3 ч/м.

«ГСМ» не привносит вторичного загрязнения водным раствором. С этой целью определены показатели качества фильтрата при пропускании воды через загрузку «ГСМ», которые соответствуют нормам ПДК веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (СанПин 2.1.4.10749-01) (табл. 2).

Таблица 2

Показатели качества фильтрата при пропускании воды через загрузку «ГСМ»

Объём пропущенной воды, дм^3	$Ж_{общ}$, $\frac{мг\text{-}экв}{дм^3}$ $\left(ПДК \le 7\ \frac{мг\text{-}экв}{дм^3}\right)$	$Щ_{общ}$, $\frac{мг-экв}{дм^3}$	$Ж_{общ}$, $\frac{мг}{дм^3}$ $\left(ПДК < 0{,}3\frac{мг}{дм^3}\right)$	Кремний, $\frac{мг}{дм^3}$ $\left(ПДК \le 10\frac{мг}{дм^3}\right)$
Исходная вода	2,21	1,51	0,16	0,31
0,2	2,22	5,87	1,72	1,25
0,4	2,22	4,11	0,92	1,25
0,6	2,21	1,22	0,28	1,21
1,0	2,21	1,11	0,16	1,21
10,1	2,22	1,12	0,15	0,8

Проведено биотестирование водной вытяжки «ГСМ» на острую токсичность для рыб Poecillia reticulate Pet. и ракообразных Paphnia magna Str. Полученные результаты подтверждают, что «ГСМ» относится к V классу опасности для окружающей среды.

Таким образом, проведено изучение адсорбционных процессов очистки обратноосмотическим концентратом от сульфат- и хлорид-ионов карбонатным шламом в статических и динамических условиях.

Источники

1. Пещерова О.В., Попов Н.С. Способ повышения энергоэффективности обратноосмотической установки, используемый в процессах обессоливания воды // Успехи в химии и химической технологии. 2014. Т. 28, № 4 (153). С. 86–90.

2. Лупейко Т.Г., Баян Е.М., Горбунова М.О. Исследование техногенного карбонатосодрежащего отхода для очистки водных растворов от ионов никеля (II) // ЖПХ. 2004. Т. 77, № 1. С. 87–91.

3. Николаева Л.А., Бородай Е.Н., Голобчуков М.А. Сорбционные свойства шлама осветлителей при очистке сточных вод электростанций от нефтепродуктов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. № 1–2. С. 132–137.

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: ООО ТИД «Альянс», 2008. 750 с.

УДК 628.31

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИМИ ГИДРОЦИКЛОНАМИ

М.И. Ламскова[1], М.И. Филимонов[2], К.В. Черикова[3]
[1,2,3]ФГБОУ ВО «ВолгГТУ», г. Волгоград
[2]ФГБНУ «ВНИИОЗ», г. Волгоград
lamskov@yandex.ru

Предлагается усовершенствовать типовую конструкцию гидроциклона фильтрующим элементом, что позволит повысить такой показатель, как степень очистки от тонкодисперсных и илисто-глинистых примесей, без снижения производительности аппарата.

В результате лабораторных опытов установлено, что степень очистки воды при использовании фильтрующего гидроциклона составляет 96 %, что на 10 % выше данного показателя стандартного аппарата.

Совмещение процессов центробежного разделения и многослойного фильтрования в аппарате предлагаемой конструкции обеспечивает эффективное

удаление из воды примесей, различных как по природе происхождения, так и по фракционному составу, что позволяет отказаться от традиционных многостадийных схем очистки воды систем оборотного водоснабжения, повысить технологичность и экологичность процесса водоподготовки.

Ключевые слова: оборотное водоснабжение, фильтрующий гидроциклон, дисперсная фаза.

Гидромеханические процессы разделения неоднородных систем составляют основу многих производств химической, нефтехимической, угольной, горнорудной и других отраслей промышленности. Также процессы, направленные на удаление дисперсной фазы и растворенных примесей из воды являются неотъемлемой частью систем оборотного водоснабжения, так как при многократном прохождении оборотной воды по замкнутому контуру «теплообменный аппарат – градирня – теплообменные аппараты», в нее попадают различные механические примеси, которые отлагаются на теплопередающих поверхностях, что приводит к резкому снижению коэффициента теплоотдачи. Оптимально подобранные ресурсоэффективные технологии очистки воды замкнутых циклов водоснабжения позволяют обеспечить экономное расходование сырья, минимизировать поступление со сбросными водами загрязняющих компонентов в источники водоснабжения [1].

Основными загрязняющими компонентами вод замкнутых циклов предприятий являются продукты разрушения технологического оборудования из-за воздействия водной среды. Кроме того, при многократном использовании воды в технологических процессах в ней накапливается большое количество тонкодисперсных шламов и илисто-глинистых частиц.

Наиболее часто на предприятиях системы замкнутого водоснабжения в качестве узлов водоочистки содержат различного типа отстойники, в том числе с тонкослойными полочными элементами, в комбинации с применением реагентных методов и фильтрации. Данные способы требуют значительных производственных площадей и капитальных затрат, а химические методы связаны с контролем за остаточным содержанием реагентов в осветленной воде и снижают показатели экологичности производства. Также физико-химические методы, как правило, сопряжены с увеличением показателя солесодержания очищенной воды, что затрудняет ее повторное использование [2]. Фильтрационный способ получил достаточно широкое распространение для осветления воды благодаря интенсивности процесса и высоким показателям эффективности удаления

примесей, однако данное оборудование имеет высокую стоимость изготовлении и эксплуатации, требует очистки и периодической замены фильтровальных материалов. Также фильтрации редко находит применение как самостоятельный метод, чаще реализуется в комбинации с отстаиванием и физико-химической очисткой, что приводит к многостадийности процесса водоочистки.

В связи с этим совершенствование технологических процессов водоочистки систем оборотного водоснабжения с целью повышения эффективности очистки от примесей различного фракционного состава, разработка новых конструкций сепарационных устройств, отвечающих требованиям энергоэффективности и экологичности, является задачей, непосредственно связанной с дальнейшим развитием многих отраслей промышленности.

Решение поставленной научной проблемы возможно путем применения в конструкции оборудования совмещенных процессов, ориентированных на разные по физической природе движущие силы, что позволит значительно увеличить степень очистки воды и сократить энергозатраты на ее осуществление, более рационально использовать природные ресурсы, оптимизировать производственные площади, и, соответственно, повысить экономичность производства за счет интенсификации протекающих процессов и использования малоэнергоемких аппаратов [3].

Интенсифицировать процесс водоочистки можно за счет использования центробежного поля. Гидроциклоны нашли самое широкое распространение за счет отсутствия движущихся частей, простоты конструкции и компактности, не высокой стоимости, удобства в эксплуатации, высокой производительности, малого потребления электроэнергии. Для очистки воды, содержащей в основном мелкодисперсные частицы, рекомендуется применять гидроциклоны малого размера с диаметром цилиндрической части не более 75 мм. Диаметр цилиндрической части гидроциклона предопределяет количественные и качественные показатели его работы – с его увеличением растет производительность, однако, качественные показатели работы ухудшаются. Нами предлагается дополнить конструкцию гидроциклона фильтрующим элементом – трубофильтром, что позволит повысить такой показатель, как степень очистки от тонкодисперсных и илисто-глинистых примесей, без снижения производительности аппарата (рис. 1, 2) [4].

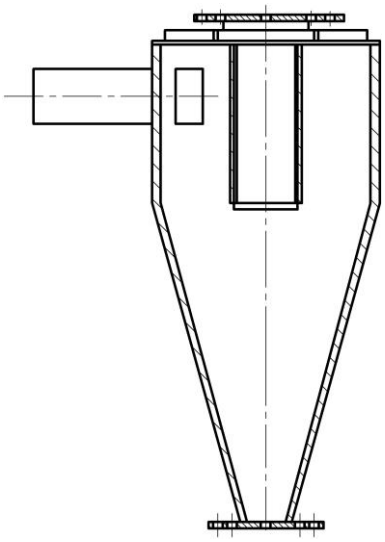


Рис. 1. Схема фильтрующего гидроциклона

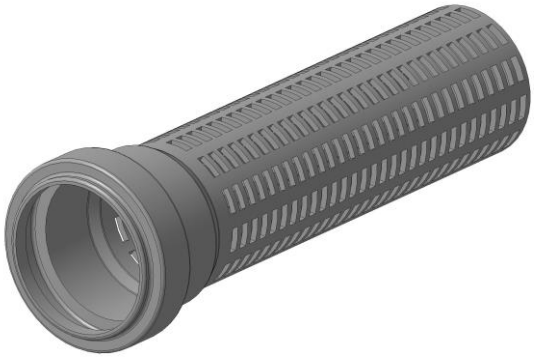


Рис. 2. Трубофильтр

Трубофильтр монтируется на сливной патрубок, причем глубина его погружения равна длине цилиндрической части гидроциклона, что способствует увеличению плотность продукта пескового патрубка. Фильтрующий элемент состоит из внутреннего и наружного слоев сетчатого опорного каркаса, между которыми расположена фильтровальная перегородка. Фильтровальные перегородки, выполненные в виде сетки из гладких полимерных мононитей, обладают высокой задерживающей способностью, незначительным гидравлическим сопротивлением, способны сохранять проницаемость при многократном фильтровании. Опорный каркас выполнен из стекловолокон, обработанных эпоксидным компаундом, что в максимальной степени противодействует налипанию (адгезии) микрочастиц на фильтрующем элементе, а многослойность конструкции способствует повышению степени извлечения тонкодисперсных примесей. Кроме того, удельный вес стеклопластика в 3,5 раза меньше, чем металла, что уменьшает вес всего аппарата в целом.

Диаметр ячейки сетки трубофильтра варьируется в зависимости от типа и количества примесей в воде.

Лабораторные испытания предложенной конструкции фильтрующего гидроциклона проводились на модельной водной суспензии с невысоким содержанием твердой фазы (5–15 $г/л$). В качестве механических примесей использовался речной песок с номинальным диаметром частиц 150–600 мк и плотностью 1 300–1 500 $кг/м^3$.

В результате установлено, что степень очистки воды при использовании фильтрующего гидроциклона составляет 96 %, что на 10 % выше данного показателя стандартного аппарата (86 %).

Вода циркуляционных систем различных предприятий значительно отличается как по качественному составу механических и коллоидных примесей, так и по количественным показателям. В зависимости от исходных показателей загрязненной воды и требований к качеству ее очистки конструкция трубофильтра может меняться, например, увеличено количество фильтровальных перегородок до двух в случае высоких значений содержания тонкодисперсных включений. При необходимости извлечения из воды не только мелкодисперсных взвесей, но и токсичных примесей и растворённых солей, возможно дополнение фильтрующего элемента фильтровальной глауконитовой загрузкой, расположенной между двумя фильтровальными перегородками [5].

Представленные конструкции гидроциклонных аппаратов благодаря совмещению процессов центробежного разделения и фильтрования обеспечивают высокие показатели эффективности извлечения различных примесей из воды, позволяют отказаться от многостадийных схем процесса водоочистки, отвечают принципам экологичности и ресурсоэффективности, могут быть использованы в системах циркуляционного водоснабжения предприятий.

Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации МК-2289.2020.8.

Источники

1. Наумов С.В., Мухутдинов А.А., Сольяшинова О.А. Экологизация технологий оборотного водоснабжения // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 1. С. 208–211.

2. Селицкий Г.А., Уласовец Е.А., Ермаков Д.В. Технология очистки промышленных и ливневых сточных вод для использования в оборотной системе водоснабжения горнометаллургического предприятия // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2008. № 4. С. 57–69.

3. Аппаратурное оформление совмещённых процессов в технологии водоподготовки / В.В. Бородычев [и др.] // Новые технологии. 2020. Т. 16, № 5. С. 55–62.

4. Гидроциклон: п. м. 158008 Рос. Федерация № 2015118366/05; заявл. 15.05.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

5. Устройство водоподготовки: пат. 2600142 Рос. Федерация № 2015122343/05; заявл. 10.06.2015; опубл. 20.10.2016, Бюл. 29.

УДК 662.769.2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОРОДА КАК ТОПЛИВА И НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

В.В. Лесюкова
БНТУ, г. Минск
ms.lesyukova@mail.ru
Науч. рук. Д.А. Лапченко

Рассмотрены преимущества водородного топлива как прогрессивной и экологически чистой составляющей энергетики будущего, его виды и формы хранения.

Ключевые слова: водород; топливо; экология; возобновляемые источники энергии

Водородное топливо – одно из самых амбициозных молодых направлений в мировой энергетике. Главные его преимущества – экологичность и абсолютная возобновляемость. Водород имеет все возможности стать универсальным топливом во всех сферах энергетического сектора.

Однако говорить об абсолютной экологической чистоте водорода нельзя: хотя сам газ и является наилучшей альтернативой ископаемому топливу по количеству выбросов, способы его добычи являются отнюдь не самыми «чистыми» (рис. 1) [1].

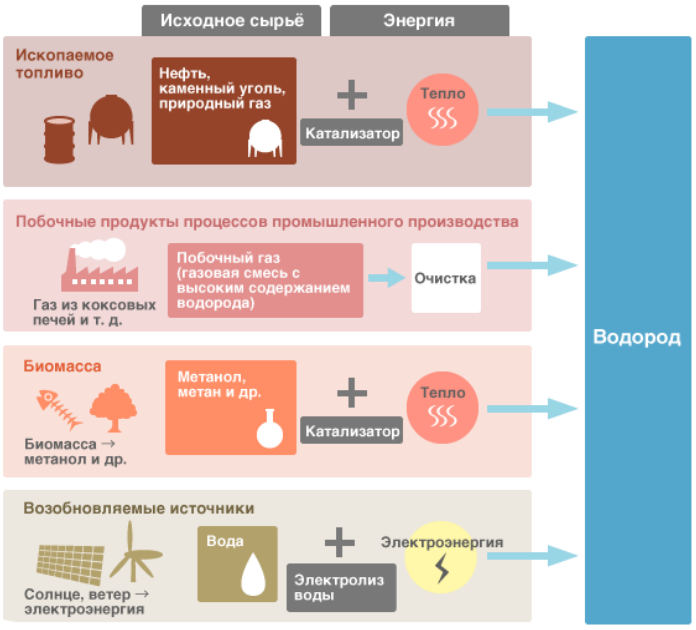


Рис. 1. Способы получения водорода

Итак, полученный водород бывает трех видов:

1. «Серый» – углеродный след водорода, произведенного при помощи паровой конверсии метана (SMR), представляется в пропорции 10 кг CO_2 на 1 кг H_2. Таким образом, данный вид водородного топлива, в зависимости от начального сырья (газ, уголь) либо сопоставим с природным газом по эмиссии углеводорода, либо имеет данный коэффициент, увеличенный в 2,5 раза, что полностью перекрывает положительные качества водородного топлива как экологически чистого. Единственный плюс – экономическая выгода. «Серый» водород на сегодняшний день является самым дешевым видом топлива. Его себестоимость составляет всего 1-2 доллара за килограмм в зависимости от цены газа или угля.

2. «Голубой» – вид водородного топлива, схожего по производству с «серым». Единственное отличие заключается в усовершенствованной технологии SMR, а именно в комбинированном процессе получения «серого» водорода и улавливания и хранения углекислого газа (CCS). Однако совмещение данных технологий, увеличивает капитальные затраты SMR до 87 %, а операционные затраты – до 33 %. Таким образом, себестоимость «голубого» водорода возрастает до 1,8 евро за килограмм, при этом добавляются издержки по утилизации собранного CO_2 – до 70 евро за тонну углекислого газа.

3. «Зеленый» водород в отличие от «серого» и «голубого», производится при помощи электролиза при помощи энергии, получаемой от возобновляемых источников. Данное условие является основополагающим: в случае потребления электроэнергии из общей энергосистемы, происходит возрастание углеродного следа, отчего водород имеет вид «серого», но никак не «зеленого». Таким образом, главным преимуществом данного вида топлива является абсолютная экологическая чистота как при производстве, так и при потреблении.

Возможность хранения водорода в качестве энергоносителя в краткосрочной и долгосрочной перспективе является весомым преимуществом данного вида топлива. Технология физического хранения – наиболее распространенный способ. Водород может находиться в сжатом виде, охлажденном или их комбинации при температурах от –250 до 15 °C и давлении от 0,6 до 70 МПа (рис. 2).

Выше приведенные состояния водорода зависят от выбранного способа физического хранения. Каждый вид хранения имеет свои положительные и отрицательные аспекты (см. таблицу) [2, 3].

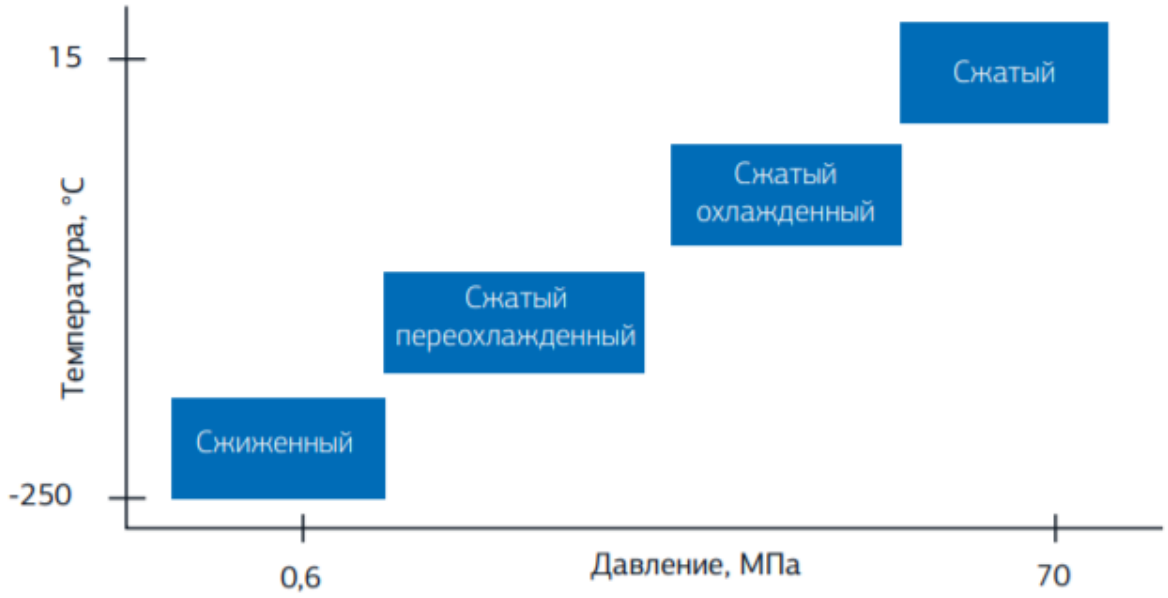


Рис. 2. Состояния водорода при его хранении

Характеристика способов физического хранения водорода

Состояние водорода	Место хранения	Важнейшие факторы
Сжатый	Баки электромобилей на топливных элементах	– при хранении в баках главнейшим фактором является высокое давление, которое приводит к увеличению массы из-за утолщения стенок и стоимости
	В промышленных масштабах в соляных пещерах, выработанных нефтегазовых месторождениях, водоносных горизонтах	– подземное хранение водорода находится на ранней стадии освоения
Охлажденный сжатый	Баки электромобилей на топливных элементах	– сокращение массы емкостей до 50 %; – удешевление используемой технологии в сравнении с сжатым видом; – общая высокая стоимость из-за энергозатрат
Сжиженный	Баки электромобилей на топливных элементах	– малая концентрация водорода в общем объеме жидкости; – потери водорода из-за большой разницы температур с окружающей средой; – высокие энергозатраты в связи со сжижением водорода (около 20–30 % энергоемкости водорода)

Таким образом, водород является уникальным возобновляемым ресурсом, из чего следует неизбежное развитие водородной энергетики. Водородное топливо является наиболее эффективным способом декарбонизации энергетического сектора, борьбы с глобальным изменением климата и перехода к устойчивой экономике, не зависящей от ископаемых топливных ресурсов.

Источники

1. «Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию» [Электронный ресурс]. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Hydrogen-economy_Rus.pdf (дата обращения: 07.03.2021).
2. “Hydrogenious LOHC” [Электронный ресурс]: сайт. URL: https://www.hydrogenious.net/index.php/en/hydrogen-mobility-applications-3/#anchor _application_sector (дата обращения: 07.03.2021).
3. “European Clean Hydrogen Alliance” [Электронный ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-clean-hydrogen-alliance_en (дата: 08.03.2021).

УДК 628.3

СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИОННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ КАРБОНАТНЫМ ШЛАМОМ

Д.Р. Мансуров[1]
[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]mansurov.dan@yandex.ru, [2]imreginaiskh@gmail.com
Науч. рук. Р.Я. Исхакова[2]

Рассмотрены способы очистки сточных вод от анионных синтетических поверхностно-активных веществ. Особое внимание уделено методу адсорбции отходами производства. Исследована возможность адсорбционной очистки сточных вод от анионных синтетических поверхностно-активных веществ с использованием шлама водоподготовки в качестве сорбционного материала. Установлена сорбционная способность карбонатного шлама по отношению к исследуемым примесям.

Ключевые слова: СПАВ, сточные воды, очистка, методы, адсорбция, отходы теплоэнергетики, карбонатный шлам.

Синтетические поверхностно-активныевещества (СПАВ) находят широкое применение в промышленности и в быту в качестве моющих средств. Попадая со сточными водами в водоемы, они вызывают вспенивание, ухудшают органолептические свойства воды, нарушают процессы обмена кислорода, токсически действуя на фауну [1].

СПАВ обладают пенообразующей способностью. Однако при высокой концентрации СПАВ высокая пенообразующая способность препятствует процессу очистки воды, а также негативно влияет на тепломассообмен водоёма с атмосферой. При попадании СПАВ в воду на ее поверхности образуется слой пены, который снижает поступление кислорода из воздуха в воду (на 15–20 %), замедляет осаждение и разложение взвесей, процессы минерализации органических веществ, и тем самым ухудшает процессы самоочищения и т. д. [2].

Для очистки сточных вод с невысоким содержанием СПАВ применяются:

– метод адсорбции на активных углях;

– методы с использованием ионообменных смоли полимерных адсорбентов;

– методы обратного осмоса;

– биохимические методы очистки (биоокисление и биосорбция); флокуляция;

– методы электрокоагуляции;

– метод озонирования и т. д.

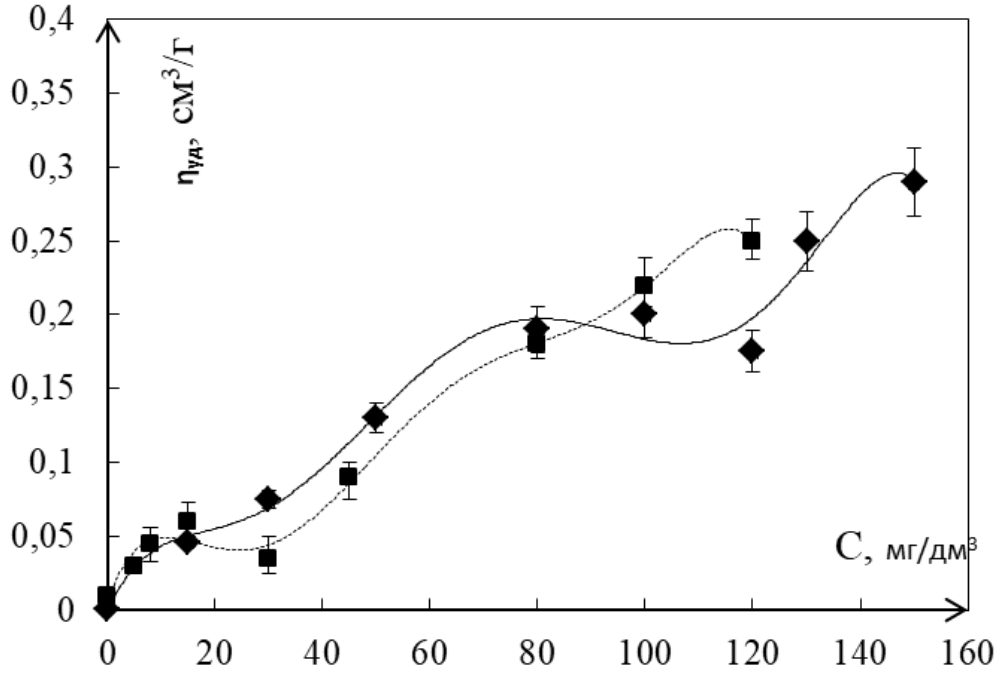
Адсорбция является перспективным методом в связи с высокой эффективностью очистки сточных вод. В случае использования активных углей возникает проблема регенерации дорогостоящих сорбентов. Поэтому в настоящее время проводятся работы в области исследования свойств отходов производства для использования их в качестве сорбционных материалов, так как они являются доступными и дешевыми, при этом могут характеризоваться высокой эффективностью.

В настоящее время на ТЭЦ на стадии предварительной очистки воды образуется карбонатный шлам, который является отходом и вывозится на шламонакопители. Это приводит к отчуждению земель и загрязнению окружающей природной среды. Поэтому разработка способов рационального вторичного использования подобных отходов является актуальной задачей.

В данной работе описывается использование шлама водоподготовки в качестве сорбционного материала.

В ранних работах [3] установлена высокая сорбционная способность по отношению к фенолам, аммонийному азоту, органическим примесям, нефтепродуктам и др. В качестве анионных СПАВ (АСПАВ) в работе исследован сульфонол, который присутствует в сточных водах нефтехимических производств. Исследованы сточные воды ПАО «Нижнекамскнефтехим». Для модельных растворов с АСПАВ сульфонолом определялась критическая концентрация мицеллообразования (ККМ), при которой в растворе образуются устойчивые мицеллы (см. рисунок).

Так как в сточных водах предприятия АСПАВ составляли 30 $мг/дм^3$, что совпадает с установленным значением ККМ сульфонола в сточных водах, то дальнейшие исследования проводились с использованием реальных сточных вод.



Зависимости изменения значения удельной вязкости от концентрации сульфонола:
♦ и ■ – данные, полученные для модельных растворов и реальных сточных вод

Была исследована сорбционная способность шлама по отношению к сульфонолу, равная 120 $мг/дм^3$. Построенная изотерма сорбции сульфонола на карбонатном шламе соответствует теории Ленгмюра об образовании мономолекулярного слоя на поверхности сорбента.

Полученные результаты говорят о том, что данный способ может быть использован для очистки промышленных и хозяйственно-бытовых сточных сточных вод, будет способствовать снижению как антропогенной нагрузки на водоем, так и затрат на очистку сточных вод.

Источники

1. Комарова Л.Ф., Кормина Л.А. Инженерные методы защиты окружающей среды. Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: учеб. пособие. Барнаул: Алтай, 2000. 395 с.

2. Колесников А.В. Роль поверхностно-активных веществ в электрофло-ационном процессе извлечения гидроксидов и фосфатов меди, никеля и цинка // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49, № 1. С. 3.

3. Николаева Л.А., Исхакова Р.Я. Экологические аспекты утилизации твердых промышленных отходов: моногр. М., 2015. 120 с.

УДК 620.9

ПОВЫШЕНИЕ ВЫХОДА БИОГАЗА ПРИ СБРАЖИВАНИИ КОНСКОГО НАВОЗА

Г.Г. Сафина, В.А. Клочкова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
klochkova.valentinka@mail.ru

Огромное количество плохо хранящегося сырого помета и навоза, образующегося на крупных животноводческих и птицеводческих комплексах, а также неочищенные животноводческие стоки являются мощным источником загрязнения окружающей среды и представляют угрозу населению. При этом данный вид отходов является потенциальным вторичным сырьем, из которого можно извлечь дополнительную пользу.

Экспериментально определены наиболее подходящие виды и количество пищевых и сельскохозяйственных отходов для ускорения процесса получения биогаза из конского навоза, что несомненно положительно повлияет на еще более активное внедрение систем биогазовой энергетики.

Ключевые слова: биогаз, навоз, пищевые отходы, субстрат, биомасса, сбраживание.

Биогазовые технологии позволяют наиболее рационально и эффективно конвертировать энергию химических связей органических отходов в энергию газообразного топлива и высокоэффективных органических удобрений, применение которых, в свою очередь, позволит существенно снизить производство минеральных удобрений, на получение которых расходуется до 30 % электроэнергии, потребляемой сельским хозяйством [1].

В лабораторных условиях были проведены эксперименты по определению приемлемого состава субстрата, повышающего выход биогаза. Экспериментальная установка (см. рисунок) представляла собой пластиковые сосуды, погруженные в водяную баню, нагретую до 35–40 °С, на 60–70 %, в каждый из которых в определенных различных соотношениях помещался биоэнергетический субстрат.



Биогазовая установка

Все сосуды были закрыты пластмассовыми пробками и загерметизированы воском во избежание контакта биомассы с воздухом (с целью обеспечения протекания реакции разложения биомассы в анаэробных условиях). К каждому сосуду подсоединялась индивидуальная инфузионная система с иглой. Игла проникала в пробку емкости, а другая сторона системы помещалась в перевернутый цилиндр, до упора заполненный водой [2].

Эксперименты проводились в психрофильном режиме (при температуре ≈ 30–40 °С) и периодическом встряхивании сосудов с биоэнергетическими субстратами (табл. 1).

Основным компонентом биомассы выступал конский навоз. В качестве добавок были использованы картофельные, морковные, свекольные и мандариновые очистки. С целью обеспечения биохимического равновесия в ряде экспериментов в качестве нейтрализующих веществ были использованы мел и яичная скорлупа. Мониторинг выхода биогаза проводился в течение 37 дней.

Таблица 1

Состав экспериментально исследованных образцов биомассы

Состав субстрата, г		
Навоз – 50; Вода – 100	Навоз – 50; Скорлупа – 25; Вода – 100	Навоз – 50 Корки мандарина – 3; Морковные очистки – 2; Вода – 100
Содержание сухого вещества, г		
36,93	61,58	38,18
Состав субстрата, г		
Навоз – 50 Корки мандарина – 5; Морковные очистки – 5; Картофельные очистки – 5; Скорлупа – 10; Вода – 100	Навоз – 50 Корки мандарина – 10; Мел – 2; Вода – 100	Навоз – 50; Солома – 2; Скорлупа 5; Картофельные очистки – 5; Вода – 100
Содержание сухого вещества, г		
49,95	42	42,71

Результаты экспериментального исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальные данные по выходу биогаза в лабораторной установке

День	Выход биогаза на 1 кг сухого вещества, $дм^3$					
	Субстрат 1	Субстрат 2	Субстрат 3	Субстрат 4	Субстрат 5	Субстрат 6
0	0	0	0	0	0	0
4	0	0,016	0,812	4,825	0,238	0,023
7	0,271	0	2,357	0	0,714	0
10	0,569	0,016	2,907	0,581	1,905	0,023
13	1,083	0,16	2,881	0,781	5,714	0,117
16	1,354	0,487	0	1,221	0,191	0,187
19	1,354	0,65	0	0,821	0,191	0,187
22	1,625	1,137	0	1,201	0,191	0,234
25	2,654	1,267	0	1,205	0,191	4,683
28	3,249	1,267	0	1,401	0,191	0
31	4,333	1,705	0	1,401	0,191	0
34	5,687	2,095	0,524	1,401	0,191	0
37	3,385	2,923	0,786	1,241	0,191	0
0–10	0,84	0,032	6,076	5,406	2,857	0,046
0–19	4,631	1,329	8,957	8,229	8,953	0,537
0–37	25,564	11,723	10,267	16,079	10,099	5,454

Из экспериментальных данных видно, что при моносбраживании конского навоза выделение биогаза начинается примерно через неделю и достигает своего максимума на 34-е сутки, затем начинается снижение его выхода.

Время пребывания биомассы в реакторе выбирают в зависимости от температуры сбраживания и состава сырья [3]. При мезофильном режиме, являющемся наиболее оптимальным по энергозатратам и благоприятным по отношению к бактериям, чувствительным к перепадам температур, сбраживание биомассы проводят в течение 10–20 суток.

С учетом данного факта мы видим, что моносбраживание конского навоза не привело к значительному выходу биогаза за заданный промежуток времени (примерно 20 суток).

Добавление большого количества скорлупы (субстрат 2) снижает выход биогаза, что можно объяснить торможением гидролизирующей и кислотообразующей фаз за счет повышения pH среды выше оптимального значения (pH 4,5–6,3), что замедлило жизнедеятельность бактерий. Более или менее заметное выделение газа в этом случае начинается только на 13-е сутки.

Напротив, добавление небольших количеств мандариновых корок и морковных очисток, способствующих некоторому понижению pH среды (субстрат 3), по всей видимости, благоприятно отразилось на жизнедеятельности гидролизирующих и кислотообразующих бактерий и способствовало повышению их активности, а также сокращению продолжительности гидролизной и кислотообразующей фаз. К тому же питательные вещества, содержащиеся в пищевых отходах, также способствовали лучшему газообразованию. Как видно из графика, максимальный выход биогаза достигается на 10-е сутки и держится почти на том же уровне еще трое суток, затем начинается закономерный спад его выхода.

В состав биоэнергетического субстрата 4 были добавлены, помимо вышеперечисленных компонентов, картофельные очистки. Вероятнее всего, благодаря содержанию крахмала и сахаров добавок, являющихся легко разлагаемым субстратом, наблюдалось повышенное газообразование уже на 4-е сутки. Затем наблюдался резкий спад выхода биогаза на 7-е сутки, что, вероятно, могло наблюдаться из-за торможения процесса сбраживания за счет содержания эфирных масел в мандариновых корках. Затем наблюдалось не такое значительное, как первоначальное, повышение выхода биогаза, которое сохранялось практически на одном уровне до конца эксперимента. Использованные в данном случае добавки к навозу можно рекомендовать к применению при двухступенчатом процессе сбраживания биомассы, когда добавление легко разлагаемых

субстратов приводит к оживлению и увеличению массы бактерий, которая в дальнейшем сможет лучше и быстрее разложить более трудноразлагаемый материал. Но при этом необходимо следить за тем, чтобы не преувеличить питание, вызвав тем самым переокисление, т. е. полностью противоположный эффект.

Использование в качестве добавок к конскому навозу мандариновых очисток и небольшого количества мела (субстрат 5) также позволило наблюдать интенсификацию газообразования по сравнению с моносбраживанием конского навоза уже в первые дни. При этом максимум выхода биогаза наблюдался через две недели, но на 16-е сутки данный процесс практически затух и разложение трудносбраживаемых веществ биомассы происходило крайне медленно.

При сбраживании субстрата 6 заметное выделение биогаза наблюдалось только с 23 дня, которое продолжалось всего 4–5 дней, затем процесс газообразования прекратился. Наблюдаемый в данном случае процесс вполне может быть связан с созданием неблагоприятных условий для бактерий, а также с использованием в качестве одной из добавок к навозу соломы, питательные вещества которой заключены в прочный лигнин-целлюлозный комплекс, являющийся трудноразлагаемым субстратом.

С учетом выбранного в эксперименте режима сбраживания и предполагаемого времени пребывания биомассы в промышленном реакторе (10–20 суток) наибольший выход биогаза был достигнут при использовании биоэнергетических субстратов 3, 4 и 5.

Таким образом, экспериментально доказано, что добавление пищевых отходов к конскому навозу способствует повышению выхода биогаза, причем в первые две недели (в зависимости от состава добавок), что может способствовать сокращению времени пребывания перерабатываемой биомассы в установках промышленного типа.

Источники

1. Современная альтернативная энергетика с точки зрения экономики и экологии / Ю.Н. Шалимов [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. 2010. № 10 (90). С. 114–138.

2. Столярова Е.Ю., Котляр М.Н. Выработка биогаза из отходов жизнедеятельности крупного рогатого скота // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2016. № 2–30. С. 90–98.

3. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод / В.А. Седнин [и др.] // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009. № 5. С. 49–58.

УДК 628

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Г.Г. Сафина, Р.Р. Габдрахимов, А.Г. Арзамасова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
safgoulshat@mail.ru

Коммунальное водопроводно-канализационное хозяйство города Казани, наряду с теплоэнергетикой, является важнейшей составной частью социальной инфраструктуры. Результаты работы МУП «Водоканал» во многом определяют здоровье и продолжительность жизни человека, санитарно-эпидемиологическую обстановку на территории города, нормальное функционирование промышленных предприятий, всей социальной сферы.

Ключевые слова: коммунальное водопроводно-канализационное хозяйство, сточные воды, биологическая очистка, биогенные элементы, аэротенк.

На очистные сооружения канализации (ОСК) г. Казани подаются хозяйственно-фекальные сточные воды, производственные стоки промышленных и коммунальных предприятий города. Промышленные стоки в общем количестве сточных вод составляют – 20 %, коммунально-бытовые – 15 %, стоки от населения – 65 % [1].

Анализ качества очищенных стоков показал достаточно эффективную работу сооружений механической очистки сточных вод и позволил выявить ряд имеющихся превышений допустимых значений концентраций загрязняющих веществ по таким показателям, как $БПК_{полн}$, ХПК, азот нитритов, нитриты, азот аммонийный, ионы аммония, фосфаты, фосфор фосфатов, ионы железа.

Возможными причинами низкой эффективности очистки сточных вод по БПК и аммонийному азоту могут быть:

– низкая доза и/или неудовлетворительное состояние активного ила;

– перегрузка аэротенков сточными водами и/или загрязнениями;

– недостаточное количество кислорода, растворяющегося в иловой смеси;

– недостаточная производительность воздуходувок.

В качестве основных путей решения предлагается:

1. Нормализовать параметры активного ила за счет прекращения залповых сбросов абонентов.

2. Повысить эффективность работы аэрационной системы, заменив диспергаторы или систему аэрации. Кроме того, возможна установка дополнительных воздуходувок.

3. Снизить удельную нагрузку на ил, повысив эффективность работы первичных отстойников или предусмотрев дополнительные сооружения биологической очистки.

Кроме вышеперечисленного, причинами низкой эффективности очистки воды по аммонийному азоту и нитритам могут быть:

– недостаточный возраст ила;

– недостаточное время пребывания сточных вод в аэротенке;

– недостаток подаваемого воздуха;

– неоптимальная величина pH.

Основные пути решения:

1. Увеличение массы ила в аэротенках за счет расширения объемов сооружений биологической очистки.

2. Использование в аэротенках зон с прикрепленной микрофлорой и создание сооружений глубокой нитрификации на стадии очистки.

3. Увеличение времени контакта сточных вод с илом за счет отказа от использования регенераторов активного ила.

4. Создание системы дозирования щелочи.

Причиной низкой эффективности очистки воды от фосфатов на МУП «Водоканал» является использование биологической очистки с предшествующей нитрификацией (рис. 1), не предусматривающей глубокого (свыше 50 %) удаления фосфора [2].

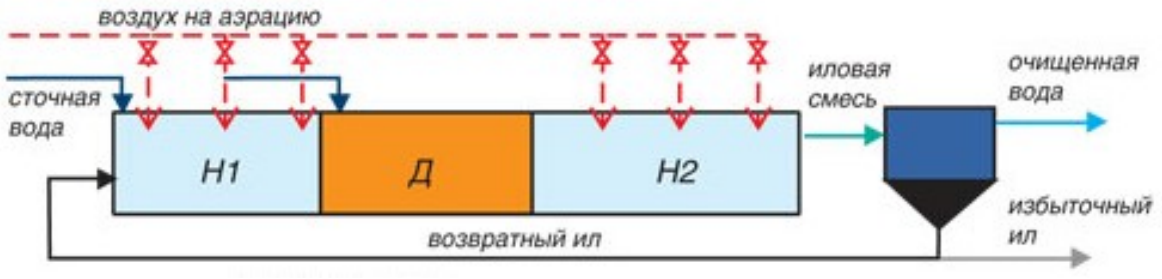


Рис. 1. Схема реализации технологии нитри-денитрификации с предшествующей нитрификацией: Н – зона нитрификации; Д – зона денитрификации

В связи с чем рекомендуется реконструкция аэротенков по технологии биологического удаления как азота, так и фосфора.

Для реализации технологии биологической дефосфотации в системе биологической очистки необходимо создать условия, когда активный ил поочередно проходит анаэробную и аэробную зоны, что стимулирует развитие в нем фосфорных бактерий, относящихся к факультативным анаэробам.

Модифицированный UCT (University of Cape Town) процесс, разработанный в Кейптаунском университете, является наиболее перспективным с точки зрения эффективности удаления биогенов (рис. 2).



Рис. 2. Схема модифицированного UCT-процесса

Он представляет собой последовательность анаэробной, двух аноксидных и аэробной зон. В данном процессе первая аноксидная зона предназначена для удаления азота нитратов из возвратного активного ила, вторая аноксидная зона – для удаления нитратов, образуемых в ходе процесса нитрификации в аэробной зоне для обеспечения требуемого качества очищенной воды по $N\text{-}NO_3$. При этом, чем выше коэффициент нитратной рециркуляции, тем эффективнее очистка от нитратного азота, меньше нитратов в возвратном иле и меньше нитратов в аноксидном рецикле. Анаэробный рецикл из конца аноксидной зоны, подаваемый в начало анаэробной, исключает негативное влияние азота нитратов на эффективность удаления фосфора в анаэробной зоне [3].

При необходимости можно дополнить биологическую дефосфатацию процессом химического осаждения фосфатов на стадии доочистки. Например, используя известковый метод обработки воды после аэротенков путем введения сухого реагента из расчета 10 мг на 1 $дм^3$ [2, 4].

Таким образом, проведен анализ работы очистных сооружений канализации г. Казани. Выявлены проблемы, связанные с недостаточной эффективностью очистки сточных вод от органических загрязнений и биогенных элементов.

На основе анализа литературных данных о механизме процессов нитрификации, денитрификации и дефосфатации при очистке сточных вод отмечено, что существенное снижение содержания соединений азота

и фосфора в очищенной воде может быть достигнуто в процессе модернизации сооружений биологической очистки, заключающейся в использовании части объема зоны аэрации для создания анаэробных и аноксидных зон, расположенных в определенной последовательности и связанных рециркуляционными потоками иловой смеси.

Рассмотрены возможные пути повышения эффективности очистных сооружений МУП «Водоканал» и произведен расчет предотвращенного экологического ущерба на водные ресурсы при модернизации сооружений биологической очистки.

Источники

1. МУП «Водоканал» г. Казани [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: https://kazan.ros-spravka.ru/catalog/gos_and_municipal_housing_ agencies/ vodokanal_mup (дата обращения: 17.03.2021).

2. Данилович Д.А. Справочник наилучших эффективных технологий. М., 2015. 111 с.

3. Харькин С.В. Организация процессов удаления фосфора из сточных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2013. № 11. С. 52–58.

4. Фридланд С.В., Галанцева Л.Ф., Нуруллин А.А. Применение известкового метода для очистки сточных вод от соединений фосфора // Мелиорация и рекультивация, экология. 2009. № 5. С. 44–47.

УДК 665.637.55

ПОЛУЧЕНИЕ ФРАКЦИИ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БАЗОВЫХ МАСЕЛ

А.И. Хафизов[1], К.А. Алексеев[2], А.Г. Лаптев[3]
[1]ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань
[1,2,3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
konstantin_aleks@inbox.ru

Приводятся результаты экспериментального исследования процесса получения тяжелого вакуумного газойля, соответствующего требованиям масляного производства методом непрерывной вакуумной ректификации.

Ключевые слова: нефтепереработка, тяжелый вакуумный газойль, вакуумная перегонка, непрерывная ректификация, производство масел.

Одним из наиболее важных продуктов, получаемых в процессе вакуумной перегонки мазутов, на сегодняшний день является тяжелый вакуумный газойль (ТВГ – фракция 350...560 °С) [1, 2]. Обычно он применяется как сырьё для каталитического крекинга или как котельное топливо, но наиболее эффективным способом применения фракции вакуумного газойля видится использование его в производстве высококачественных базовых масел II и III групп с помощью последовательности процессов экстракции для удаления ароматических углеводородов [3, 4].

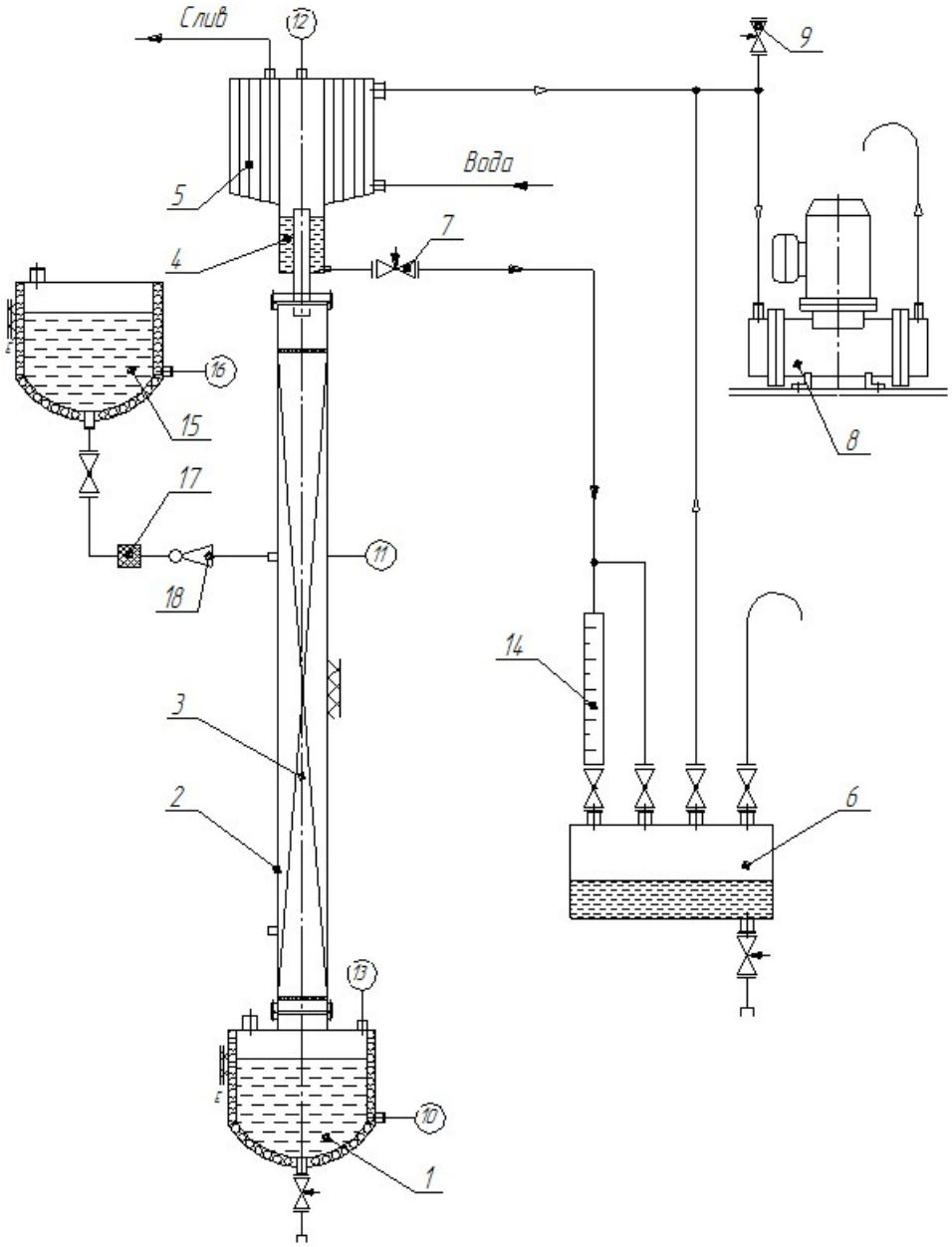
Однако внешние потребительские характеристики вакуумного газойля не отличаются стабильностью, и сильно зависят от внешних условий, что существенно затрудняет его применение на малых производствах. Это требует создания установок по доведению качества разнородного сырья до требований технологического процесса (фракционный состав, вязкость, плотность и т. д.). Поэтому целью проведенных экспериментов было получение образцов тяжелого вакуумного газойля соответствующих требованиям масляного производства методом непрерывной вакуумной ректификации; отработка технологии разделения и технологического режима промышленного процесса.

На модернизированной лабораторной установке вакуумной ректификации смесей термически нестабильных органических жидкостей [5], отработана технологии получения ТВГ из товарного вакуумного газойля. Принципиальная схема установки изображена на рисунке. Основным элементом экспериментальной установки является насадочная колонна, которая состоит из куба *1*, колонны *2* с насадкой *3*, емкости головных фракций *4*, спирального дефлегматора *5*.

В качестве насадки в колонне использована нерегулярная насадка *8*. Снаружи колонна *2* оборудована электрообогревателем и теплоизолирована.

Отбор дистиллята производится из емкости головных фракций *4* в приемную емкость *6* через вентиль *7*. Дефлегматор колонны по гибкой связи соединен с мембранным вакуумным насосом *8*. Регулирование давления в колонне производится с помощью натекателя *9*. Подача сырья в колонну осуществляется из питающей ёмкости *15* через фильтр *17* и жиклер *18*, необходимый для ограничения расхода питания.

Контроль температуры в кубе, в середине и вверху колонны осуществляется с помощью термопар *10*, *11* и *12* соответственно; питающей емкости – с помощью термопары *16*. Контроль давления в кубе колонны осуществляется с помощью вакуумметра *13*. Для измерения расхода отбора дистиллята используется мерное устройство *14*.



Принципиальная схема установки вакуумной ректификации

Для проведения экспериментального исследования были использованы три образца различного сырья (вакуумного газойля от различных производителей). По окончанию эксперимента проводили определение их фракционного состава, кинематической вязкости и плотности отобранных проб дистиллята и кубового продукта.

Сравнение результатов экспериментов позволило сделать вывод, что целевой продукт требуемого качества для всех трех видов сырья может быть получен при одинаковых условиях (температуре в кубе колонны 295 °С и давлении ~25 мм рт. ст.). Однако процент отбора дистиллята (ЛВГ) при этом существенно отличается.

Источники

1. Глубоковакуумная перегонка мазута / Р.Р. Везиров [и др.] // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2011. № 3. С. 10–11.

2. Современная установка вакуумной перегонки мазута / В.А. Морозов [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2016. № 10. С. 51–58.

3. Получение сырья для производства смазочных масел из высококипящего вакуумного газойля и смежного с ним остатка нефти / М.Л. Креймер [и др.] // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2011. № 3. С. 12–17.

4. Влияние свойств вакуумного газойля на эффективность процесса его гидрооблагораживания / В.К. Смирнов [и др.] // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2008. № 2. С. 11–15.

5. Экспериментальная ректификационная установка для разделения органических смесей и определение ее рабочих характеристик на примере разделения смеси этанол – вода / Г.С. Дьяконов [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2004. № 1. С. 180–183.

УДК 66.074.378.1

РЕГЕНЕРАЦИЯ СОРБЦИОННОГО МАТЕРИАЛА АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ДИОКСИДА СЕРЫ

Э.М. Хуснутдинова
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
Науч. рук. Л.А. Николаева

В последнее десятилетие продолжают возрастать нерешенные экологические вопросы и проблемы в различных отраслях промышленности. Так, на промышленных предприятиях химического и нефтехимического комплексов образуется значительное количество вредных газовых выбросов. Представлена модернизированная технология очистки газовых выбросов от диоксида серы производства бисульфита натрия на АО «Химический завод им. Л.Я. Карпова» адсорбционным методом со схемой регенерации сорбционного материала на основе карбонатного шлама.

Ключевые слова: регенерация, гранулированный сорбционный материал, адсорбция, очистка газовых выбросов, диоксид серы.

На предприятиях химического и нефтехимического комплексов образуется значительное количество вредных газовых выбросов, загрязняющих атмосферный воздух. Одним из элементов, содержащийся в газовых выбросах, является диоксид серы (SO_2). Для очистки газовых выбросов промышленных предприятий от SO_2 применяются следующие методы: абсорбционный, каталитический, биохимический и адсорбционный. Одним из эффективных способов очистки газовых выбросов от SO_2 является их адсорбция на пористых материалах.

Применяемые сорбенты, используемые в адсорбционном методе, характеризуются высокой стоимостью, достигающей несколько сотен тысяч рублей за тонну. Следовательно, применение новых сорбционных материалов на основе отходов производства для очистки газовых выбросов от SO_2, является актуальной и важной задачей.

В настоящее время активно проводится разработка методов снижения экологической нагрузки на окружающую среду с помощью вторичного использования отходов производства. Таким отходом производства является карбонатный шлам химводоподготовки природной воды и разработанный на его основе гранулированный сорбционный материал (ГРСМ) [1]. Использование его может быть одним из приоритетных направлений, поскольку ежегодно происходит увеличение объемов карбонатных шламов, требующих утилизации.

Адсорбенты должны удовлетворять ряду требований: иметь большую адсорбционную емкость; обладать высокой селективностью; быть химически инертными по отношению к компонентам разделяемой смеси; иметь высокую механическую прочность; обладать способностью к регенерации (десорбции) [2].

Анализируя зарубежный и отечественный опыт адсорбционной очистки газовых выбросов и десорбции адсорбента можно выделить следующие способы осуществления процессов:

1. После адсорбции примеси из газовых выбросов не утилизируют, а подвергают термическому или каталитическому дожиганию. Этот способ применяют для очистки отходящих газов химико-фармацевтических и лакокрасочных предприятий, пищевой промышленности и ряда других производств.

2. Наиболее широкое распространение в промышленности имеет периодическая адсорбция четырехфазным способом: насыщение адсорбента поглощаемым компонентом; десорбция поглощенного компонента из адсорбента; сушка адсорбента; охлаждение адсорбента.

Несмотря на периодичность работы аппаратов с неподвижным слоем, адсорбционные установки работают непрерывно. Непрерывность очистки обеспечивается адсорбером *1* и десорбером *2* (рис. 1). В первом происходит адсорбционная очистка газов, во втором – последовательная

регенерация ГРСМ, при этом процесс адсорбции совмещают с сушкой и охлаждением поглотителя [3, 4]. Данный способ предлагается применить при модернизации системы очистки газовых выбросов производства бисульфита натрия на АО «Химический завод им. Л.Я. Карпова» (рис. 2).

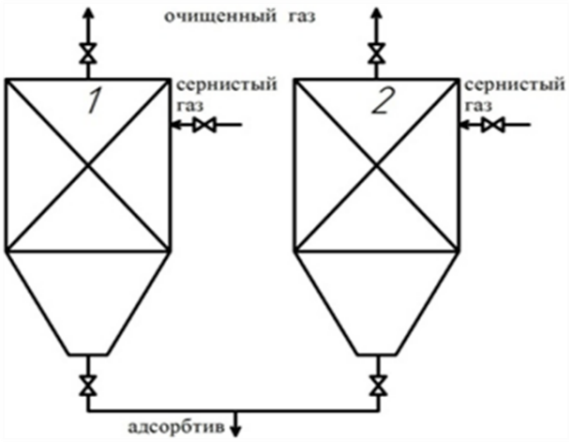


Рис. 1. Схема параллельной работы адсорбера и десорбера

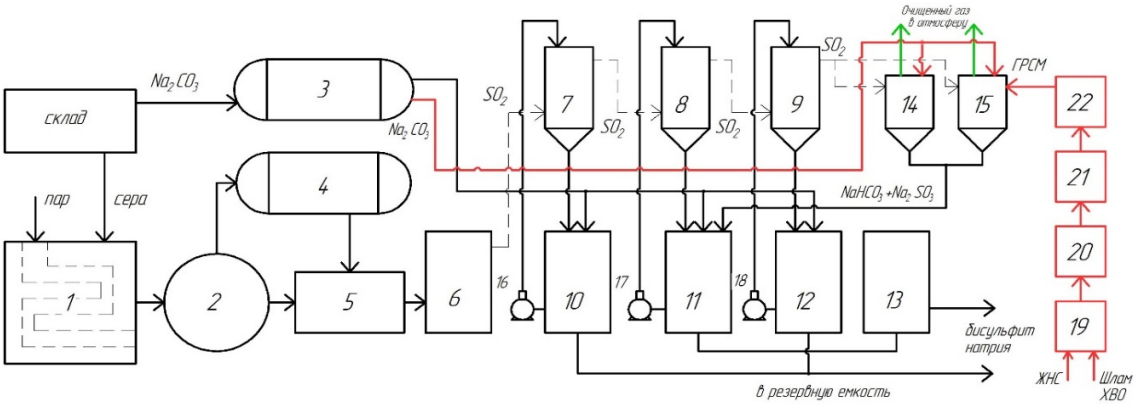


Рис. 2. Технологическая схема процесса производства бисульфита натрия с производством ГРСМ и регенерацией: *1* – плавилка серы; *2* – отстойник; *3* – напорная емкость содового раствора; *4* – напорная ёмкость сернистого газа; *5* – циклонная печь; *6* – башня охлаждения; *7* – абсорбер I ступени; *8* – абсорбер II ступени; *9* – абсорбер III ступени; *10* – циркуляционный сборник; *11* – циркуляционный бисульфитный сборник; *12* – санитарный сборник; *13* – сборник готовой продукции; *14*, *15* – адсорбер; *16–18* – центробежный насос; *19* – тарельчатый гранулятор ГТ-0,6; *20* – муфельная печь; *21* – бункер охлаждения и хранения готового сорбента; *22* – установка подачи сорбента

Представленный процесс регенерации ГРСМ модернизированной схемы очистки газовых выбросов от диоксида серы начинается с подачи в адсорбер *14* кальцинированной соды Na_2CO_3 из напорной емкости содового раствора *3*. Концентрация Na_2CO_3 составляет 250–280 г/дм^3.

Время промывания составляет 0,5 ч. Кальцинированная сода реагирует с диоксидом серы, вымывая его из ГРСМ с образованием бикарбоната и сульфита натрия по реакции:

$$2Na_2CO_3 + SO_2 + H_2O = 2NaHCO_3 + Na_2SO_3$$

Продолжительности регенерации ГРСМ рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{рег}} = \frac{H \cdot F}{V_{\text{а}} \cdot k},$$

где H – высота слоя ГРСМ, м; F – площадь, м^2; $V_{\text{а}}$ – объем ГРСМ в адсорбере, м^3; k – константа скорости окисления SO_2 раствором Na_2CO_3, $k = 0{,}4$ ч$^{-1}$.

Таким образом, при регенерации ГРСМ в цикл производства бисульфита натрия возвращается SO_2, количество которого составляет около 18,5 т/год, что может привести к экономии материальных ресурсов при производстве бисульфита натрия. При этом модернизация схемы позволяет довести очистку газовых выбросов от SO_2 до 99,9 % и частично решить проблему утилизации многотоннажного отхода энергетики – карбонатного шлама химводоочистки.

Источники

1. Хуснутдинова Э.М., Николаева Л.А. Новый сорбционный материал на основе отхода энергетики в технологиях очистки газовых выбросов от диоксида серы // Междунар. науч.-техн. конф. Белгород, 2020. С. 224–230.

2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: ОООТИД «Альянс», 2004. 753 с.

3. Лаптев А.Г., Конахин А.М., Минеев Н.Г. Теоретические основы и расчет аппаратов разделения гомогенных смесей. Казань: КГЭУ, 2007. 426 с.

4. Хуснутдинов А.Н., Николаева Л.А. Решение экологических проблем промышленных предприятий при очистке газовых выбросов гранулированным шламом // Вода: химия и экология. 2019. № 2. С. 83–89.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, НАДЕЖНОСТЬ, ДИАГНОСТИКА

Арсланов А.Д., Потанин А.А., Абдуллов А.А., Баймухаметов З.Р., Даутов З.А. Электромагнитно-акустический метод неразрушающего контроля 3
Банникова В.Ю. Оценка надежности электрооборудования с помощью индекса технического состояния 7
Бекмансурова Р.Н., Валиуллина Д.М. Борьба с обледенением проводов воздушных линий электропередачи 9
Бикзинуров А.Р., Слободина Ю.Н., Гарифуллин М.Ш. Исследование влияния исходной концентрации ингибитора окисления 2,6-ди-трет-бутилфенола на интенсивность термоокислительной деструкции минерального масла 12
Валиуллина Д.М., Ильясова Ю.К., Козлов В.К. Влияние твердых частиц, дисперсно-коллоидных структур и других неоднородностей на цвет трансформаторного масла..... 17
Гарифуллина А.Р. Анализ состояния и причин производственного электротравматизма на предприятиях электроэнергетики. Предупредительные меры по сокращению несчастных случаев на производстве..... 22
Лыу Куок Кыонг, Тамсир Анн, Маклецов А.М. Проблемы компенсации реактивной мощности 26
Минаев И.А. Переходные процессы в *RC*-цепях в программе PSCad 30
Минегалиев И.М. Контроль влагосодержания трансформаторных масел 33
Норов Д.Ш., Кульков В.Г. Диагностика усталостного повреждения провода линии электропередачи путем измерения высокочастотного сопротивления 36
Огурцов М.Г., Галиев И.Ф. Анализ эффективности газотурбинных установок мини-ТЭЦ 39
Огурцов М.Г., Галиев И.Ф. Факторы, влияющие на эффективность работы газотурбинных установок мини-ТЭЦ 42
Павлов Н.Т. Концепция компенсации реактивной мощности..... 45
Петропавловский В.Е. Цифровая подстанция..... 47
Сафиуллин Б.М., Фатхелисламов Н.В., Валиуллина Д.М. Методы контроля воздушных линий электропередачи 50
Селезнева Е.А. Замена трансформаторного масла альтернативными диэлектрическими жидкостями с целью повышения пожарной безопасности 52

Смирнов Д.А. Частота свободных колебаний СПП как источник об удаленности места их возникновения 55
Файрушин И.Ф. Современные системы определения качества прессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора 61
Файрушин И.Ф. Корреляционный анализ результата мониторинга частичных разрядов силового трансформатора 64
Хилажев Т.И., Валиуллина Д.М., Хайретдинов Р.М. Системы контроля качества электрической энергии 67
Ялальдинов Р.Р., Валеев И.М. Совершенствование измерительных каналов в автоматизированной системе коммерческого учета электроэнергии 69
Яхин Ш.Р. Контроль линий электропередачи 72

Секция 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Агзамов М.Ф., Симонова М.Н., Хакимзянов Э.Ф., Гибадуллин Р.Р., Галиев Р.А. Моделирование систем электроснабжения для улучшения качества электроэнергии отдельной территории 77
Басенко В.Р., Низамиев М.Ф. Лазерный контрольно-измерительный комплекс для определения уровня опрессовки обмоток и магнитопровода силового трансформатора 82
Богачевский Н.Н., Гущина А.К. Компенсации реактивной мощности в программе MatLab на примере системы электроснабжения металлургического завода 87
Галеева Р.У., Беляков К.Ю. Влияние влажности грунта на параметры многопроводных линий электропередачи 91
Галеева Р.У., Муллагалиев А.И., Давлитова Г.Д. Диапазоны вариации тока однофазного замыкания на землю в воздушной сети 10 кВ с различными схемами расположения цепей 94
Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Усманов И.К. Разработка системы мониторинга технического состояния основного оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ 97
Гущина А.К., Богачевский Н.Н. Утилизация попутного нефтяного газа 101
Ерашова Ю.Н., Вассунова А.И., Ившин И.И., Тюрин А.Н. Генератор электрической дуги для диагностики аппаратов защиты от дугового пробоя 104
Калайджян А.Х., Цветков А.Н. Обзор современных SCADA-систем 108
Кашафутдинова Р.И. Алгоритм моделирования и оценки функциональных параметров низковольтных аппаратов 111

Крошечкина Д.Ю. Разработка автоматизированной системы коммерческого учета электро-энергии на промышленном предприятии 114
Крылов М.А., Денисова Н.В. Технологии для создания интеллектуальных систем освещения и их проектирование с помощью DIALux EVO 120
Крылова Д.А. Применение арамидного материала в изоляции силового трансформатора..... 122
Лямзина Д.Ю. Анализ эффективности экономии электроэнергии в системах внутризаводского электроснабжения 125
Майоров А.А. Экономия электроэнергии и повышение надежности в системе промышленного электроснабжения..... 129
Муханова П.П. Исследование технических характеристик автоматических выключателей 131
Паймухина С.Р. Алгоритмы определения развивающихся дефектов высоковольтных трансформаторов на основании анализа показателей растворенных в масле газов 135
Рамазанова Р.И. Комплекс мероприятий по эффективной диагностике линий электропередачи..... 138
Туйтанова Н.Н., Галеева Р.У., Турдукулов А.Н. Моделирование переходного процесса обрыва фазы в программной среде MATLAB Simulink 141
Хабибуллина В.Н., Денисова Н.В. Промышленные осветительные установки с высокими требованиями по качественным характеристикам..... 143
Хисматуллина Э.М., Копылов А.М. Перспективы применения интеллектуальных систем управления освещением..... 146
Цветкова А.А. Применение регуляторов DANFOSS ECL Comfort в системе подогрева воды..... 149
Цветкова А.А. Автоматический нагрев воды бассейна с помощью узлов регулирования 152
Шишов А.А., Ваштиев В.К., Радикова А.В. Реконструкция комплектного распределительного устройства КРУН-6(10) кВ собственных нужд 155

Секция 3. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Абдуллов А.А., Баймухаметов З.Р., Потанин А.А., Арсланов А.Д. Система мониторинга и агрегирования данных, получаемых с датчика, для измерения сетевого напряжения на базе Arduino 158

Баишева О.А., Саляхутдинов М.А. Автоматизация хранения молока и мойки резервуаров на заводе по производству молочной продукции ... 161
Баймухаметов З.Р., Абдуллов А.А., Потанин А.А., Арсланов А.Д. Датчик тока с беспроводным каналом связи на базе Arduino 164
Булин М.Н., Тарасевич Д.Д., Лосенков Д.О. Сухие трансформаторы. Применение изоляции Nomex в сухих трансформаторах 167
Галиева Т.Г., Арсланов А.Д. Разработка лабораторного стенда диагностики высоковольтных изоляторов на основе регистрации электромагнитного и акустического излучений 170
Галимуллин Н.Р., Ахметвалеева Л.В. Особенности режимов работы микроконтроллерных таймеров/счетчиков..... 173
Иванов Д.А., Голенищев-Кутузов А.В., Галиева Т.Г., Семенников А.В. Использование роботизированных комплексов и беспилотных летательных аппаратов в качестве платформы для мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи 176
Нгуен Ван Ву, Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Галиева Т.Г. Разработка лабораторного стенда для определения стрелы провеса провода по его собственным колебаниям 184
Нгуен Ван Ву, Ярославский Д.А., Иванов Д.А., Горячев М.П., Галиева Т.Г. Усовершенствованная система автоматизированного мониторинга состояния воздушных линий электропередачи 188
Новиков В.О., Сизый А.Д. Создание автоматизированной системы учёта электроэнергии в посёлке с использованием счётчиков с дистанционным снятием показаний 190
Нурлатов Н.В. Инвертирующий повышающий преобразователь постоянного напряжения на основе резонансных структур с переключаемыми конденсаторами 193
Саляхутдинов М.А., Баишева О.А. Автоматизация управления пожарными насосами системы пожаротушения..... 197
Сизый А.Д., Новиков В.О. Разработка автоматизированной системы учета электроэнергии машиностроительного предприятия 200

Секция 4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ, ХИМИИ, МАТЕМАТИКИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Екимовская А.А. Вращение тросовых систем как новый вид энергетического обеспечения космических аппаратов 204
Зиганшина Д.Е., Помысова А.Ю., Попов Г.С. Использование смартфона в качестве приставки к геологическому спектроскопу..... 208

Иванов В.В., Яникаева К.Ю., Абдуллин Т.Р. Оптические спектры растворов крови 210
Китанин Д.С., Фролов А.С., Галиахметов В.Д. Анализ топологии распределения электронной плотности методом функции локализации электронов (ELF) в аурипигменте. Кристаллическая и аморфная фазы ... 213
Платонов Н.Д., Сулейманов Н.М., Базаров В.В. Наноструктурированный пористый германий в качестве электродов электрохимических конденсаторов 215
Разакова Р.И., Гибадуллина Х.В. Водородные технологии в современной металлургии 219
Севастьянов И.Г., Гавриленко А.Н., Орлинский С.Б., Матухин В.Л., Шмидт Е.В., Гарькавый С.О. Исследование легированных соединений халькопирита $Cu_{1-x}Pd_xFeS_2$ методами ядерного магнитного резонанса $^{63,65}Cu$ и электронного парамагнитного резонанаса 222
Хушея Т.А.Н., Зайнуллин Р.Р. Алгоритм анализа данных контроля методом электронного парамагнитного резонанса материалов с многоядерными парамагнитными комплексами 226
Хушея Т.А.Н., Зайнуллин Р.Р. Неоднородное распределение примеси никеля в термоэлектрическом кристалле галенита 229
Хушея Т.А.Н., Зайнуллин Р.Р. Эффекты двойного допирования термоэлектрического кристалла PbS_{1-z} примесями меди и марганца 232

Секция 5. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Агзамов М.Ф., Симонова М.Н., Хакимзянов Э.Ф., Логинов П.С., Галиев Р.А. Исследование заряда Li-ion батареи электромобиля в условиях пониженных температур 235
Алешин С.А., Якунин А.Н. Сравнительный анализ станций управления для установки штангового глубинного насоса 240
Альзаккар А., Местников Н.П., Алхадж Хассан Ф. Особенности влияния основных параметров синхронных генераторов на динамическую устойчивость энергосистемы Сирии 243
Гатиятуллин Т.А., Головин К.А. Исследование погрешностей моделирования замкнутого одноконтурного электропривода постоянного тока 247
Закирова Н.Ж., Снежинская Е.С., Абдуллина А.Р., Павлов П.П. Отказоустойчивость аппаратуры технических систем 250
Истопленников М.А., Закирова Н.Ж., Снежинская Е.С. Комбинаторная диагностическая модель цифровых устройств 253

Рашитова Р.А., Тухбатуллина Д.И., Сафиуллин Б.И., Ахсаниев Г.Р. К вопросу о выборе контроллеров для зарядных станций электромобилей 256
Росляков А.В., Оморов М.Б. Исследование зависимости ошибок скоростного следящего электропривода от вида стандартной настройки 258
Сафиуллин Б.И., Ле К.Т., Ахсаниев Г.Р. Применение трехфазных активных выпрямителей в зарядных станциях постоянного тока для электромобилей 261
Тухбатуллина Д.И., Рашитова Р.А., Ле К.Т., Сафиуллин Б.И. Стартовые наборы для комплектации зарядных станций электромобилей..... 263
Фахертдинов Д.Ш. Заббарова К.Р. Исследование надежности электрооборудования 266
Филиппов А.Н., Зайнуллин И.И. Исследование зависимости ошибок позиционного следящего электропривода от порядка астатизма 268
Хамзин А.А. Многодвигательный электропривод с рекуперацией энергии..... 272
Яшагина А.В. Возможность эксплуатации линейных асинхронных двигателей на железной дороге 275

Секция 6. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТЬ

Борисовский В.В. Управление режимами локальной системы электроснабжения с использованием нечеткой логики 278
Высковеркина Я.С., Соколова Н.С. О возможностях управления энергетическими системами..... 282
Исаева О.В. Разработка энергоэффективной и безопасной системы автоматического регулирования светового потока 286
Киселев И.Н. Исследование автономной фотоэлектрической системы с помощью имитационной модели в среде MATLAB/Simulink..... 289
Киселев И.Н. Разработка и исследование макета двухосевого солнечного трекера на базе платы Arduino UNO R3 292
Корнева П.А. Повышение энергоэффективности жилых зданий 295
Рокина Е.Г., Рокина А.Г. Регулирование неравномерности энергопотребления промышленного предприятия 298
Семенова О.Д., Тукшаитов Р.Х. К характеристике соотношения между коэффициентами нелинейных и гармонических искажений и устранению их разночтения 301
Сигель А.С., Попова М.В. Модернизация систем охлаждения силовых трансформаторов крупных подстанций и использование вторичного тепла для теплоснабжения 305
Яппаров Р.Р. Энергосбережение с помощью системы «Умный дом» 309

Секция 7. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Агзамов М.Ф., Кинзебаева Р.В., Хакимзянов Э.Ф., Симонова М.Н. Расчёт селективности устройств релейной защиты в программном комплекс PSS SINCAL 313
Ворошилов А.А. Автоматика нормального режима для снижения потерь холостого хода трансформаторов 320
Гиниятов С.А., Мустафин Р.Г. Применение протокола Sampled Values в системах релейной защиты и автоматики цифровой подстанции 324
Давлетшина А.М. Организация релейной защиты и автоматики линий электропередачи с кабельным участком в начале линии 328
Зудкин П.А. Преимущества использования оптических измерительных трансформа-торов на цифровой подстанции 331
Каримов Н.М. Зарубежный и отечественный опыт использования резисторов, предназначенных для заземления нейтрали сетей 6–35 кВ ... 334
Китанин Д.С., Плотникова Ю.Д. Использование токовой отсечки в рамках проекта «Умный РЭС» 337
Мальцева И.С., Гавриленко А.Н. Особенности использования протокола Goose в цифровых системах релейной защиты и автоматики 340
Мальцева И.С., Гавриленко А.Н. Особенности использования высокочастотных каналов связи в системах релейной защиты и автоматики 343
Петров А.Е. Разработка программы испытаний алгоритмов определения места повреждения на линиях электропередачи 347
Сахабутдинов А.А. Подход к тестированию систем автоматизации подстанций на основе файлов SCD 351
Семенов М.Н. Основные недостатки стандарта МЭК 61850 357
Фролов А.С., Сиразутдинов Ф.Р. Увеличение чувствительности защит ближнего и дальнего резервирования 361

Секция 8. ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОХРАНА ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Аджигитова А.А. Изучение механизма процесса очистки сточных вод гальванических цехов от катионов меди золой отходов потребления 365
Алали Ш., Алхадж Хассан Ф., Альзаккар А. Типы масок, используемых в технических вузах Казани 371
Барова М.А. Мероприятия по нормализации параметров световой среды 374
Басыров И.Р. Техническое решение по усовершенствованию технологии очистки сточных вод автомоечного комплекса 376

Батырова А.Л., Семенова А.Н., Шарымов П.А. Техническое решение по усовершенствованию системы очистки сточных вод на предприятии ЖКХ 380
Волкова Д.Д. Анализ методов определения экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды 383
Ганин А.И. Исследование низкочастотной вибрации насосов и способы её снижения 386
Герасюнин М.А. Водоподготовка на ТЭЦ: назначение и основные этапы 390
Голякова У.А. Исследование влияния сетей нового поколения 5G на население 392
Дыганова Р.Я., Фахреев Н.Н., Минлибулатова Н.В. Сравнительный анализ альтернативных решений по утилизации индустриальных и моторных масел 397
Железнова А.Н. Воздействие сточных вод систем золошлакоудаления энергетических предприятий на окружающую среду 399
Карманов М.Р. Обезвреживание и утилизация промышленных отходов в устройствах с неустойчивым режимом горения: экологические аспекты 402
Кутяшова О.А., Фахреев Н.Н. Построение блок-схемы поиска наилучших инженерных решений на предприятиях пищевой промышленности 406
Михалева А.Д. Радиационная защита атомных электростанций путем введения минеральных добавок в бетон 408
Проскунина Г.И., Чернобаева Л.А. Основные направления инженерной защиты окружающей среды 412
Тришина А.В. Улавливание легких фракций углеводородов при нефтедобыче и нефтепереработке 414
Фахреев Н.Н. Утилизация отходов птицеводства в энергетических установках 418
Хамраева Р.З. Совершенствование электрофильтров с использованием скрещенных электромагнитных полей 420
Чеботарева А.А. Экологичная одежда 423

Секция 9. ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Алхадж Хассан Ф., Мазаров И.Ю., Альзаккар А., Альмохаммед О.М., Тимербаев Н.Ф. Компьютерный анализ скорости ветра в Буинском районе Республики Татарстан (по состоянию на октябрь 2020 г.) 427
Бакиртзис Андреас Иоаннис Перспективы использования алюминия в воздушно-алюминиевых аккумуляторах при развитии солнечной энергетики в Греции 429

Богданова А.Н., Гребёнкина М.А. Обзор существующих технологий переработки твердых коммунальных отходов с получением электрической энергии 434
Гаирбекова А.Р. Особенности эксплуатации ветроэнергетических установок..... 440
Иванов А.Ф., Егоров Ф.С. Яковлев В.Г. Влияние расхода кислорода при магнетронном напылении тонких пленок оксида индия-олова на выходные параметры солнечного элемента 442
Камалиева Р.Ф. Подбор способов получения водорода в соответствии с типом топливного элемента 445
Латыпова А.А. Автономные системы электроснабжения с использованием возобновляемых источников энергии..... 448
Лесниченко И.Н. Возобновляемые источники энергии в Краснодарском крае 453
Малькова Я.Ю. Оптимизация процесса проведения оценки оптимальности места установки объектов возобновляемой генерации.... 456
Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н. Исследование влияния холодного климата Якутии на функционирование монокристаллической солнечной системы генерации электроэнергии 460
Рахматуллин С.С. Мировой рынок возобновляемой энергетики после коронавирусного кризиса 464
Тимершин А.Р. Особенности применения ветрогенераторов в Республике Татарстан..... 470
Шалухо А.В., Веселов Л.Е. Критерии оптимизации установленной мощности твердооксидных топливных элементов для применения в системе электроснабжения животноводческого предприятия 473
Шалухо А.В., Эрдили Н.И., Власов А.С. Мультиагентный метод управления виртуальной электростанцией с источниками распределенной генерации 477

Секция 10. КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, ПОДСТАНЦИЙ И РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ахмадеев А.А. Реконструкция подстанции «Магистральная» 220 кВ с применением комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией..... 482
Ахметьянов Р.Р. Влияние цикла жизни электрооборудования на надежность электроснабжения 486
Буренина И.А. Реконструкция ячейки трансформатора Т2 на ЗАО «Авиастар-ОПЭ» 488
Жылдызбекова С.Ж. Особенности интерпретации результатов измерения частичных разрядов в кабельных линиях 491

Купцов И.О. Концепция функционирования агрегаторов управления спросом на электроэнергию 494
Прытков А.В. Обеспечение качества электроэнергии..... 499
Соловьёва А.А. Исследование работы Smart Grid сетей на подстанции 10 кВ 502
Сопина Ю.В. Внедрение системы мониторинга, управления и диагностики электрооборудования на распределительные устройства собственных нужд электростанций 504
Трофимов А.П., Хизбуллина Л.Р. Сравнительный анализ характеристик вакуумных и элегазовых выключателей 110 кВ 506
Хабиров И.А. Мониторинг состояния силовых трансформаторов 510

Секция 11. ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ И НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКЕ

Айкенова Н.Е. Очистка промышленных сточных вод от фенолов модифицированным карбонатным шламом 513
Арсланов А.Д., Потанин А.А., Даутов З.А., Хамидуллин И.Н. Рациональное использование энергетических ресурсов при утилизации батареек 516
Ильин Н.П. Методы утилизации обратноосматического концентрата на ТЭС 518
Ламскова М.И., Филимонов М.И., Черикова К.В. Модернизация систем оборотного водоснабжения фильтрующими гидроциклонами 523
Лесюкова В.В. Характеристика водорода как топлива и накопителя энергии..... 528
Мансуров Д.Р. Сорбционная очистка сточных вод от анионных синтетических поверхностно-активных веществ карбонатным шламом 531
Сафина Г.Г., Клочкова В.А. Повышение выхода биогаза при сбраживании конского навоза 534
Сафина Г.Г., Габдрахимов Р.Р., Арзамасова А.Г. Повышение эффектив-ности биологической очистки сточных вод..... 539
Хафизов А.И., Алексеев К.А., Лаптев А.Г. Получение фракции вакуумного газойля для производства высоко-качественных базовых масел 542
Хуснутдинова Э.М. Регенерация сорбционного материала адсорбционной очистки газовых выбросов от диоксида серы..... 545

Научное издание

ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2021
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 28–30 апреля 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова

Компьютерная верстка О.В. Цветковой
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшиной

Подписано в печать 26.05.2021.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 32,49. Уч.-изд. л. 23,04.
Тираж 30. экз. Заказ № 5229.

Центр публикационной активности КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО «45»
420044, г. Казань, пр. Ямашева, д. 36