



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Алтайская торгово-промышленная палата

Филиал ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» - «Алтайэнерго»

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ АЛТАЙ – 2014**

Сборник статей  
II Международной научно-технической конференции

ЦЭОР АлтГТУ  
Барнаул • 2014

УДК 621.31

Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2014 [Электронный ресурс] : сборник статей II Международной научно-технической конференции / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Электрон. дан. и прогр. – Барнаул: ЦЭОР АлтГТУ, 2014. – 1 электрон., опт. диск (CD-R); 12 см.  
- Рекомендуемые системные требования: ПК с част. ЦП 800 МГц и выше; Windows XP и выше; дисковод CD-ROM; Adobe Reader или др. программа для чтения файлов формата PDF.  
- Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-7568-1091-2

В сборнике представлены статьи ведущих специалистов в области электро-энергетики, а также ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов, магистрантов, выпускников и студентов старших курсов высших учебных заведений Российской Федерации, Азербайджанской Республики и Республики Узбекистан, принявших участие в работе II Международной научно-технической конференции «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2014».

Конференция состоялась 27 ноября 2014 года в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» на базе энергетического факультета при участии Управления Алтайского края по промышленности и энергетике, администрации города Барнаула, Алтайской торгово-промышленной палаты, филиала ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» - «Алтайэнерго» и организационной поддержке Методической школы им. О. И. Хомутова.

Материалы изданы в авторской редакции.

Редакционная коллегия (составители):

С. О. Хомутов, доктор технических наук, профессор, декан энергетического факультета АлтГТУ;

И. А. Гутов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» АлтГТУ (координатор конференции);

В. И. Сташко, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» АлтГТУ.

ISBN 978-5-7568-1091-2

© Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 2014



Конференция посвящена памяти  
действительного члена  
Международной академии наук  
высшей школы, Заслуженного  
работника высшей школы  
Российской Федерации, лауреата  
премии Правительства Российской  
Федерации в области образования,  
доктора технических наук,  
профессора, ректора АлтГТУ  
**Хомутова Олега Ивановича**

### Электронное издание

Издательство:  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный  
технический университет им. И. И. Ползунова»

Изготовитель:  
Центр электронных образовательных  
ресурсов АлтГТУ

656038, Российская Федерация, Алтайский край,  
г. Барнаул, пр-т Ленина, 46  
тел.: (3852) 29-09-46, e-mail: altgtu@mail.ru,  
сайт: <http://altstu.ru>

Заказ № 14007С  
Носитель CD-R  
Тираж 50 экз.

## Содержание

<b>Андреев А. В., Щербаков А. Ю., Попов А. Н.</b> Автоматизация компенсации реактивной мощности как средство повышения качества электроэнергии в электрических сетях промышленных предприятий.....	5
<b>Ащеулов И. А., Попов А. Н.</b> Разработка устройства контроля технических параметров защитно-коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В.....	10
<b>Барсов Д. А., Плотников И. В., Мартко Е. О.</b> Моделирование электрической нагрузки электродвигателя методом анализа сингулярного спектра.....	14
<b>Бахтина И. А., Белицын И. В., Гизбрехт О. П.</b> Определение основных критериев эффективности автономных электроэнергетических установок.....	19
<b>Блинов Н. А., Вольченко А. И., Попов А. Н.</b> Поиск и определение мест повреждений на воздушных линиях электропередачи в сетях напряжением до 35 кВ.....	28
<b>Валов Д. А., Соколов А. Г., Грибанов А. А.</b> Проблемы выбора эффективных мероприятий по обеспечению качества электрической энергии у потребителей.....	32
<b>Воробьев Н. П., Костюков А. Ф.</b> Экспертная система оценки интегрированного риска электроустановки.....	39
<b>Гашимов А. М., Гурбанов К. Б., Сулейманова Л. Ч.</b> Исследование зарядового состояния пленок поливинил-иденфторида и полиамида 6 в зависимости от их надмолекулярной структуры.....	50
<b>Гладышев В. С.</b> Автоматизация бизнес-процессов ввода первичной документации.....	58
<b>Годецкая Т. Е., Грибанов А. А.</b> Выбор стратегии оптимизации методов диагностики асинхронных электродвигателей.....	64
<b>Голдобин А. В.</b> Унификация алгоритмов расчета полезного отпуска электроэнергии в сетевых компаниях.....	73
<b>Громов В. В., Хомутов С. О.</b> Разработка мер по повышению энергоэффективности предприятия ООО «Росводоканал».....	77

<b>Гутов И. А., Шишонин Ю. В.</b>	
Методическое и информационное обеспечение технологического присоединения к электрическим сетям энергопринимающих устройств физических лиц.....	82
<b>Дорош А. Б., Халина Т. М., Халин М. В., Гусейнова С. А.</b>	
Энергоэффективные технологии локального обогрева на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей..	88
<b>Досмаева К. М., Мусин А. Х., Мозоль В. И.</b>	
Ценообразование в энергетике и расчет технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям...	96
<b>Дробязко О. Н.</b>	
Перспективные направления учета неопределенности при решении задач обеспечения безопасности электроустановок.....	103
<b>Дубинин В. В., Попов А. Н.</b>	
Мониторинг параметров режима электрических сетей напряжением 6 - 10 кВ как средство повышения энергоэффективности.....	112
<b>Дурнев А. А., Согомонян Н. М.</b>	
Совершенствование системы предупредительных ремонтов и обслуживания оборудования электрических сетей.....	122
<b>Иванов В. М., Иванова Т. Ю., Бахтина И. А., Трутнев П. С.</b>	
Использование энергии ветра в Алтайском крае.....	127
<b>Кожевникова К. В.</b>	
Особенности выбора систем для автоматизации учёта электроэнергии в населённом пункте.....	134
<b>Ле Суан Хонг</b>	
Оценка технико-экономической эффективности асинхронного тягового электропривода.....	138
<b>Лебедева А. А., Грибанов А. А.</b>	
Повышение эффективности выбора коммутационных аппаратов для щитов собственных нужд электроэнергетических объектов....	146
<b>Лебедев Н. А., Кокорин Д. В.</b>	
Повышение эффективности оценки технического состояния силовых трансформаторов на основе использования математических моделей диагностических процессов для разных схем соединения обмоток. Схема соединения «треугольник».....	151
<b>Люлина О. Ю., Мусин А. Х.</b>	
Оценка величины потерь электроэнергии на контактах автоматических выключателей.....	158
<b>Малявко Е. Ю.</b>	
Формирование компенсационных воздействий в трехфазной нелинейной системе с активным силовым фильтром.....	164

<b>Мартко Е. О.</b>	
Прогнозирование времени работы электродвигателя до отправки на ремонт.....	172
<b>Мельников А. М.</b>	
Анализ методов выявления безучетного потребления и изучение перспективных АСКУЭ с целью определения наименее затратных способов борьбы с хищениями электроэнергии и более точного формирования балансов электроэнергии.....	179
<b>Минаев В. И., Белицын И. В.</b>	
Зависимость сопротивления заземляющего устройства от интеграла Джоуля.....	184
<b>Михальцов К. В., Лымарев Р. П., Попов А. Н.</b>	
Контроль состояния повторного заземления на ВЛЭП напряжением 0,4 кВ.....	191
<b>Мусин А. Х., Зарубин А. А.</b>	
Датчик сопротивления изоляции кабельных линий напряжением 6-10 кВ.....	197
<b>Никольский О. К., Костюков А. Ф.</b>	
Методология анализа ущербов от рисков в системах сельского электроснабжения.....	202
<b>Новосёлов И. А., Попов А. Н.</b>	
Защита электроприемников от отклонений и провалов напряжения в промышленных и бытовых сетях электроснабжения	215
<b>Овсянников И. В., Хомутов С. О., Жигалин А. О.</b>	
Методы энергоресурсосбережения и повышения энергоэффективности в технологическом процессе транспортировки электроэнергии.....	219
<b>Ольферт К. Г., Стеклов Н. В., Попов А. Н.</b>	
Устройство диагностики полимерных изоляторов в сетях до 1000 В.....	224
<b>Поляков И. А.</b>	
Влияние внешних перетоков активной мощности на область допустимых режимов работы контролируемых сечений.....	231
<b>Савин И. И., Лебедев Е. Ю., Савин И. М., Седелков В. Н.</b>	
Создание особолегкой быстросборной и быстромонтируемой комплектной композитной опоры повышенной надежности для воздушных линий 6 – 10 кВ.....	236
<b>Самуйлик А. М., Компанец Б. С.</b>	
Модель изменения сопротивления полимерной изоляции.....	244

<b>Серебряков Н. А., Грибанов А. А.</b>	
Эффективность применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя.....	251
<b>Сорокина Л. В., Попов А. Н.</b>	
Разработка устройства питания инвертора для солнечных агрегатов	260
<b>Сошников А. А., Компанеев Б. С.</b>	
Формирование рационального уровня токов короткого замыкания в системах сельского электроснабжения.....	264
<b>Стальная М. И., Еремочкин С. Ю., Дедаев К. Е., Еремочкина А. В.</b>	
Разработка однофазно-трехфазного реверсивного коммутатора для управления трехфазным асинхронным электродвигателем....	272
<b>Шашко В. И.</b>	
Повышение эффективности подготовки специалистов в области надежности и диагностики электрооборудования на основе использования электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.....	280
<b>Тимофеева В. Н., Гутов И. А.</b>	
Энергоснабжение энергоэффективного автономного дома....	285
<b>Упит А. Р., Савин И. И., Гесенко Н. М.</b>	
Композитные опоры для воздушных линий электропередачи 6-10 кВ	292
<b>Федянин В. Я., Шарипов Н. Б.</b>	
Исследование эффективности извлечения возобновляемого тепла с помощью вертикального грунтового теплообменника.....	299
<b>Хамудханов М. М., Пулатов А. А.</b>	
Электромеханические соотношения многодвигательного электропривода с электрической связью по роторной цепи с общим инвертором ведомым сетью.....	308
<b>Хомутов С. О.</b>	
Особенности выполнения выпускных квалификационных работ студентами, обучающимися по электроэнергетическим профилям подготовки бакалавров.....	316
<b>Черкасова Н. И., Грищук И. С.</b>	
«Дерево отказов» и «дерево событий» для оценки риска сельских электрических сетей.....	324
<b>Черновалов С. Н.</b>	
Современная подготовка и повышение квалификации электротехнического персонала.....	330
<b>Чигирёв Д. Ю.</b>	
Индукционная установка для снятия термических напряжений в трубопроводе высокого давления.....	334

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

А. В. Андреев, А. Ю. Щербаков, А. Н. Попов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрено разработанное устройство автоматизация управления мощностью статических батарей конденсаторов в промышленных электрических сетях. Целью разработки является поддержание коэффициента реактивной мощности в заданных пределах при суточных изменениях потребления электроэнергии и с учетом перспективного роста нагрузок, а также обеспечение нормируемых параметров качества напряжения в электрических сетях промышленных предприятий по параметру отклонения напряжения. Приведены классификация и анализ существующих методов и технических средств компенсации реактивной мощности. Обоснована необходимость разработки нового устройства управления мощностью статических батарей конденсаторов. Приведены структурная и принципиальная схемы разработанного устройства.*

*Ключевые слова: качество электроэнергии, автоматизация, электрические сети*

Повышению качества электроэнергии уделяют большое внимание, т.к. оно может существенно влиять на расход электроэнергии, надежность систем электроснабжения, технологический процесс производства.

Анализ статистики отклонений показателей качества электрической энергии в электрических сетях промышленных предприятий от нормальных значений (смотри рисунок 1) демонстрирует, что наибольшая доля в материальных потерях и недополученной выгоде для производства приходится на потери связанные с низким коэффициентом мощности. Это связано с тем, что снижение этого параметра в сети вызывает целый ряд негативных последствий.

При этом возрастает ток в подводящих электроэнергию проводах по сравнению с нормальным его значением для передачи заданной мощности. Растут потери активной мощности в токопроводах и распределительной аппаратуре, что вызывает перерасход электроэнергии. Также, увеличиваются потери напряжения:  $\Delta U = \frac{PR+QX}{U}$ . По этой причине уменьшается напряжение на шинах электроприемников.

На рисунке 1 приведены доли в общей сумме материальных потерь, вызванных отклонением параметров качества электроэнергии.



Рисунок 1 – Доли в общей сумме материальных потерь вызванных отклонением параметров качества электроэнергии

Влияние этих процессов приводит к снижению надежности, экономичности работы энергосистемы, повышению себестоимости продукции и снижению конкурентоспособности предприятий на рынке производителей.

Не менее важной проблемой на промышленных предприятиях Алтайского края являются значительные отклонения напряжения. К примеру, провал напряжения даже в десятые доли секунды может привести к частичной или полной остановке сложного автоматизированного производства. Прямой и косвенный ущерб в таких случаях может достигать в масштабах страны нескольких миллионов долларов в год. На основании статистики, приведенной на рисунке 2, видно, что преобладающей частью причин, а именно 49%, являются нарушения, обусловленные отклонениями напряжения в электрических сетях от нормируемых значений.

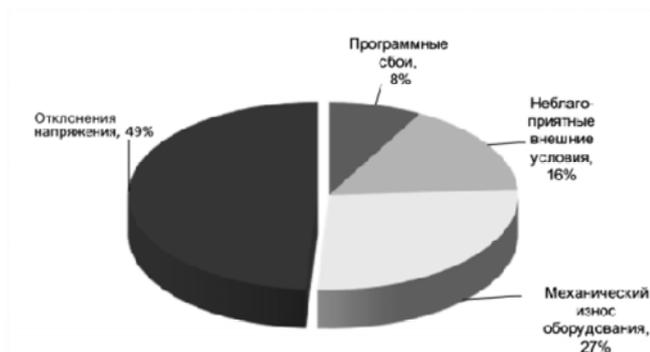


Рисунок 2 – Статистика причин нарушений работы технологического оборудования

Отклонения напряжения обычно происходят из-за неисправностей в электрических сетях или в электроустановках потребителей, а также при подключении мощной нагрузки. Они, как правило, связаны с возникновением и окончанием короткого замыкания или иного резкого возрастания тока в системе или электроустановке, подключенной к электрической сети.

При включении больших нагрузок, как, например, мощных электродвигателей, пусковые токи могут в разы превышать номинальные. Пусковые токи вызовут снижение напряжения как в питающей сети, так и на стороне нагрузки. Провалам, вызванным пусковыми токами электродвигателей, свойственны не слишком высокие значения уменьшения напряжения, но большая длительность, чем у тех, которые вызваны проблемами распределительной сети.

Одним из вариантов решений данной проблемы является компенсация реактивной мощности (КРМ) – важное и необходимое условие экономичного и надежного функционирования системы электроснабжения предприятия. КРМ предназначена для поддержания заданного режима реактивной мощности. Также, она может применяться для регулирования напряжения и устранения гармонических составляющих крупных колебаний нелинейных промышленных нагрузок. В дополнение к этому, КРМ повышает стабильность системы переменного тока за счет увеличения максимальной активной мощности, которая может быть передана [4].

На сегодняшний день существует достаточно большое количество устройств компенсации реактивной мощности, позволяющих регулировать показатели качества электроэнергии, однако даже лучшие из существующих имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих их широкое применение в промышленном электроснабжении. Ос-

новным ограничением, препятствующим использованию КРМ для улучшения качества напряжения, является отсутствие возможности автоматического регулирования в зависимости от значения напряжения в сети.

Таким образом, обоснована необходимость разработки устройства автоматизированного управления устройствами КРМ для устранения провалов напряжения в электрических сетях промышленных предприятий.

Разработанное устройство основано на принципе поперечной компенсации. Устройство можно разделить на несколько функциональных блоков, каждый из которых выполняет свою определенную функцию. Структурная схема устройства представлена на рисунке 3.

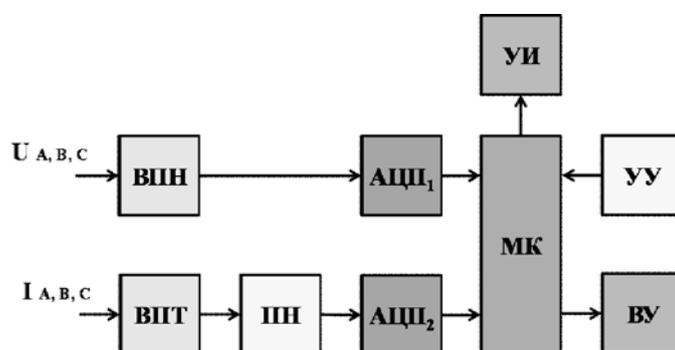


Рисунок 3 – Структурная схема разработанного устройства

Здесь входные преобразователь тока (ПТН) и преобразователь напряжения (ВПН) – это устройства, предназначенные для преобразования параметров электрической сети. Измерения тока сети производится при помощи датчика тока основанного на эффекте Холла. Входной преобразователь напряжения предназначен для гальванической развязки низковольтных цепей устройства от силовой цепи, защиты от возникающих в силовой цепи импульсов перенапряжения и помех, которые могут вывести из строя чувствительную низковольтную аппаратуру устройства или создать помехи ее работы. В аналого-цифровом преобразователе (АЦП) входным сигналом является напряжение, выходным – соответствующий этому значению цифровой код. Микроконтроллер (МК) – накапливает данные об измерениях. Устройство управления (УУ) – предназначено для управления режимов работы разработанного устройства. Выходное устройство (ВУ) – предназначено для передачи выходного управляющего сигнала формируемого МК на исполнительные механизмы либо передачи данных на регистрирующее устройство. Устройство индикации (УИ) – предназначено для

наглядного представления процессов, происходящих в сети, путем вывода данных на дисплей.

Разработанное устройство позволит повысить надежность работы ответственного технологического оборудования путем автоматического управления режимом реактивной мощности и устранения значительных отклонений напряжения в питающей его сети, что сократит экономические потери из-за перерасхода сырья, брака, повреждения оборудования и недоотпуска готовой продукции; снизит загрузку силовых трансформаторов; обеспечит электроснабжение токопроводами с меньшим сечением (за счет снижения их загрузки током) за счет частичной токовой разгрузки силовых трансформаторов и питающих кабелей появится возможность подключить дополнительную нагрузку без необходимости реконструкции сети; полностью устранить, либо уменьшить величину перенапряжений; визуально отслеживать все основные параметры работы БКУ.

#### **Список использованных источников:**

1. Схема и программа «Развитие электроэнергетики Алтайского края» на 2012-2016 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.econom22.ru/economy/prognoz/register\\_of\\_documents\\_of/Prikaz3452\\_20110612\\_.PDF](http://www.econom22.ru/economy/prognoz/register_of_documents_of/Prikaz3452_20110612_.PDF)

2. Тимофеев, А. С. Компенсация реактивной мощности [Текст] / А. С. Тимофеев, Г. З. Зайцев. – Новокузнецк, 2010.

3. Кабышев, А. В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий [Текст] : учебное пособие / А. В. Кабышев ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 234 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Андрей Викторович Андреев – e-mail: [Andreev.A.10.02.1993@gmail.ru](mailto:Andreev.A.10.02.1993@gmail.ru) <mailto:petrov@gmail.ru>; студент Александр Юрьевич Щербачков – e-mail: [scherbakov91@mail.ru](mailto:scherbakov91@mail.ru) <mailto:petrov@gmail.ru>; к.т.н., доцент Андрей Николаевич Попов – e-mail: [oleandr78@mail.ru](mailto:oleandr78@mail.ru).*

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТНО-КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

И. А. Ащеулов, А. Н. Попов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический  
университет им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрен метод проверки параметров автоматических выключателей. Дано описание устройства контроля технических параметров защитно-коммутационных аппаратов до 1000 В. Рассмотрены аналоги данного устройства.*

*Ключевые слова: автоматический выключатель, нагрузочный комплект, ток уставки.*

Каждый элемент технологического процесса современных предприятий имеет довольно сложное электротехническое оснащение, которое должно соответствовать правилам устройства электроустановок. Одним из основных элементов производства является автоматический выключатель. На всей территории Российской Федерации согласно нормативным документам на вводе питающих линий вводного устройства, вводно-распределительного устройства и главного распределительного щита необходимо устанавливать защитно-коммутационные аппараты, а именно автоматические выключатели [1].

Данный коммутационный аппарат выполняет роль защиты и управления электрической сетью.

Основными характеристиками автоматических выключателей являются:

- номинальный ток, то есть допустимая величина тока, который может протекать через выключатель, при условии работы сети в нормальном режиме;

- ток срабатывания защиты. Это характеристика величины тока при коротком замыкании или перегрузке в электрической линии;

- время срабатывания защиты. В этом случае речь идет об уставке по времени при перегрузке или коротком замыкании.

Основной функцией автоматического выключателя является защита электрической сети от перегрузок и коротких замыканий. У каждого выключателя есть свои нормируемые параметры тока и времени

отключения, которые устанавливаются заводом при изготовлении коммутационных аппаратов и должны соответствовать нормативно-технической документации.

На данный момент времени, на рынке электротехнических изделий Барнаула существует широкий ассортимент автоматических выключателей различных изготовителей. Цена на автоматические выключатели может варьироваться в широком диапазоне и различаться в несколько раз.

В наше время рыночных отношений покупатель должен находить оптимальное соотношение цена/качество. Приобретая автоматический выключатель, покупатель должен быть уверен в соответствии заявленных в техническом паспорте изделия параметров их фактическим величинам. К сожалению, не всегда присутствующие на рынке коммутационные аппараты удовлетворяют данному требованию.

Также статистика использования коммутационных аппаратов показывает, что при автоматическом отключении поврежденного участка электрической сети отмечаются случаи отказа в действии автоматических выключателей, приводящие к серьезным аварийным ситуациям, связанных с длительным прохождением токов короткого замыкания или перегрузки выше допустимой мощности электропроводки. Причиной данных аварий могут служить коммутационные аппараты, заявленные характеристики которых не соответствуют заявленным в техническом паспорте параметрам. Последствия использования таких аппаратов могут быть самые непредсказуемые, начиная от выхода из строя токопроводов и электрооборудования и заканчивая возникновением пожара [2].

Следует отметить, что не только случаи отказа иногда имеют место, но может произойти ложное срабатывание автоматического выключателя. Например, если ток срабатывания коммутационного аппарата ниже заявленного заводом изготовителем, в нормальном режиме он может произвести отключение приемников электрической энергии. На производстве последствием этого ложного срабатывания может быть остановка оборудования, что влечет за собой экономические потери. В бытовых сетях, например, отключение многоквартирного дома в сильный мороз может привести к пагубным последствиям.

Согласно нормативно - технической документации, электрические аппараты до 1 кВ испытываются как при вводе в эксплуатацию, так и в процессе их эксплуатации в сроки, определяемые графиком планово-предупредительного ремонта электрооборудования предприятия [1].

Для проведения данных испытаний, потребитель может воспользоваться услугами испытательных лабораторий, которые специализируются на проверке качества и соответствия техническим нормам устройств защиты электрических сетей напряжением до 1000 В. Однако,

услуги таких лабораторий для многих клиентов несоизмеримо дороги по сравнению со стоимостью самих автоматических выключателей.

Также на электротехническом рынке Барнаула существуют нагрузочные измерительные комплекты для испытания автоматических выключателей, такие как:

- нагрузочный испытательный прибор «СИНУС-3600» стоимостью 100880 руб.;

- нагрузочный испытательный прибор «Сатурн-М» стоимостью 608880 руб.;

- устройство испытания «РТ-2048-01» стоимостью 66930 руб. и др.

Недостатками данных измерительных комплектов является их высокая стоимость и малая мобильность из-за их больших габаритов и веса по сравнению с разрабатываемым устройством проверки технических параметров автоматических выключателей.

Эти проблемы можно решить с помощью прибора проверки технических параметров выключателей низкого напряжения. Данное устройство проверяет ток и время срабатывания при превышении установленной мощности, ток и время срабатывания при коротком замыкании. Схема устройства для проверки автоматических выключателей представлена на рисунке 1.

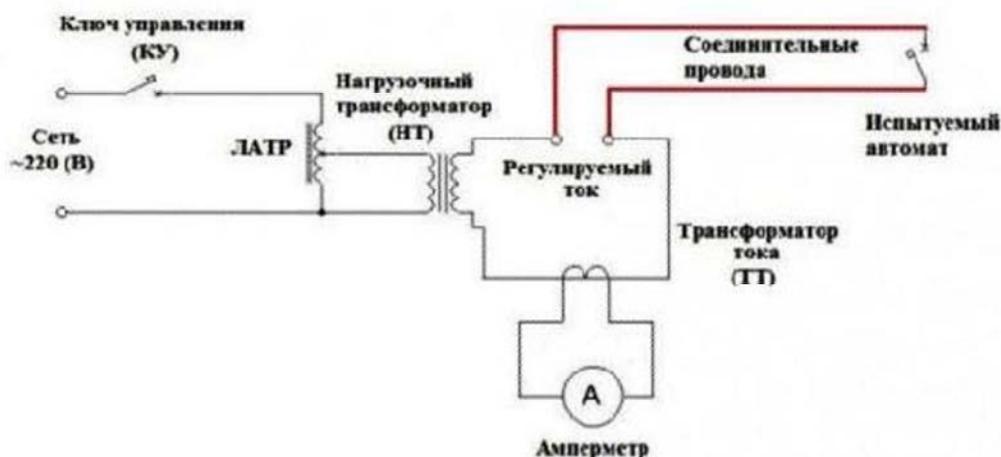


Рисунок 1 – Схема устройства для проверки параметров автоматического выключателя

Основные элементы разрабатываемого устройства:

- контакты источника питания, который вызывает протекание тока через коммутационный аппарат;
- лабораторный автотрансформатор (ЛАТР);
- ключа управления (КУ);
- нагрузочный трансформатор (НТ)
- амперметр с различными пределами измерения;
- трансформатор тока (ТТ);

- разъемы присоединения автоматического выключателя;
- табло-индикатор, на котором отображается численное значение протекающего тока, для сравнения его с нормируемыми параметрами автоматического выключателя.

Принцип работы устройства заключается в следующем. Прибор подключается к автоматическому выключателю и к сети питания. Затем он подает ток в электрическую цепь, которая проходит через выключатель. Ток постепенно увеличивается с помощью регулирующего устройства и достигает порогового значения срабатывания автоматического выключателя, который срабатывает и размыкает цепь. В итоге, реальный ток срабатывания выключателя сравнивается с его значением, указанным в паспорте изделия и делается вывод о том, насколько испытуемый выключатель соответствует заявленным заводом техническим параметрам.

Таким образом, разрабатываемое устройство, учитывая и устраняя недостатки дорогих аналогов, должно существенно снизить цену на стоимость проверки автоматических выключателей. Проверяя автоматические выключатели с помощью устройства и убеждаясь в соответствии их реальных параметров заявленным заводом изготовителем, можно существенно сэкономить средства на услуги специализированных лабораторий и покупку дорогих нагрузочных устройств, не потеряв в качестве. Данное обстоятельство позволит надеяться на повышение надежности низковольтных электрических сетей, снижение электротравматизма и пожароопасности на объектах гражданской и бытовой сферы.

#### **Список использованных источников:**

1. Библия электрика. ПУЭ, МПОТ, ПТЭ [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=57229>

2. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособие [Электронный ресурс] / Н. А. Стрельников. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. –100 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228801>

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7(385-2)29-07-76, студент Иван Андреевич Ащеулов – e-mail: [fkbeloyarsk@mail.ru](mailto:fkbeloyarsk@mail.ru); к.т.н., доцент Андрей Николаевич Попов – e-mail: [oleandr78@mail.ru](mailto:oleandr78@mail.ru).

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ АНАЛИЗА СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРА**

Д. А. Барсов, И. В. Плотников, Е. О. Мартко  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены методы диагностики электродвигателя. Предложен метод анализа сингулярного спектра. Дано описание метода анализа сингулярного спектра.*

*Ключевые слова: анализа сингулярного спектра, моделирование, электродвигатель, выход из строя, диагностика.*

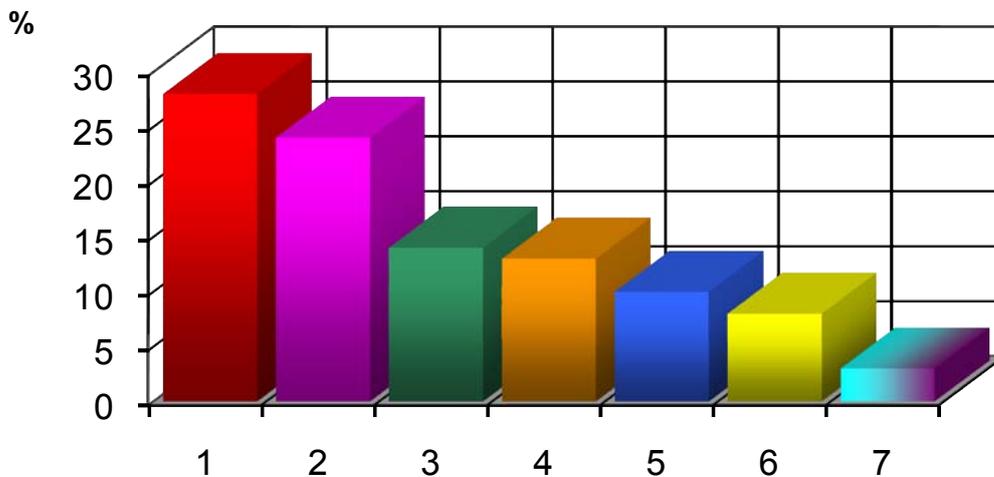
Эффективность производства в большинстве случаев определяется долговременной и надежной работой электрооборудования, при этом важную роль играют электрические двигатели. Статистика за последние 7 лет свидетельствует о том, что неожиданный выход электродвигателя из строя стал причиной основного количества аварийных ситуаций. Выход электродвигателей из строя наносит большой ущерб и может привести к остановке производства. В итоге, предприятию наносится ущерб связанный как с ремонтом и заменой электродвигателя, так и с браком и недовыпуском продукции.

На основании многочисленных исследований характера повреждений двигателей переменного тока, были получены статистические данные приведенные на рисунке 1.

Диаграмма демонстрирует, что большинство выходов электродвигателя из строя связано с замыканием в результате увлажнения электродвигателя или обрыва фазы – около 50% от общих выходов из строя. Что связано с такими факторами, как:

- низкий коэффициент использования
- качество электроэнергии
- условие эксплуатации

Низкий коэффициент использования в свою очередь тесно связан с неравномерным распределением электрической нагрузки во времени.



1 – замыкания в результате увлажнения; 2 – обрыв фазы;  
 3 – длительные перегрузки; 4 – заклинивание; 5 – перегрев;  
 6 – разрушение подшипников; 7 – прочие причины

Рисунок 1 – Причины выхода из строя электродвигателя

Стоит отметить что, эксплуатация электродвигателя, находящегося в неудовлетворительном техническом состоянии, приводит к прямым финансовым потерям и значительным косвенным затратам электроэнергии, которые обусловлены повышенным электропотреблением.

Таким образом, чтобы снизить время простоя производства и для поддержания должной работоспособности электродвигателя требуется проводить диагностирование и профилактику оборудования. В настоящее время существуют различные методы диагностики состояния электродвигателей.

Методы технической диагностики позволяют: повысить, ремонтпригодность и долговечность оборудования, безотказность предупредить аварии, прогнозировать остаточный ресурс и значительно увеличить надежность и экономичность энергетических установок. Внедрение в эксплуатацию средств и методов диагностирования обеспечивается сокращение трудоемкости и времени ремонта оборудования на 30-40% и увеличение коэффициента технического использования оборудования на 10-12%.

Например, определение технического состояния (диагностики) электродвигателя, при котором регистрируют и анализируют сигнал, порождаемый вибрацией электродвигателя, при этом также регистрируют сигнал от переменной составляющей суммы фазных токов питания, анализируют форму и амплитуду полученного сигнала и, сравни-

вая со значениями предыдущих измерений, делают вывод от возможности дальнейшей эксплуатации.

Недостатками этого способа является то, что он требует непосредственного доступа к диагностируемому двигателю, а также не позволяет с достаточной достоверностью выявить конкретный вид повреждения.

Известен способ функциональной диагностики асинхронных двигателей, согласно которому контролируются две величины - сопротивление изоляции обмоток статора относительно корпуса электродвигателя и отношение полных сопротивлений обмоток для каждой пары обмоток электродвигателя.

Недостатками данного способа являются применимость только для отдельных типов повреждений электродвигателя, связанных с возникновением несимметрии сопротивлений обмоток статора, и неприменимость к иным типам повреждений, например к повреждениям обмоток ротора.

Известен также способ диагностики электродвигателей переменного тока и связанных с ними механических устройств, основанный на анализе потребляемого двигателем тока. Сущность этого способа состоит в том, что в течение заданного промежутка времени производят запись значений фазного тока, потребляемого электродвигателем, с помощью датчика с линейной амплитудно-частотной характеристикой, выделяют анализируемые характерные частоты с помощью фильтра низких частот, преобразуют полученный сигнал из аналоговой в цифровую форму, а затем производят спектральный анализ полученного сигнала и сравнение значений амплитуд на характерных частотах с уровнем сигнала на частоте питающей сети.

Недостатком данного способа является то, что он не учитывает влияние на спектр потребляемого тока характера нагружения электродвигателя и не учитывает возможную электромагнитную несимметрию диагностируемого двигателя. Кроме того, данный способ диагностики ориентирован только на электродвигатели переменного тока.

Из всего вышеперечисленного следует, что данные методы диагностики электродвигателей:

- трудоемки
- экономически нецелесообразны
- не позволяют осуществлять диагностику без нарушения технологического процесса.

Следовательно, стоит обратить внимание на более выгодный, как в экономическом плане, так и по трудозатратам метод, позволяющий провести диагностику дальнейшей работы электродвигателя. Для ре-

шения поставленной задачи был выбран метод математического моделирования.

Поскольку причины, обуславливающие развитие постепенных отказов, являются случайными величинами, то электрическая нагрузка будет обладать случайным характером и возможностью повторяемости во времени. Поэтому в качестве метода моделирования был выбран метод анализа сингулярного спектра. Его достоинства следующие:

- не требует нарушения режима работы электродвигателя и предприятия в целом

- позволяет достаточно точно прогнозировать работу двигателя на долговременный период (зависит от количества, имеющихся данных)

- метод возможно использовать с минимальными денежными вложения

Метод анализа сингулярного спектра позволяет создать, программное обеспечение, интерфейс которого достаточно нагляден и прост в использовании.

Основная идея анализа сингулярного спектра состоит в представлении временного ряда в виде последовательности векторов достаточно большой размерности с дальнейшим анализом линейной структуры их совокупности как реализации многомерной случайной величины с помощью метода главных компонент.

Развитие компьютерной техники позволяет внедрять современные технологии в промышленности страны. Исходя из этого, предлагаемый нами метод позволит осуществлять моделирование электрической нагрузки электродвигателя без его демонтажа и вывода из эксплуатации.

#### **Список использованных источников:**

1. Мартко, Е. О. Новый подход к прогнозированию надежности электродвигателей [Текст] / Е. О. Мартко, И. В. Белицын // Материалы 2-й международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы сельского хозяйства горных территорий». – Горно-Алтайск : РИО ГАГУ, 2010. – С. 44-45.

2. Соломатин, С. Я. Основы технической диагностики [Текст]: тезисы курса / С. Я. Соломатин. – Одесса : ОГМУ, 2000.

3. Промышленность и энергетика Алтайского края [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.altaregion22.ru](http://www.altaregion22.ru) 19/10/2014.

4. Мартко, Е. О. Применение метода Singular Spectrum Analysis к прогнозированию надежности электродвигателей [Электронный ре-

курс] / Е. О. Мартко, О. И. Хомутов // VI Всероссийская научно-техническая конференция «Наука и молодежь 2009» / Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова. – Электрон, дан. – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2009. – Режим доступа: <http://edu.secna.ru/media/f/epp.pdf> – Загл. с экрана.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7(385-2)29-07-76, студент Дмитрий Алексеевич Барсов – e-mail: [Barsovd@mail.ru](mailto:Barsovd@mail.ru); студент Иван Валерьевич Плотников – e-mail: [loffta56@gmail.com](mailto:loffta56@gmail.com); старший преподаватель Екатерина Олеговна Мартко – e-mail: [martnight@mail.ru](mailto:martnight@mail.ru).

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

И. А. Бахтина, И. В. Белицын, О. П. Гизбрехт  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены основные компоненты автономной энергоустановке на основе возобновляемых источников энергии. Приведены структурная схема и основные критерии оптимизации автономных энергетических установок.*

*Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, автономная энергетическая установка, структурная схема, критерии эффективности.*

Необходимым условием научно-технического и социального прогресса человеческой цивилизации на современном этапе является увеличение потребления электрической энергии, освоение новых способов ее производства, повышение эффективности энергопотребления. Электрическая энергия по праву считается основой современной цивилизации, это наиболее важный элемент энергетического сектора, на долю которого приходится около 40 % от валового потребления энергии. Без электричества невозможна нормальная жизнь современного общества.

Важной чертой существующей энергетической системы России является её высокая централизация. Около 90 % общего количества электроэнергии производится крупными электростанциями на органическом топливе, гидравлическими и атомными станциями, которые выдают её в сеть, образованную мощными высоковольтными линиями электропередачи. 87 % населения страны получают электроэнергию централизованно.

При населении России, составляющем 2,4 % от мировой численности населения, наша страна обладает 12 % мировых запасов нефти, 35 % мировых запасов газа, 16 % мировых запасов угля и 14 % урана. Однако, несмотря на богатство органических ресурсов, половина регионов России (в том числе и Алтайский край) испытывает дефицит энергии, а в некоторых районах ситуация критическая.

Из 70 энергетических подсистем России 44 являются дефицитными по электрической мощности и энергии, причем, в половине этих энергетических подсистем дефицит составляет 50 % и более. К таким энергодефицитным регионам относится и Алтайский край. Развитие и реконструкция объектов традиционной энергетики России требуют огромных капиталовложений, так как около 57 % оборудования энергетических объектов имеет износ более 50 %, примерно 11 % – полностью выработало ресурс.

Вместе с тем, зоны децентрализованного энергоснабжения и не электрифицированные зоны составляют около 70 % территории России, на которых проживает свыше 20 млн. человек. Это территории Крайнего Севера, Дальнего Востока, Сибири, Бурятии, Якутии, Алтая, Курильских островов, Камчатки, небольшой части центральной России. Для таких регионов актуальным является использование автономных электроэнергетических систем.

В настоящее время энергоснабжение автономных потребителей обеспечивается в основном с помощью бензиновых и дизель-генераторов, эксплуатация которых сопряжена с большими затратами на периодический завоз топлива и обслуживание. Дополнительными негативными факторами использования таких установок являются выбросы продуктов сгорания в окружающую среду и шум. Серьезной экологической проблемой является загрязнение окружающей среды топливными контейнерами.

В последнее время все более широкое применение находят комбинированные дизель-ветровые или дизель-фотоэлектрические автономные энергоустановки, использование в которых возобновляемых источников позволяет экономить органическое топливо. Однако такие технические решения не приводят к кардинальному решению проблемы. Они несут с собой большинство существенных недостатков, характерных для традиционных установок на привозном органическом топливе.

В связи с ограниченностью топливных ресурсов на Земле, а также с нарастанием катастрофических изменений в атмосфере и биосфере планеты появилась необходимость перехода на альтернативные возобновляемые источники энергии (ВИЭ), в том числе применение ВИЭ для автономных энергоустановок.

Основными преимуществами ВИЭ являются неисчерпаемость и экологическая чистота. Их использование не изменяет энергетический потенциал планеты. Поэтому во всех странах растёт выработка электрической и тепловой энергии на базе возобновляемых энергетических ресурсов. Доля ВИЭ в производстве электроэнергии в ряде промыш-

ленно развитых стран составляет значительную величину: в Дании – более 12 %; Италии – 2,8 %; Испании – 2,7 %; Германии – 2,7 %; Швеции – 2,5 %; Великобритании – 2,4 %; США – 2,2 %

Использование ВИЭ является частью энергетической государственной политики. В соответствии с распоряжением Правительства РФ №1-р от 08.01.2009 г. к 2020 году в России производство электроэнергии за счет ВИЭ должно составлять 4,5% от общего производства в России, что соответствует вводу около 25 ГВт мощности. Развитие установок электроснабжения на основе ВИЭ также включено в схему и программу «Развития электроэнергетики Алтайского края на 2012 – 2016 годы» [1, 2].

В сложившейся ситуации для удовлетворения потребностей населения в электрической энергии, особенно в районах, удаленных от централизованных энергетических сетей, становится необходимым развитие автономных энергетических систем с использованием ВИЭ.

Возможность использования ВИЭ для выработки электроэнергии определяется местом расположения и климатическими условиями региона, временем года и суток, спецификой потребителя и другими факторами.

Большинство энергоустановок, использующих ВИЭ, в настоящее время еще не достигло уровня безусловной конкурентоспособности. Это обусловлено малой плотностью потока (удельной мощностью) используемой первичной энергии, вследствие чего удельная материал- и капиталоемкость установок на ВИЭ выше, чем для энергоустановок, работающих на традиционных источниках энергии.

С целью использования ВИЭ необходимо спроектировать различные варианты автономных возобновляемых энергосистем, разработать и наладить производство недорогого, надежного и эффективного оборудования к ним.

Автономные энергетические установки, использующие ВИЭ, имеют ряд особенностей, отличающие их от традиционных стационарных систем электроснабжения, реализуемых стандартными методами.

Выбор функционального устройства автономных энергоустановок определяется следующими критериями [3]:

- минимизация мощности первичных источников энергии, необходимой для обеспечения работы нагрузки;
- оптимизация состава первичных источников энергии для различных географических точек и параметрах метеогода;
- получение оценок требуемой (минимальной) совокупной массы и стоимости установки и отдельных устройств;

- получение оценок и зависимостей параметров устройств энергоустановки от режимов потребления мощности нагрузкой (нагрузками); формулирование рационального режима нагрузки;
- получение оценок рациональных параметров устройств для различных географических регионов, выявление наиболее критичных показателей устройств;
- отработка вариантов алгоритма управления режимами работы устройств энергоустановки;
- сопоставление технико-экономических показателей установки при различных ее конфигурациях и т. д.

Основной состав автономной энергоустановки на основе ВИЭ приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные компоненты автономной энергоустановки на ВИЭ

Выработка энергии первичными источниками в автономных энергоустановках на основе ВИЭ не совпадает с графиками потребления энергии потребителем, который, в общем случае, нуждается в электроэнергии, в тепловой энергии, а также, в ряде случаев, и в холоде, то ключевым компонентом автономной системы является система аккумулирования, преобразования и вторичной генерации энергии. Для обеспечения наиболее эффективного преобразования первичных видов энергии и удовлетворения нужд потребителя энергоустановка должна быть снабжена «умной» системой автоматического управления.

Типовой блок автономной энергоустановки включает в себя (рисунок 1) [4, 5]:

- первичный источник энергии (ПИЭ);
- источник электроэнергии (ИЭЭ);
- соответствующие резервные источники энергии (РПИЭ и РИЭЭ);
- преобразователи электроэнергии (П);
- распределительные устройства (РУ);
- накопители энергии (НЭ);
- блоки регулирования, защиты и управления (БРЗУ);
- систему охлаждения (СО);
- коммутационную аппаратуру (К).

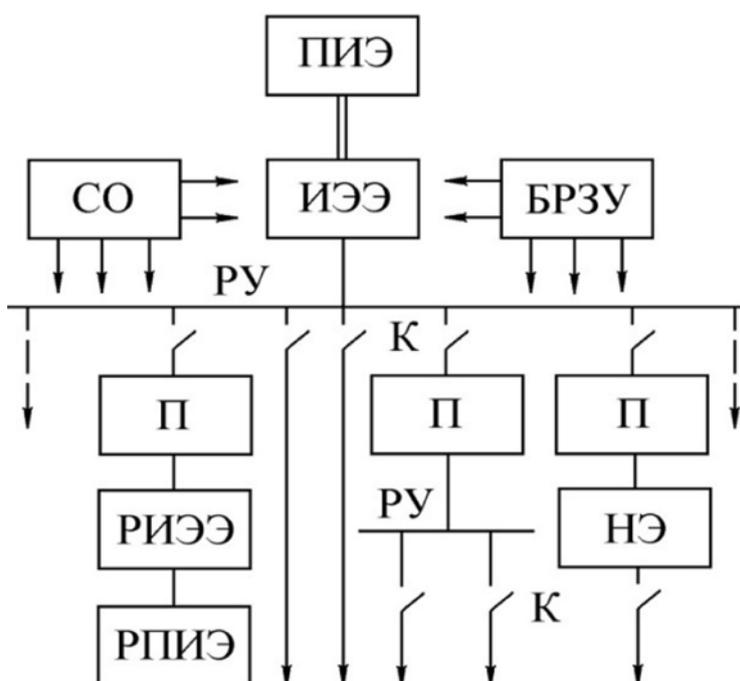


Рисунок 2 – Структурная схема типового блока автономной энергоустановки.

В структурную схему вводят также линии передачи (токопроводы) в качестве отдельных элементов [4]. Правда, их роль в автономных установках не является существенной. Создаваемые ими эффекты можно учитывать в характеристиках распределительных устройств или коммутационной аппаратуры.

Все элементы блока должны иметь согласованные характеристики и обеспечивать по заданным целевым функциям оптимальные (или близкие к ним) режимы автономной энергоустановки.

Разработанные автономные электроэнергетические системы различаются номинальной мощностью (1 – 100 тыс. кВт), величиной напряжения (12 В – 10 кВ), частотой генерируемого тока (0 – 5000 Гц), типом генератора и способом его охлаждения, типом первичного двигателя или первичного источника энергии, целевым назначением, условиями эксплуатации и другими параметрами [4, 5].

Источниками электроэнергии служат синхронные, асинхронные, индукторные электромашинные генераторы (ЭМГ), которые различаются конструкцией и способом охлаждения (воздух, водород, масло, вода, фреон), электрохимические, термоэлектрические, термоэмиссионные, магнитогидродинамические генераторы, аккумуляторные и солнечные батареи.

В качестве приводных двигателей ЭМГ используют двигатели внутреннего сгорания, паровые, ветровые, гидравлические и газовые турбины, водяные, ветровые колеса каждый со своей частотой вращения, своими особенностями работы и различными условиями эксплуатации. Для повышения мощности, надежности и живучести источников электроснабжения в экстремальных условиях ЭМГ объединяются в группы параллельно работающих единиц, т.е. создаются автономные энергетические системы с быстродействующим автоматическим управлением, энергоблоками (генератор плюс приводной двигатель) на основе современных технических средств, включая малые вычислительные машины и микропроцессоры [4 – 6].

Автономные энергоустановки, использующие ВИЭ, имеют особенности, отличающие их от традиционных стационарных систем электроснабжения, реализуемых стандартными методами. Поэтому при разработке конкретной автономной энергоустановки возникает задача выбора оптимальной компоновки оборудования с учетом электромагнитной совместимости элементов, внешних условий, тепловых режимов и технико-экономических показателей.

С точки зрения преобразования механической энергии приводного двигателя в электрическую, электрооборудование большинства автономных энергоустановок осуществляется на основе общих принципов. Однако специфический характер ВИЭ вносит существенные особенности в процессы генерирования и стабилизации электрического тока. Равенство мощностей нагрузки генератора и первичного источника механической энергии приводит к взаимному влиянию автономной электрической сети, генератора и приводного двигателя. Поэтому процессы в таких энергосистемах рассматривают на основе системного подхода с учетом характеристик всех элементов, входящих в автономную систему электроснабжения. Временные изменения мощности энергоносителя, характерные для природных источников энергии, а также изменение величины нагрузки в соответствии с нуждами потре-

бителя определяют повышенные требования к системам стабилизации выходных параметров автономного источника электропитания. Комплексный подход к исследованию автономных электроустановок заключается в анализе характеристик всех элементов системы и выявлении их особенностей и взаимосвязей. С целью снижения вероятности принятия нерациональных технических решений проводят поэтапное физическое моделирование основных элементов и подсистем автономной энергоустановки, обеспечивающее проверку правильности принимаемых решений [4, 5, 7].

Для выбора источника электроэнергии, элементов и аппаратов коммутационной аппаратуры и построения блоков регулирования, защиты и управления проводится анализ критериев оптимизации автономной энергоустановки.

Типичными критериями эффективности автономной энергоустановки являются: критерий массы, КПД, показатели надежности и качества электроэнергии, технико-экономические показатели и др. [4].

Критерии массы включают:

- установленную массу (объекта, агрегата, системы и т.п.);
- конструктивную массу (установленную массу с добавлением массы оборудования, необходимого для работы первичного объекта);
- удельную массу на единицу установленной мощности  $m$  (кг/кВ·А или кг/кВт) или энергии (кг/кДж);
- массу функционирования (массу топлива, хладагента, смазки, требуемой для непосредственного действия объекта);
- стартовую массу (суммарную массу объекта и всех компонентов, обеспечивающих его работу в течение заданного времени).

Во многих случаях критерии массы для автономной энергоустановки считаются приоритетными, и целью разработок является минимизация удельной массы. Такой подход связан в большей мере с традицией, чем с реальной оптимизацией автономной энергоустановки, которая требует учета, помимо  $m$ , других показателей.

Коэффициент полезного действия  $\eta$  установки определяет эффективность преобразования энергии.

Главные показатели надежности автономной энергетической установки – интенсивность отказов  $\lambda$  (статистическая характеристика) и вероятность безотказной работы за время  $t$ .

Требования к показателям качества электроэнергии определяются потребителями и непосредственно влияют на конструктивные и схемные особенности, а также массу и стоимость источников и преобразователей электроэнергии. Качество электроэнергии характеризуется стабильностью показателей, длительностью и характером переходных процессов, перерывами в питании.

Стабильность показателей оценивается их отклонением от номинального значения за определенное время, среднеквадратичными флуктуациями, относительной ролью высших гармоник (для переменного тока).

Если зависимость удельной массы  $m$  от частоты  $f$  или напряжения  $U$  носит падающий характер, то для надежной работы оборудование проектируют на наименьшие значения  $f_{min} = f_n - \Delta f$  и  $U_{min} = U_n - \Delta U$ , которым соответствуют увеличенные значения  $m$ , по сравнению с номинальными ( $\Delta f$  и  $\Delta U$  – отклонения частоты и напряжения).

С другой стороны, повышение качества электроэнергии требует усложнения регулировочной аппаратуры и увеличения затрат на оборудование.

Главными технико-экономическими показателями агрегата или системы являются суммарные затраты, связанные со стоимостью и эксплуатацией оборудования, а также удельные затраты на единицу мощности (энергии).

Автономная энергоустановка должна иметь, с одной стороны, низкие стоимость и эксплуатационные затраты, а с другой, должна быть надежной, простой в эксплуатации и автоматизированной.

Для стационарной системы электроснабжения критерий массы не имеет принципиального значения. Для таких систем оптимизацию проводят по стоимости, надежности и качеству электроэнергии [4].

Таким образом, в автономной энергоустановке для электроснабжения объектов небольшой мощности целесообразнее использовать электромашинные генераторы переменного тока, так как они в большей степени соответствуют требованиям потребителей.

Для обеспечения высокой надежности работы автономных энергетических систем на основе ВИЭ и заданного уровня качества электроэнергии требуется полная автоматизация процесса преобразования энергии и максимальное упрощение эксплуатации и обслуживания таких установок.

#### **Список использованных источников:**

1. Иванов, В. М. Использование возобновляемых источников энергии в Алтайском крае [Текст] / В. М. Иванов, П. П. Свит, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Иванова, И. А. Бахтина // Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2013: сборник статей I Международной научно-технической конференции / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 54 – 57.

2. Сёмкин, Б. В. Перспективы автономной энергетики в Алтайском крае [Текст] / Б. В. Сёмкин, И. А. Бахтина, П. В. Степанова, С. В. Ильиных // Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2013:

сборник статей I Международной научно-технической конференции / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 93 – 96.

3. Попель, О. С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии [Текст] / О. С. Попель // Энергосбережение. – 2006, №3. – С. 70 – 76.

4. Бут, Д. А. Синтез автономных электроэнергетических систем [Текст] / Д. А. Бут // Электричество. – 1994, №1. – С. 1 – 17.

5. Атрощенко, В. А. Современное состояние и перспективы развития систем автономного электроснабжения [Текст] / В. А. Атрощенко, О. В. Григоращ, В. В. Ланчу // Промышленная энергетика. – 1995, №5. – С. 33 – 36.

6. Григоращ, О. В. Современное состояние и перспективы применения асинхронных генераторов в автономной энергетике [Текст] / О. В. Григоращ // Промышленная энергетика. – 1995, №3. – С. 29 – 32.

7. Лукутин, Б. В. Использование механической энергии возобновляемых природных источников для электроснабжения автономных потребителей [Текст] / Б. В. Лукутин, Г. А. Сипайлов – Фрунзе: Изд-во «Илим». – 1987. – 136 с.

***Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», магистрант Ирина Алексеевна Бахтина – e-mail: [bia-altai@gmail.ru](mailto:bia-altai@gmail.ru), тел. +7(385-2)29-07-78; к.п.н., доцент Игорь Владимирович Белицын – e-mail: [b\\_i\\_w@mail.ru](mailto:b_i_w@mail.ru), тел. +7(385-2)29-07-76; студент Олег Петрович Гизбрехт – e-mail: [oleg.gizbreht@gmail.ru](mailto:oleg.gizbreht@gmail.ru) .*

## **ПОИСК И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 КВ**

Н. А. Блинов, А. И. Вольченко, А. Н. Попов  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена проблема поиска и определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи в сетях до 35 кВ. Представлена общая концепция устройства обнаружения мест повреждения и его реализация в рамках программных средств компьютерного моделирования.*

*Ключевые слова: короткое замыкание, воздушная линия электропередачи, устройство обнаружения мест повреждения, тестовый сигнал, микросхема.*

Ухудшение качества электроэнергии оказывает гигантское влияние на надежность, экономичность и срок службы электроприемников. Ухудшение качества неизбежно приведет к существенному ущербу, который понесут как непосредственно потребители электроэнергии, так и сама энергетическая компания. Причем качество предоставляемой энергии зависит не только от генерирующих мощностей, но в большей степени и от передающих эту энергию электросетей.

По сему, нельзя не обратить внимание тот факт, что наряду с прочими проблемами энергетики в области повышения качества электроэнергии, весьма существенна проблема обнаружения мест повреждения (МП) воздушных линий в сетях 0,4, 10 и 35 кВ. Именно эти сети являются наиболее протяженными и разветвленными среди прочих и связывают конечных потребителей с энергосистемой. Поэтому повреждение этих сетей крайне негативно сказывается на электроснабжении. Кроме того, поиск МП затруднен в силу все той же разветвленности сетей и сопряжен с большими затратами времени, человеческих сил и др. Для сокращения времени обнаружения МП применяются специальные приборы, регистрирующие наличие повреждения на заданном участке сети и сигнализирующие об этом [1].

Весомая часть (57%) коротких замыканий (КЗ) на воздушных линиях (ВЛ) электропередачи, вызванных перекрытием и разрушением

изоляторов, где главной причиной являются атмосферные перенапряжения.

Помимо повреждения элементов ВЛ, короткие замыкания, вызывающая аварийное отключение, приводят в некоторых случаях значительному недоотпуску электроэнергии с соответствующим народнохозяйственным ущербом. Этот ущерб во многом определяется характером производства потребителя электроэнергии [2].

На текущий день существует немалое количество методов обнаружения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях, что говорит и насущности проблемы и ее значимости. Все методы делятся на дистанционные и топографические. Среди топографических методов наиболее применимым является электромеханический метод, позволяющий определить место повреждения с высокой точностью и не требующий дополнительного переносного воспринимающего оборудования для бригады, как остальные топографические методы. Кроме того, устройства, основанные на этом методе самостоятельно возвращаются в исходное состояние при введении контролируемой линии в работу и не требуют участия человека.

Основываясь на проработанной вышеизложенной информации, считаем наиболее практически необходимым создание устройства на основе топографического электромеханического метода ОМП с применением в качестве замены электронные компоненты и микроконтроллеры.

Проанализировав представленные на рынке приборы ОМП не трудно заметить, что функционал данных приборов крайне широк и обеспечивает полный контроль за наблюдаемым участком воздушной линии. Однако большое количество функций и возможностей прибора неминуемо приводит к критичному удорожанию схемы и, как правило, бессмысленному, в рамках поставленной задачи, усложнению конструкции устройства. Соответственно, закупка подобных приборов электроснабжающими компаниями зачастую становится невыгодной, поскольку при использовании на линиях до 35 кВ не требуется настолько широкий спектр функций, а достаточно минимального набора по сходной цене. На данный момент рынок узкоспециализированных устройств ОМП, рассчитанных на напряжение до 35 кВ крайне мал. Эти факторы позволяют говорить о возможной конкурентоспособности разработки.

Проверка эффективности работы разработанного устройства производилась с помощью компьютерного моделирования в среде программы эмуляции электрических схем PROTEUS 7.9. Программа

позволяет в полной мере произвести все необходимые испытания максимально приближенно к реальным условиям.

Для выполнения всех требуемых расчетов и вычислений была разработана и написана программа для микроконтроллера в программной среде MikroPascal for AVR на языке МикроПаскаль. Язык МикроПаскаль представляет собой доработанный язык Паскаль применительно к требованиям работы микроконтроллеров с дополнительными библиотеками и процедурами.

Моделирование проводилось с подключением устройства к сети 5В и 12В. На рисунке 3 представлена схема устройства, собранная в среде PROTEUS.

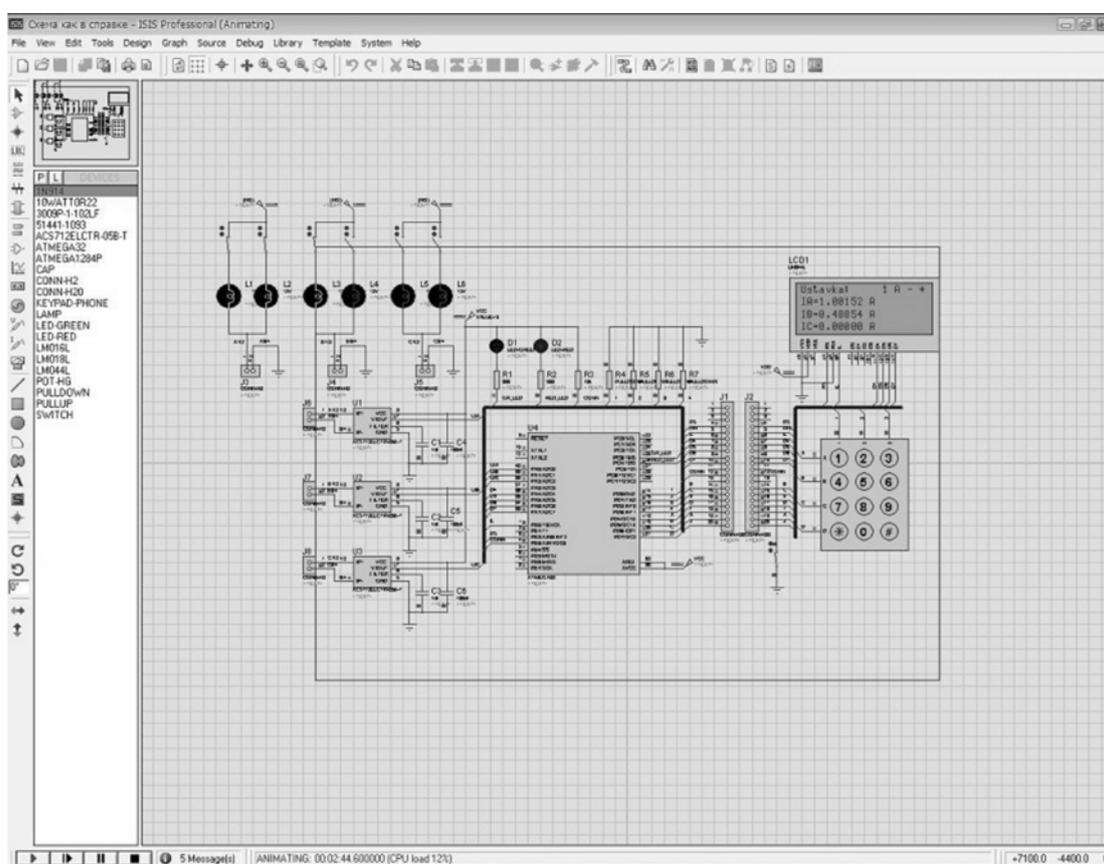


Рисунок 1 – Процесс работы устройства ОМП в программной среде PROTEUS

На изображении виден принцип работы устройства. Перед использованием устройства его необходимо соединить с контактной частью программатора и ввести значение токовой уставки. База постоянно производит опрос портов подключения программатора для начала ввода данных. После введения уставки, прибор полностью готов к работе.

Устройство воспринимает и считывает показания величины тока в линии. Далее входные данные обрабатываются и сравниваются с величиной токовой уставки, предустановленной с помощью программатора в ПЗУ микроконтроллера. При превышении входящим током величины уставки, срабатывает система оповещения, сигнализирующая о прохождении тока короткого замыкания на ответственном участке линии (горит красный светодиод). Опрос линии устройством не прекращается и поэтому, в том случае, если на линии установлено АПВ, то при успешном срабатывании автоматического повторного включения, устройство автоматически отключает тревожную сигнализацию и переводит блок индикации в штатный режим (горит зеленый светодиод).

В ходе реальных испытаний созданного прототипа устройства была доказана правильность результатов, полученных с помощью компьютерного моделирования. Дешевизна и доступность элементов схемы, простота сборки и малое потребление мощности делает его конкурентно-способным на фоне существующих дорогостоящих аналогов.

#### **Список использованных источников:**

1. Устройства для определения мест повреждения на воздушных электрических линиях [Электронный ресурс]. – Адрес ресурса в интернете. – <http://electricalschool.info/main/ekspluat/406-ustrojstva-dlja-opredelenija-mest.html>.

2. Айзенфельд, А. И. Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлениями [Текст] / А. И. Айзенфельд, Г. М. Шалыт. 2-е изд. - М. : Энергоатомиздат, 1988. – 202 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», магистрант Николай Александрович Блинов – e-mail: [tod\\_fuse@list.ru](mailto:tod_fuse@list.ru); магистрант Александр Игоревич Вольченко – e-mail: [volchenko007@gmail.com](mailto:volchenko007@gmail.com); к.т.н., доцент Андрей Николаевич Попов – e-mail: [oleandr78@mail.ru](mailto:oleandr78@mail.ru).*

## **ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Д. А. Валов, А. Г. Соколов, А. А. Грибанов

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены проблемы выбора мероприятий по обеспечению качества электрической энергии. Описана многовариантность решение указанной проблемы. Показана важность разностороннего рассмотрения и учёта важнейших параметров системы «электроприёмник – электрическая сеть».*

*Ключевые слова: качество электроэнергии.*

Качество электрической энергии является важнейшей совокупностью параметров, определяющей возможность эффективной совместной работы системы электроснабжения и электроприёмников. Для обеспечения нахождения параметров качества электрической энергии в нормируемых пределах необходимо выполнить комплекс технических мероприятий, минимальный набор которых можно свести к следующему:

- оценка нахождения значений параметров качества электроэнергии в нормируемых пределах;
- выделение показателей, для которых выявлен выход их значений за установленные нормативными документами пределы;
- выявление причин выхода значений показателей качества электроэнергии за нормируемые границы;
- формирование системы корректирующих технических мероприятий для приведения значений показателей качества электроэнергии к нормируемым и устранения причин этого явления.

На практике первому из указанных мероприятий может предшествовать наличие нарушений нормального протекания технологического процесса производства продукции или большое количество брака. В этом случае потребитель электроэнергии заинтересован в выяснении объективных причин ухудшения качества электроэнергии и их устранении.

Для реализации первых двух мероприятий на рынке представлено большое количество анализаторов качества электроэнергии, позволяющих интеллектуально решать поставленные задачи на основе слежения за значениями параметров на протяжении довольно длительных промежутков времени. По полученной информации можно сделать выводы о наличии либо отсутствии фактов выхода значений параметров качества электроэнергии за установленные нормативами пределы. Судить же о причинах наблюдаемых отклонений без анализа дополнительной информации не представляется возможным.

По умолчанию ответственность за обеспечение качества электрической энергии несёт электроснабжающая организация. Поэтому предполагается, что сетевая организация обладает всей полнотой ответственности по обеспечению нормируемых значений показателей качества электроэнергии.

Несмотря на то, что понятие «мероприятие по повышению качества электроэнергии» кажется ясным без особых разъяснений, необходимо все же конкретизировать, какие действия, направленные на повышение качества электроэнергии, можно отнести к этим мероприятиям.

Необходимо отметить условия, при которых мероприятия по повышению качества электроэнергии можно включать в нормативный документ, устанавливающий отчётность об их проведении. Перечень любых возможных мероприятий по повышению качества электроэнергии полезно приводить в учебной литературе. Условием же их включения в перечень работ по повышению качества электроэнергии является, во-первых, наличие способа четкой количественной оценки его воздействия на качество электроэнергии, а во-вторых, хоть какая-то предварительная оценка его весомости. Эффективность мероприятий по повышению качества электроэнергии может оцениваться в первую очередь в виде экономии денежных средств и продления срока службы электрооборудования.

Вопрос о необходимости отчётности о проведённых (и особенно о планируемых) мероприятиях по повышению качества электроэнергии можно поставить и более кардинально.

Проведение мероприятий по повышению качества электроэнергии является внутренним делом сетевой организации.

В их проведении сетевая организация заинтересована в большей степени, чем организации, требующие такую отчётность. Все внешние воздействия на сетевую организацию в части качества электроэнергии должны ограничиваться нормами качества электроэнергии. Устойчивость и надёжность работы электрических сетей являются важными

показателями, однако в этих областях отсутствует централизованная система планирования и отчётности мероприятий по повышению этих показателей.

Для проведения любого мероприятия по повышению качества электроэнергии требуются организационные усилия, и любое мероприятие является техническим. Поэтому все действия, предшествующие реальному проведению мероприятию, целесообразно считать «мероприятиями по организации работ по повышению качества электроэнергии». В их число входят:

- выпуск организационно-распорядительных документов, устанавливающих ответственность подразделений и конкретных лиц за различные участки работ по контролю качества электроэнергии;

- проведение мероприятий по повышению квалификации работников;

- проведение расчётов по определению причин отклонений показателей качества электроэнергии, анализ показателей качества электроэнергии с целью выявления мест с повышенными отклонениями, выбор мероприятий с оценкой их эффективности;

- разработка плана мероприятий;

- выделение средств и материальных ресурсов для приобретения необходимого оборудования, его доставки и установки;

- разработка системы стимулирования персонала по контролю качества электроэнергии;

- введение системы контроля проведения работ по повышению качества электроэнергии и соответствующей системы их учёта и анализа;

- установление в договорах электроснабжения условий потребления реактивной энергии потребителями в соответствии с действующими нормативными документами.

Собственно же мероприятиями по повышению показателей качества электроэнергии являются практические действия, приводящие к реальному повышению показателей качества электроэнергии.

Исходя из особенностей получения эффекта, мероприятия по повышению показателей качества электроэнергии могут быть разделены на следующие три группы:

- мероприятия по улучшению режимов работы электрических сетей;

- мероприятия по реконструкции электрических сетей, осуществляемые с целью повышения показателей качества электроэнергии;

- мероприятия по совершенствованию системы контроля качества электроэнергии;

Воздействие на потребителей с целью реализации ими режимов потребления реактивной энергии, установленных в договорах электроснабжения (в том числе за счёт установки компенсирующего устройства в своих сетях) трудно считать мероприятием по улучшению качества электроэнергии, проводимым энергоснабжающей организацией, в силу отсутствия механизма такого воздействия. Потребитель вправе как устанавливать компенсирующее устройство, так и оплачивать повышенное потребление реактивной энергии.

В чем может заключаться «воздействие», заставляющее потребителя выбрать именно первый путь? К тому же энергоснабжающая организация часто предпочитает получить денежную компенсацию, не особо настаивая на установке компенсирующего устройства.

К мероприятиям по улучшению режимов электрических сетей относятся:

- реализация оптимальных режимов замкнутых электрических сетей 110 кВ и выше по напряжению и реактивной мощности;

- установка и ввод в работу автоматических регуляторов напряжения на трансформаторах с РПН и автоматических регуляторов реактивной мощности на ее источниках;

- установка на подстанциях средств телеизмерений параметров режима сети и средств АСКУЭ;

- перевод неиспользуемых генераторов электростанций в режим синхронных компенсаторов при дефиците реактивной мощности в узлах сети;

- проведение переключений в схеме сети, обеспечивающих снижение потерь электроэнергии за счет перераспределения ее потоков по линиям, в том числе за счет оптимизации мест размыкания контуров различных номинальных напряжений;

- осуществление регулирования напряжения в центрах питания радиальных сетей 6–110 кВ, обеспечивающего минимальные потери электроэнергии в сети при допустимых отклонениях напряжения у потребителей электроэнергии;

- размыкание линий 6–35 кВ с двухсторонним питанием в точках, обеспечивающих электроснабжение потребителей при минимальных суммарных потерях электроэнергии в сетях 6–35 кВ и выше и сохранении необходимой надёжности электроснабжения;

- отключение в режимах малых нагрузок одного из трансформаторов на подстанциях с двумя и более трансформаторами;

- выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ.

К мероприятиям по реконструкции электрических сетей относятся:

- разукрупнение подстанций, ввод дополнительных воздушных линий и трансформаторов для разгрузки перегруженных (по экономическим, а не техническим условиям!) участков сетей, замена малозагруженных трансформаторов на подстанциях (в том числе и их перемещение на другие подстанции), ввод дополнительных коммутационных аппаратов, обеспечивающих возможность переключения участков сетей на питание от других подстанций, и т. п.;

- ввод компенсирующих устройств на подстанциях сетевой организации;

- ввод технических средств регулирования потоков мощности по линиям (трансформаторов с продольно-поперечным регулированием и вольтодобавочных трансформаторов).

Замену трансформаторов с ПБВ, переключение ответвлений которых возможно только при отключении трансформатора от сети, на трансформаторы с РПН, переключение ответвлений которых возможно и под нагрузкой, проводят, как правило, для обеспечения требуемого качества электроэнергии.

Однако возлагать ответственность за отклонение параметров качества электроэнергии только на электроснабжающую организацию было бы неправильно. В ряде случаев для выяснения причин отклонения параметров качества электроэнергии от нормативных необходимо проанализировать состав оборудования потребителей, получающих питание от данного источника. Вполне может оказаться, что ряд электроприёмников нуждается в специальных мерах по обеспечению их электромагнитной совместимости с электрической сетью и с другими электроприёмниками. Поэтому на уровне потребителей электроэнергии тоже можно осуществлять мероприятия по обеспечению качества электроэнергии, не ограничиваясь компенсацией реактивной мощности. Эти мероприятия можно разделить на несколько категорий:

- рационализация электроснабжения, заключающаяся, в частности, в повышении мощности сети, в питании нелинейных потребителей повышенным напряжением;

- улучшение структуры, например обеспечение номинальной загрузки двигателей, использование многофазных схем выпрямления, включение в состав потребителя корректирующих устройств;

- использование устройств коррекции качества – регуляторов одного или нескольких показателей качества электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности многовариантного решения задачи обеспечения нормируемых показателей качества электроэнергии. Однако на практике эта многовариантность не

учитывается и принимается к реализации либо сравнительно простое типовое решение, не всегда обеспечивающее требуемый результат из-за исключения из рассмотрения важнейших особенностей системы «электроприёмник – электрическая сеть», либо решение индивидуальное и узконаправленное, дорогостоящее, но не обеспечивающее комплексность решения проблемы. Ситуация может неоднозначно интерпретироваться в случае одновременного отклонения значений нескольких показателей качества электроэнергии.

С практической точки зрения интерес представляет алгоритм действия потребителя электроэнергии при обнаружении периодического отклонения значения одного или нескольких параметров качества электроэнергии за установленные действующими нормами пределы. Однако такой алгоритм отсутствует, и все действия потребителя сводятся к обращению к электроснабжающую организацию. Далее, в зависимости от компетентности электротехнического персонала потребителя, возможны два сценария развития ситуации:

- электроснабжающая организация решает проблему несоответствия качества электроэнергии нормативным значениям своими силами;

- заключается энергосервисный контракт с потребителем и фактически проблема решается за его счёт. При этом электросетевая организация получает определённую долю прибыли, а с технической точки зрения может наблюдаться эффект, описанный выше.

Тем не менее, может случиться так, что источником снижения качества электроэнергии является другой потребитель, о чём уже упоминалось выше. В этой ситуации нет чёткого алгоритма действий потребителя по согласованию параметров системы «электроприёмник – электрическая сеть – электроприёмник». Даже если потребитель устанавливает устройства коррекции качества электроэнергии и ликвидирует негативное влияние электроприёмника, установленного у другого потребителя, то нет однозначного понимания, кто в этой ситуации должен нести ответственность, а если ответственность групповая, то как она должна быть распределена.

Поэтому на сегодняшний день остаётся не решённым ряд практически значимых проблем в области обеспечения качества электроэнергии, связанных с координацией усилий потребителей электроэнергии и электросетевой организацией в случае наличия информации об источнике ухудшения качества электроэнергии, а с другой стороны – отсутствия однозначного механизма принятия решения о видах используемых решений при повышении качества электроэнергии в конкретной ситуации.

### **Список использованных источников:**

1. Карташев, И. И., Управление качеством электроэнергии [Текст] / Карташев, И. И., Тульский, Р. Г., Шамонов В. Н. [и др.]; под ред . Ю. В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.
2. Горюнов, И. Т. Основные принципы построения системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии [Текст] / И. Т. Горюнов, В. С. Мозгалев, Е. В. Дубинский и др. // Электрические станции. – 1998. – № 12.
3. ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст]. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2012 – 20 с.
4. Дубинин, В. В. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях [Текст] / В. В. Дубинин, А. Н. Попов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4-2. – С. 66-71.
5. Дейс, Д.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике [Текст] : учебное пособие / Д.А. Дейс. – Чита, ЧитГУ, 2008. – 171 с.
6. Щигирев, Е. А. Анализ состояния и тенденции развития контроля качества электрической энергии [Текст] / Е. А. Щигирев, Е. В. Ильяшенко, В. В. Киселев // Материалы конференции «Энергия белых ночей – 2014». – Санкт-Петербург, 2014. – С. 109-126.
7. Щигирев, Е.А. Общая концепция построения измерительных систем контроля качества электрической энергии в электросетевых компаниях [Текст] / Е. А. Щигирев, В. В. Киселев, Е. В. Ильяшенко // Энергоэксперт. – 2012. – №1.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студенты Дмитрий Анатольевич Валов, Артем Геннадьевич Соколов – e-mail: d1manv@live.com; к.т.н., доцент Алексей Александрович Грибанов – e-mail: diread@mail.ru.*

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ИНТЕГРИРОВАННОГО РИСКА ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Н. П. Воробьев, А. Ф. Костюков  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»

*В статье рассмотрен метод прогнозирования техногенных рисков в системах сельского электроснабжения. Разработан алгоритм определения показателя интегрального риска электроустановок на основе экспертных данных. Приведены результаты экспертного обследования электроустановки.*

*Ключевые слова: риск, электроустановка, модель, техногенный.*

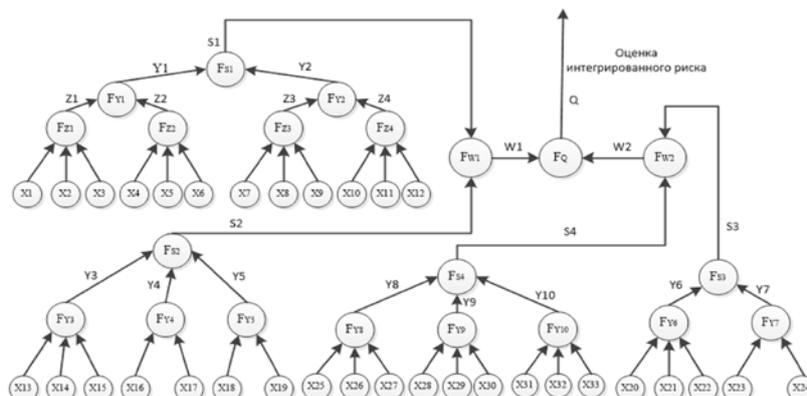
Оценка и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса представляет важную задачу управления техногенной безопасности отрасли. Управление техногенной безопасностью электрохозяйства агропромышленного комплекса может быть произведено на основе оценки и прогнозирования интегрального риска электроустановки. Риск оценивают вероятностной характеристикой (безразмерной величиной от 0 до 1), но могут использовать и частоту реализации риска. [1] Первопричины риска: отказы в работе узлов и оборудования вследствие их конструктивных недостатков, плохое техническое изготовление или нарушение правил технического обслуживания и пр. Идентифицированные опасности должны быть оценены на основе критериев приемлемого риска с целью выделения опасности с неприемлемым уровнем риска, этот шаг послужит основой для разработки рекомендаций и мер по уменьшению опасностей. [2] Первый подход к оценке риска — инженерный, он опирается на статистику поломок и аварий, на вероятностный анализ безопасности: построение и расчет деревьев событий и деревьев отказов, процесс основан на ориентированных графах. Второй подход - модельный, — построение моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду. Упомянутые подходы основаны на расчетах, однако для таких расчетов далеко не всегда хватает надежных исходных данных. В этом случае приемлем третий подход — экспертный: вероятности различных событий, связи между ними и последствия аварий определяют опросом опытных экспертов, что нами и сделано.

Для оценки интегрального риска  $R_{\Sigma}$  введем пятибалльную лингвистическую шкалу (таблица 1) с интервальными значениями согласно нормативно-технической документации [3], [4], [5].

Таблица 1 - Лингвистическая шкала оценки интегрального риска

Вид интегрального риска $R_{\Sigma}$	Оценка риска [частота событий в год]
Очень малый	Пренебрежительный - ( $10^{-7} - 10^{-9}$ )
Малый	Приемлемый - ( $10^{-5} - 10^{-7}$ )
Средний	Допустимый - ( $10^{-3} - 10^{-5}$ )
Высокий	Неприемлемый - ( $10^{-2} - 10^{-3}$ )
Очень высокий	Катастрофический - [ $>10^{-2}$ ]

Рассмотрим систему электроснабжения сельских населенных пунктов. Ограничимся воздушными линиями напряжением 0,4 кВ с заземленной нейтралью, питающих от трансформаторных подстанций потребители. На рисунке 1 изображена разработанная структурная схема оценки интегрального риска электроустановки (ИРЭ). Структурная схема оценки ИРЭ по рисунку 1 поясняется таблицей 2. В таблице 2 представлены рискообразующие факторы (РОФ) системы человек-электроустановка-среда (Ч – ЭУ – С). В таблице 2 ДПВР - доля (вес) в совокупности причин возникновения рисков. ДПВР\* - то же самое, но после приведения  $X_{13}=0,084$  как наибольшего по величине РОФ в системе к 0,5 (0,5 – значение параметра, обеспечивающее линейность описания поверхности).



X1 – X33 – рискообразующие факторы; Y1 – Y7, Z1 – Z4, S4, W1 – W2 – промежуточные переменные, свертки РОФ и промежуточных переменных, осуществляемые посредством логического вывода по нечетким базам знаний - нетерминальные вершины, то есть связь между входными и промежуточными переменными; S1, S2, S3, Y8, Y9, Y10 – промежуточные переменные формирования влияния на ИРЭ, соответственно, человека, электроустановки, среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических показателей и инновационных показателей в системе (Ч – ЭУ – С); Q – выходная переменная – интегральный риск электроустановки

Рисунок 1 – Структурная схема оценки ИРЭ

Таблица 2 - Рискообразующие факторы системы (Ч – ЭУ – С)

Компонент системы	Обозначение рискообразующего фактора	Наименование рискообразующего фактора	Доля (вес) в совокупности причин возникших рисков	Обратная величина доли в совокупности причин возникших рисков (ОВДС)	Лингвистическая оценка риска ЭУ
Человек (Ч)	X1	Производственная дисциплина	0,042	23,8	низкая
					средняя
					высокая
	X2	Контроль за процессом производства	0,041	24,4	низкий
					средний
					хороший
	X3	Соблюдение безопасных приемов труда	0,036	27,8	плохое
					удовлетвор.
					хорошее
	X4	Уровень профессионализма	0,034	29,4	низкий
					средний
					высокий
X5	Самообладание в экстремальных ситуациях	0,034	29,4	неудовлетвор.	
				удовлетвор.	
				хорошее	
X6	Ритмичность производства	0,031	32,26	низкая	
				средняя	
				высокая	
X7	Обученность действиям в нестандартных ситуациях	0,031	32,26	неудовлетвор.	
				удовлетвор.	
				хорошая	
X8	Навыки выполнения работы	0,022	45,45	плохие	
				средние	
				хорошие	
X9	Выполнение технологического процесса	0,018	55,6	плохое	
				удовлетвор.	
				хорошее	
X10	Физическое состояние	0,001	1000	плохое	
				удовлетвор.	
				хорошее	
X11	Психологические показатели	0,001	1000	плохие	
				удовлетвор.	
				хорошие	
X12	Профессиональная мотивация	0,001	1000	слабая	
				удовлетвор.	
				высокая	

Продолжение таблицы 2

Компонент системы	Обозначение фактора	Наименование фактора	Доля (вес) в совокупности причин возникших рисков	Обратная величина доли в совокупности причин возникших рисков (ОВДС)	Лингвистическая оценка риска ЭУ
Электроустановка (ЭУ)	X13	Возможность отказа (неназванных) мер электрической защиты	0,084	11,9	низкая
					средняя
					высокая
	X14	Длительность воздействия опасных и вреднодействующих факторов	0,072	13,9	малая
					средняя
					большая
	X15	Степень физического износа электропроводки и электрооборудования	0,068	14,7	низкая
					средняя
					высокая
	X16	Наличие (укомплектованность) мер безопасности электроустановки	0,054	18,5	неудовлет.
					удовлет.
					хорошее
	X17	Степень морального износа узлов электроустановки	0,047	21,3	низкая
					средняя
					высокая
	X18	Уровень воздействия в системе источников опасных и вреднодействующих факторов	0,041	24,4	низкий
					средний
					высокий
	X19	Надежность (безотказность) узлов и конструкций электроустановки	0,039	25,6	низкая
					средняя
					высокая

Компонент системы «Человек» характеризуется РОФ X1 – X12 (таблица 2). Они с помощью промежуточных логических сверток Z1, Z2, Z3, Z4, Y1, Y2, S1 позволяют получить оценку влияния человека на оценку ИРЭ, которая формируется на выходе S1. Аналогично компоненты системы «Электроустановка», «Среда», «Законодательная и нормативная база», «Макроэкономические показатели», «Инновационные показатели» характеризуются, соответственно, РОФ X13 – X19, X20 – X24, X25 – X27, X28 – X30 и X31 – X33 (таблица 2), которые при помощи логических сверток Y3, Y4, Y5, S2, Y6, Y7, S3, Y8, S4, Y9, Y10 позволяют получить оценку влияния ЭУ, среды, законода-

тельной и нормативной базы, макроэкономических показателей и инновационных показателей на ИРЭ.

Продолжение таблицы 2

Компонент системы	Обозначение фактора	Наименование фактора	Доля (вес) в совокупности причин возникших рисков	Обратная величина доли в совокупности причин возникших рисков (ОВДС)	Лингвистическая оценка риска ЭУ
Среда (С)	Х20	Качество текущего ремонта электротехнологического оборудования и электропроводки	0,049	20,4	плохое
					удовлет.
					хорошее
	Х21	Возможность техногенных опасных воздействий рискообразующих факторов	0,045	22,2	низкая
					средняя
					высокая
	Х22	Периодичность диагностики и технического состояния электроустановок	0,042	23,8	редкая
					эпизодическая
					достаточная
	Х23	Уровень комфортности рабочей среды (по физическо-химическим параметрам)	0,034	29,4	плохой
					средний
					хороший
Х24	Возможность техногенных вредных воздействий рискообразующих факторов	0,028	35,7	низкая	
				средняя	
				высокая	
Законодательная и нормативная база (А)	Степень соответствия качества федеральных нормативных документов современным требованиям техногенной безопасности электроустановок человеко-машинных систем				
	Х25	Нормативно-технологические документы (ПУЭ, ПТЭ-иБ, СНиПы, НПБ)	0,025	40	неудовлет.
					удовлет.
					хорошая
	Х26	Федеральное законодательство (в т.ч. технические регламенты)	0,018	55,6	неудовлет.
					удовлет.
					хорошая
	Х27	ГОСТы	0,005	200	неудовлет.
					удовлет.
					хорошая

Окончание таблицы 2

Компонент системы	Обозначение фактора	Наименование фактора	Доля (вес) в совокупности причин возникших рисков	Обратная величина доли в совокупности причин возникших рисков (ОВДС)	Лингвистическая оценка риска ЭУ
Макроэкономические показатели (Б)	X28	Доступность инновационных ресурсов	0,021	47,6	низкая
					удовлет.
					высокая
	X29	Структурные изменения экономической политики в области охраны труда и безопасности производства (налоговая политика, ставки банковского кредита)	0,012	83,3	отрицат.
					удовлет.
					положит.
	X30	Система планирования и контроля в области проектирования, монтажа и эксплуатации мер комплексной безопасности электроустановок	0,009	111,1	плохая
					удовлет.
					хорошая
Инновационные показатели (В)	X31	Степень готовности выполненных разработок к внедрению	0,008	125	низкая
					удовлет.
					хорошая
	X32	Объем текущих исследований и разработок (в т.ч. финансирование)	0,006	166,7	неудовлет.
					удовлет.
					хороший
	X33	Наличие и качество концепций НИОКР	0,001	1000	отсутствует
					низкий
					удовлет.

На выходе W1 получается оценка влияния человека и ЭУ на ИРЭ, а на выходе W2 - оценка влияния среды, законодательной и нормативной базы, макроэкономических и инновационных показателей на ИРЭ. На выходе Q формируется оценка ИРЭ, которая с помощью таблицы 1 преобразуется из оценки риска [частота событий в год] в вид интегрального риска. Таким образом, на выходе системы по рисунку 1 с помощью таблицы 1 получается вид интегрального риска  $R_{\Sigma}$ . Это позволяет применительно к реальным объектам оценивать ИРЭ, что является основанием принятия решения для оптимизации системы безо-

пасности ЭУ. Изложенный принцип [1] построения имитационной модели экспертной системы оценки ИРЭ реализован в виде программного комплекса IntRisk на числовом примере. Таким образом, для количественной оценки ИРЭ создана математическая модель, позволяющую осмыслить поведение технической системы, и с ее помощью оценить различные стратегии риска (рисунок 1).

Вероятность возникновения аварии определяется особенностями технологического процесса, используемым оборудованием, степенью подготовленности персонала, временем, в течение которого функционирует данный технологический объект, интенсивностью технологических операций, техническими факторами, внешними неуправляемыми факторами, человеческим фактором. [2] Перечисленные выше влияющие факторы в основном входят в состав структурной схемы по рисунку 1 в качестве влияющих факторов (таблица 2), что подтверждает, что разработанная по рисунку 1 структурная схема оценки ИРЭ позволяет определить вероятность возникновения аварий, а, в конечном счете, определить ИРЭ.

При этом ДПВР\* по таблице 2 использована при формировании графиков функций принадлежности нечетких термов. Так на рисунке 2 показан процесс формирования графиков функций принадлежности нечетких термов "Отлично" (О), «Средний» (С) и "Плохой" (П) для влияющих факторов X31, X32, X33 нечеткой системы Y10 с учетом ДПВР\* (таблица 2) в программном комплексе IntRisk. Из рисунка 2 видно, что с ростом ОВДС (таблица 2) значимость влияющих факторов снижается. Аналогично сформированы графики функций принадлежности нечетких термов для всех влияющих факторов всех нечетких систем по рисунку 1. На рисунке 3 изображено окно формирования нечеткой системы Y10 с учетом ОВДС. В окне Params введены ДПВР\* для влияющих факторов X31, X32, X33.

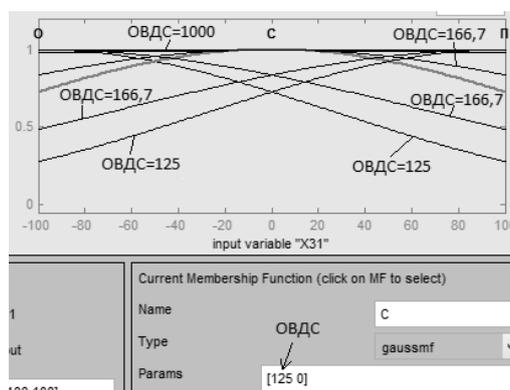


Рисунок 2 – Графики функций принадлежности нечетких термов «Отлично» (О), «Средний» (С) и «Плохой» (П) для влияющих факторов X31, X32, X33 разработанных нечетких систем Y10 с учетом обратной величины доли в совокупности причин возникших рисков (ОВДС)

Рисунок 3 – Окно формирования нечеткой системы Y10 с учетом ДПВР\* и ОВДС

Разработанный программный комплекс IntRisk в процессе модельных экспериментов обеспечил высокую линейность получения результата измерений Q (ИРЭ) в зависимости от изменения влияющих факторов (рисунок 4).

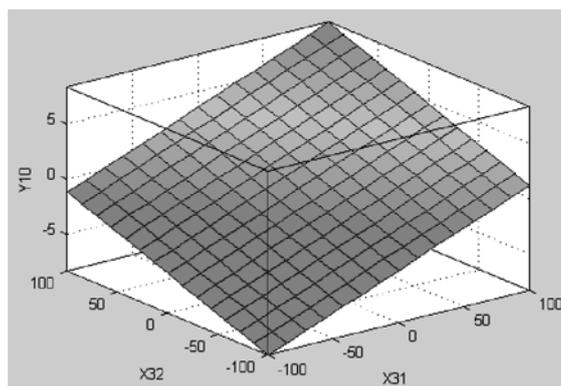


Рисунок 4 - Пример описания поверхности в системе нечеткой логики оценки ИРЭ при изменении Y10 в функции x31 и X32

На рисунке 5 приведен характер изменения поверхности Q в системе нечеткой логики оценки ИРЭ в функции W1 и W2 (по рисунку 1). Как следует из рисунков 4 и 5 линейность формирования Y10 и Q высокая, что обеспечивает, соответственно, высокую точность определения Y10 и Q. С целью получения на выходе системы нечеткой логики показателей степени лингвистической оценки ИРЭ по таблице 1 (например,  $10^{-7}$ , где -7 и есть показатель степени лингвистической оценки ИРЭ) проведена настройка системы нечеткой логики.

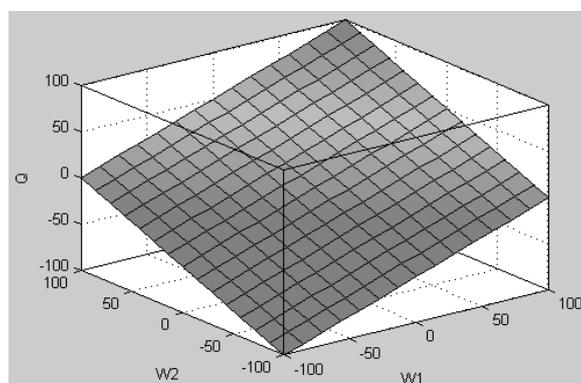


Рисунок 5 – Характер изменения поверхности Q в системе нечеткой логики оценки ИРЭ в функции W1 и W2

Результаты измерений показателя ИРЭ для некоторых лингвистических оценок РОФ с учетом ДПВР\* и ОВДС приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты измерений показателя ИРЭ для некоторых лингвистических оценок РОФ с учетом ДПВР\* и ОВДС

Значение РОФ	Наихудшее	Среднее	Наилучшее	Промежуточное
Показатель ИРЭ	1.3797e-014	-4.5000	-9.0000	-0.9351

В таблице 4 приведены результаты измерений ИРЭ для нескольких лингвистических оценок РОФ, отличающихся от наихудших.

Таблица 4 - Результаты измерений показателя ИРЭ для нескольких лингвистических оценок РОФ, отличающихся от наихудших, с учетом ДПВР\* и ОВДС

		Обозначение РОФ			
		x13	x7	x30	x33
Значения РОФ	Все значения наихудшие	1.3797e-014	1.3797e-014	1.3797e-014	1.3797e-014
	Одно значение среднее	-0.4413	-0.1368	-0.0473	-0.0053
	Одно значение наилучшее	-0.8826	-0.2736	-0.0946	-0.0105

По таблице 2 для X13 отношение ДПВР к аналогичной величине для X33 равно  $0,084 / 0,001 = 84$ ; по таблице 4 для X13 отношение ДПВР к аналогичной величине для X33 равно  $-0.4413 / -0.0053 = 83,26$ . Таким образом, погрешность определения показателя ИРЭ для разработанной программы не превышает  $((84 - 83,26) / 84) * 100 = 0,9\%$ , что свидетельствует о высокой точности измерений показателя ИРЭ, а, следовательно, вида интегрального риска  $R_{\Sigma}$  и позволяет производить адекватную оценку и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса и, в конечном счете, управлять техногенной безопасностью отрасли.

Нами обследовано открытое акционерное общество с ограниченной ответственностью «Компания Чикен-Дак», специализирующееся на производстве Пекинской утки в Алтайском крае. В качестве эксперта был Вантеев Е.Ф. – главный инженер. Объектом обследования являлись электроустановки производственных помещений предприятия. В ходе обследования выявлены рискообразующие факторы.

Экспертное исследование открытого акционерного общества с ограниченной ответственностью «Компания Чикен-Дак» по разработанной методике для строки `onc`

```
onc('п','с','с','с','о','о','о','с','с','с','о','с','п','с','о','с','о',
    'о','п','с','о','с','п','с','о','с','о','с','п','о','о','п','п')
```

позволило определить оценку риска [частоту событий в год] для электроустановок открытого акционерного общества с ограниченной от-

ветственностью «Компания Чикен-Дак» на уровне *Приемлемый* – ( $10^{-5} - 10^{-7}$ ) (вид интегрального риска  $R_{\Sigma}$  - *Малый*), поскольку ИРЭ оказался равен  $Q=10^{-5.0782}$  (см. таблицу 1).

Показатель ИРЭ в результате работы программы IntRisk при обследовании электроустановок открытого акционерного общества с ограниченной ответственностью «Компания Чикен-Дак» представлен на рисунке 6.

ПОКАЗАТЕЛЬ ИНТЕГРИРОВАННОГО РИСКА

Q =

50.6551

Конечный результат

Q =

-5.0782

Рисунок 6 – Показатель ИРЭ в результате работы программы IntRisk при обследовании открытого акционерного общества с ограниченной ответственностью «Компания Чикен-Дак»

Управление техногенной безопасностью электрохозяйства агропромышленного комплекса может быть произведено на основе оценки и прогнозирования интегрального риска электроустановки, для оценки которого целесообразно использовать частоту реализации — число случаев возможного проявления опасности за определенный период времени, и экспертный метод. Для оценки интегрального риска  $R_{\Sigma}$  введена пятибалльная лингвистическая шкала с интервальными значениями, позволяющая на основе оценки риска [частоты событий в год] определить вид интегрального риска.

Разработана структурная схема оценки интегрального риска электроустановки (ИРЭ), позволяющая определить вероятность возникновения аварий, а, в конечном счете, определить ИРЭ. Разработана таблица, в которой представлены рискообразующие факторы (РОФ) системы человек-электроустановка-среда (Ч – ЭУ – С), в которой введено понятие ДПВР - доля (вес) в совокупности причин возникновения рисков, а также ДПВР\* - после приведения  $X_{13}=0,084$  как наибольшего по величине РОФ в системе к 0,5, что позволило ранжировать рискообразующие факторы по степени их влияния на ИРЭ, а также ввести понятие обратной величины доли в совокупности причин возникших рисков (ОВДС). Введение ОВДС в свою очередь позволило в программном комплексе IntRisk сформировать графики функций принадлежности нечетких термов «Отлично» (О), «Средний» (С) и «Плохой» (П) для всех влияющих факторов нечетких систем с учетом ДПВР\*.

Проведено модельное исследование работы системы нечеткой логики для определения интегрированного риска электроустановки, в результате чего выявлено, что погрешность определения показателя ИРЭ для разработанной программы не превышает 0,9%, что свидетельствует о высокой точности измерений показателя ИРЭ, а, следовательно, вида интегрального риска и позволяет производить адекватную оценку и прогнозирование интегрального риска электрохозяйства агропромышленного комплекса и, в конечном счете, управлять техногенной безопасностью отрасли.

В результате проведенного экспертного обследования в программе IntRisk определена оценка риска [частота событий в год] для электроустановок открытого акционерного общества с ограниченной ответственностью «Компания Чикен-Дак» на уровне *Приемлемый* –  $(10^{-5} - 10^{-7})$  (вид интегрального риска  $R_{\Sigma}$  - *Малый*), поскольку ИРЭ оказался равен  $Q=10^{-5.0782}$ .

#### **Список использованных источников:**

1. Вишняков, Я. Д. Общая теория рисков [Текст] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. – 2-е изд., испр. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.

2. Акимов, В.А. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов. - М.: Деловой экспресс, 2002. – 368 с.

3. РД 08-120-96. Методические рекомендации по проведению анализа риска опасных производственных объектов.

4. Федеральный закон Российской Федерации о пожарной безопасности № 123-ФЗ (Технический регламент «О требованиях пожарной безопасности»).

5. ГОСТ Р МЭК 60695-1-1-2003. Руководство по оценке пожарной опасности электротехнической продукции. Основные положения.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификация производства и быта», профессор, д.т.н., Николай Павлович Воробьев – e-mail: vnpro151p@bk.ru; 656049, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», инженерный факультет, кафедра «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», к.т.н., ст. преподаватель, докторант Анатолий Федорович Костюков – e-mail: elnis@inbox.ru, тел. +7(385-2) 36-71-29.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ПЛЕНОК ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА И ПОЛИАМИДА 6 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ НАДМОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ**

А. М. Гашимов, К. Б. Гурбанов, Л. Ч. Сулейманова  
Азербайджанская Республика,  
г. Баку, Институт физики НАН Азербайджана  
г. Мингечаур, Мингечаурский технический университет Азербайджан-  
ской Республики

*В статье рассмотрено взаимосвязь структуры и электрофизических свойств исследуемых образцов полимерных материалов. В частности исследованы линейные полимерные образцы поливинилиденфторида (ПВДФ) и полиамида 6. Выявлены зависимость свойств от надмолекулярной структуры исследуемых полимеров.*

*Ключевые слова: надмолекулярная структура, кристаллический участок, аморфный участок, электрический заряд, отжиг, коронный разряд, силикогель, йод, деформация.*

В настоящее время установлено, что механические, оптические, электрические и др. свойства полимерных материалов во многом определяются структурой надмолекулярных агрегаций, т.е. агрегаций, состоящих из сотен и тысяч организованных определенным образом макромолекул.

В работах многих авторов [1-4] также установлено, что конечная структура и свойства полученных полимерных изделий зависят от выбранных условий процесса; переработки–температуры формования, температуры кристаллизации, давления прессования, скорости и степени растяжения (в случае ориентированных систем), т.е. технологических режимов процесса переработки материалов, условий последовательно выполняемых операций – формования, термообработки и т.д.

Широкое практическое применение полимеров, в качестве электроизоляционных материалов, все больше и больше требует сведений о структуре таких систем.

Результаты выше перечисленных работ свидетельствуют о том, что с вариацией технологических параметров формования полимерных материалов представляется возможность управлять процессом развития в полимере различных структурных образований и стабилизировать полученные желаемые структуры.

Целью данной работы является изучение процессов накопления электрических зарядов в пленках ПВДФ с различными надмолекулярными структурами, а также содержащие определенное количество наполнителя в виде силикагеля марки КСМ. Здесь же рассмотрены процессы образования электрических зарядов в исследуемых материалах при выполнении промежуточных технологических операций.

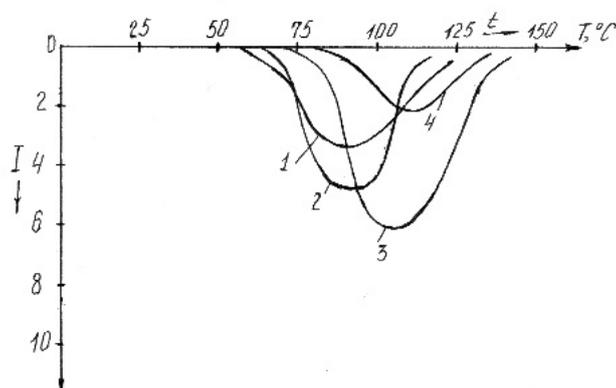
Нами проводились исследования зарядового состояния пленок ПВДФ в зависимости от значений внешнего давления, приложенного к расплаву материала. Значений давления варьировались от нуля до 150 атмосфер. Отметим, что с увеличением значений давлений на спектре вначале появляется дополнительный пик, а при дальнейшем увеличении давления имеющийся пик смещается в область более высоких температур. Соответствующие заряды, вычисленные по имеющимся кривым, составляли:  $Q_1=4,2 \cdot 10^{-10}$  Кл ( $P_1=0$ );  $Q_2=7,2 \cdot 10^{-11}$  Кл ( $P_2=50$  атм.);  $Q_3=9,6 \cdot 10^{-11}$  Кл ( $P_3=100$  атм.);  $Q_4=3,2 \cdot 10^{-10}$  Кл ( $P_4=150$  атм.).

Из анализа полученных результатов видно, что значения зарядов, накопленных в образцах, полученных при нуле и 150 атмосфер, оказались приблизительно одинаковыми на порядок выше значений зарядов, накопленных в образцах, полученных при промежуточных значениях давления, что, по видимому, связано менее совершенной структурой единиц образцов, полученных в этих режимах, т.е. образование некоторой дефектности в структурных образованиях способствует процессу накопления электрических зарядов в материале. С повышением давления факт смещения максимумов пика ТСР в область более высоких температур, очевидно связан с образованием более стабильных структурных единиц.

Аналогичные результаты были получены при исследовании пленок ПВДФ, содержащих 20%-ов мелкопористого силикагеля марки КСМ. Однако, значения зарядов, накопленных в этих образцах, оказались несколько меньше, чем в пленках ПВДФ при соответствующих давлениях формования образцов.

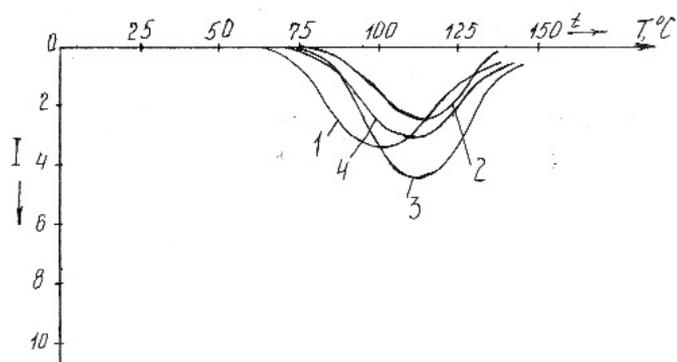
Результаты исследований процессов накопления зарядов в образцах ПВДФ и ПВДФ, содержащий силикагель, изготовленных при различных давлениях и подвергшихся электризации воздействием коронного разряда отрицательной полярности, представлены соответственно на рис.1 и рис.2. Как видно из рисунков, при всех давлениях токи ТСР имеют отрицательный знак, т.е. соответствует знаку электризующего коронного разряда. Значения зарядов, соответствующие имеющимся кривым, составляют:

- рисунок 1  $Q_1=5,4 \cdot 10^{-8}$  Кл;  $Q_2=7,5 \cdot 10^{-8}$  Кл;  $Q_3=9,2 \cdot 10^{-8}$  Кл;  
 $Q_4=1,2 \cdot 10^{-7}$  Кл;  
 - рисунок 2  $Q_1=5,5 \cdot 10^{-6}$  Кл;  $Q_2=4,6 \cdot 10^{-6}$  Кл;  $Q_3=5,8 \cdot 10^{-6}$  Кл;  
 $Q_4=5,1 \cdot 10^{-6}$  Кл.



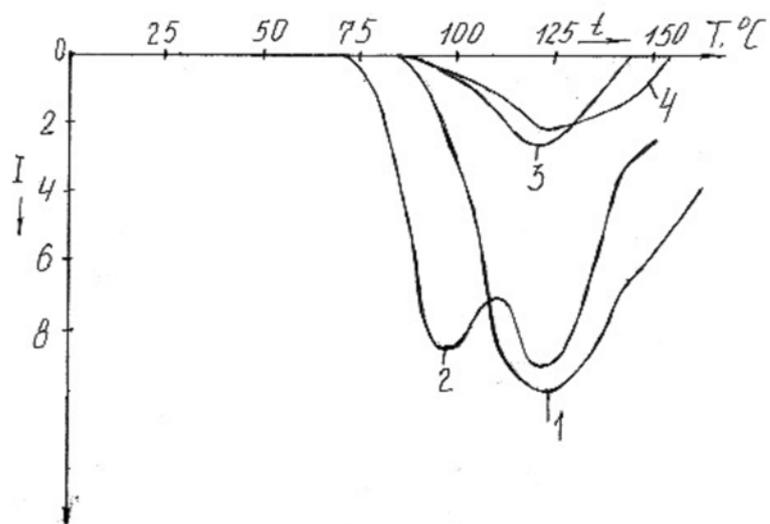
- 1-P=5атм.;  $I \cdot 10^{12}$  А; 2-P=50атм.;  $I \cdot 10^{12}$  А; 3-P=100атм.;  $I \cdot 10^{12}$  А;  
 4-P=150атм.;  $I \cdot 10^{11}$  А;

Рисунок 1 - Термограммы ТСР для пленок ПВДФ, изготовленных при различных давлениях. Электризация коронным разрядом отрицательной полярности



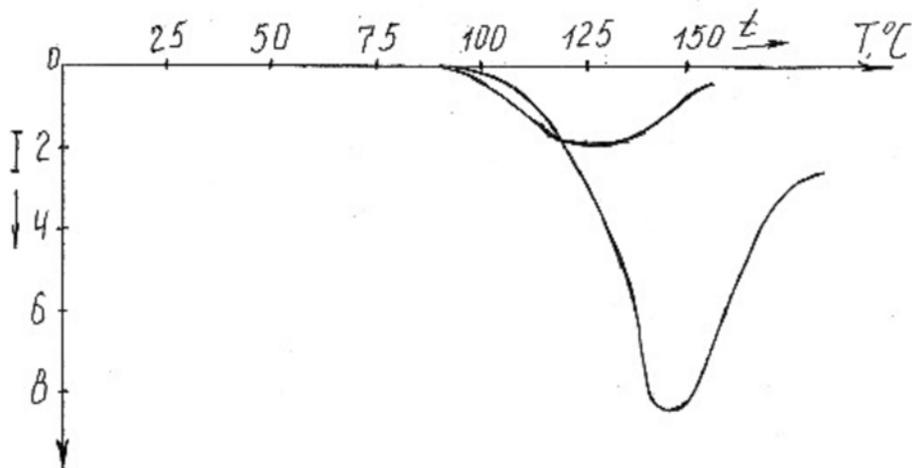
- 1-P=5атм.; 2-P=50атм.; 3-P=100атм.; 4-P=150атм.;  $I \cdot 10^{10}$  А;

Рисунок 2 - Термограммы ТСР для пленок ПВДФ+КСМ, изготовленных при различных давлениях. Электризация коронным разрядом отрицательной полярности.



1- $T=150^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{11}\text{A}$ ; 2- $T=180^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{11}\text{A}$ ; 3- $T=250^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{12}\text{A}$ ;  
4- $T=300^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{12}\text{A}$ ;

Рисунок 3 - Термограммы ТСР для пленок ПВДФ, изготовленных при различных давлениях. Зарядка в электрическом поле.



1- $T=180^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^9\text{A}$ ; 2- $T=250^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{10}\text{A}$ ;

Рисунок 4 - Термограммы ТСР для композиции ПВДФ+КСМ, изготовленных при различных температурах. Зарядка в электрическом поле.

Анализ данных показывает, что при воздействии электрического разряда на материал существенно увеличивается значение внедренных зарядов.

Следует отметить, что наличие в составе образцов ПВДФ мелкопористого силикагеля стабилизирующе действует на процесс образования заряда в материалах, подвергнутых электрическим воздействиям, что приводит к неизменности значения заряда с повышением внешних давлений, приложенных к расплаву исследуемых образцов.

Нами проводились также исследование процессов внедрения электрических зарядов в исследуемые материалы в зависимости от температуры формования и температуры кристаллизации исходных образцов.

На рис.3 и 4 соответственно представлены спектры ТСР для образцов пленок ПВДФ и ПВДФ, содержащих в своем составе пористого силикагеля марки КСМ. Электризации проводились в постоянном электрическом поле.

Соответствующие значения заряда, вычисленные из кривых ТСР, равны:

рис.3-  $Q_1=5,4 \cdot 10^{-7}$  Кл;  $Q_2=6,4 \cdot 10^{-7}$  Кл;  $Q_3=6,5 \cdot 10^{-9}$  Кл;  $Q_4=5,6 \cdot 10^{-9}$  Кл.

рис.4-  $Q_1=1,6 \cdot 10^{-5}$  Кл;  $Q_2=4,8 \cdot 10^{-6}$  Кл.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что с увеличением температуры формования уменьшается количество накопленного в образцах заряда. Однако следует отметить, что в случае образцов ПВДФ, содержащих в своем составе силикагеля, эти изменения оказываются не столь существенными, как в случае образцов ПВДФ. Полученные результаты еще раз подтверждают сделанный нами выше вывод о некоторой стабилизирующей роли силикагеля в процессах внедрения зарядов в материал.

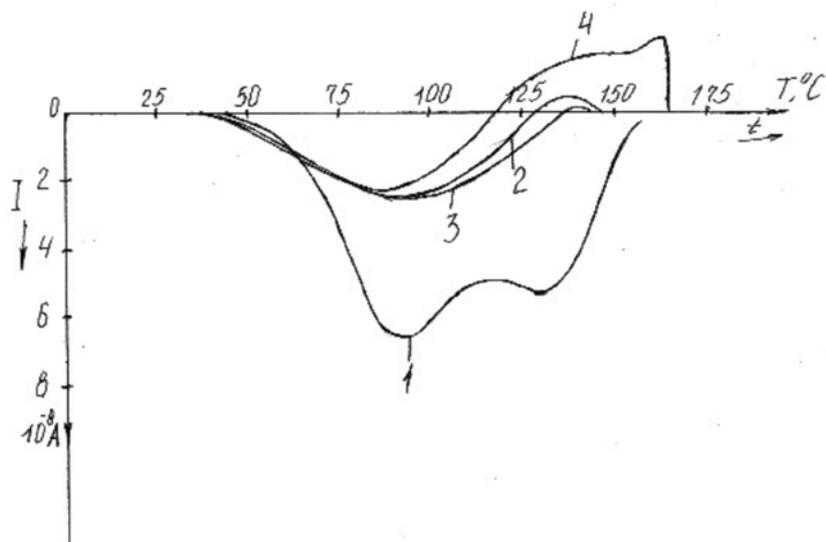
Результаты исследований зарядового состояния рассматриваемых выше материалов, в зависимости от температуры кристаллизации представлены на рис.5 и 6.

Как видно из рис.5, с увеличением температуры кристаллизации в спектрах ТСР образцов из ПВДФ максимумы пиков смещаются в область более высоких температур и существенно уменьшается количество накопленного заряда. В случае образцов ПВДФ+КСМ (рис.6) количество заряда, накопленного в образцах остается неизменным при изменении температуры кристаллизации исходных образцов.

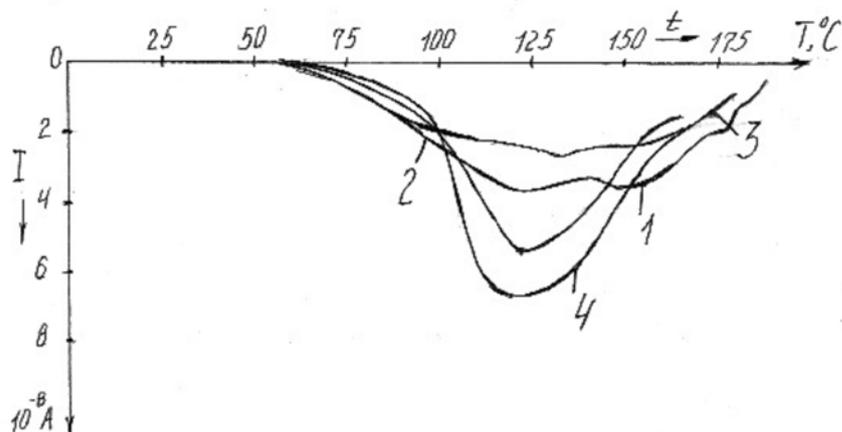
Соответствующие значения накопленного заряда:

- рисунок 5 -  $Q_1=3,8 \cdot 10^{-8}$  Кл;  $Q_2=1,6 \cdot 10^{-8}$  Кл;  $Q_3=9,9 \cdot 10^{-9}$  Кл;  $Q_4=7,7 \cdot 10^{-9}$  Кл.

- рисунок 6 -  $Q_1=4,3 \cdot 10^{-6}$  Кл;  $Q_2=2,9 \cdot 10^{-6}$  Кл;  $Q_3=3,2 \cdot 10^{-6}$  Кл;  $Q_4=3,9 \cdot 10^{-6}$  Кл.



1- $T_k=25^{\circ}\text{C}$ .; 2- $T_k=50^{\circ}\text{C}$ .; 3- $T_k=100^{\circ}\text{C}$ .; 4- $T_k=150^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{12}\text{A}$ ;  
 Рисунок 5 - Термограммы ТСП для пленок ПВДФ, кристаллизованных при различных температурах. Электризация коронным разрядом отрицательной полярности.



1- $T_k=25^{\circ}\text{C}$ .; 2- $T_k=50^{\circ}\text{C}$ .; 3- $T_k=100^{\circ}\text{C}$ .; 4- $T_k=150^{\circ}\text{C}$ .;  $I \cdot 10^{10}\text{A}$ ;  
 Рисунок 6 - Термограммы ТСП для композиции ПВДФ+КСМ, кристаллизованных при различных температурах. Электризация коронным разрядом отрицательной полярности.

Таким образом, изучение зарядового состояния в исследуемых образцах показало, что увеличение температуры формования и кри-

сталлизации образцов приводят к уменьшению количества накопленного заряда в материалах, особенно в случае образцов из чистого ПВДФ.

В данной работе проведен цикл исследований по изучению зарядового состояния образцов ПВДФ, предварительно ориентированных, затем подвергнутых термоусадке в свободном состоянии. Результаты исследований показывают, что электрический заряд, накопленный в неориентированных образцах и в образцах, подвергнутых термоусадке в свободном состоянии, оказываются практически одинаковыми. Полученный результат еще раз подтверждает наличие взаимосвязи между структурой и свойствами в исследуемых полимерных материалах.

В целях получения дополнительных информации, проясняющих механизм процессов изменения количества накопленного заряда в рассматриваемых материалах, нами были проведены исследования зарядового состояния образцов, контрастированных тяжелыми атомами йода.

Исследования зарядового состояния образцов полиамида-6 показали, что при электризации материала воздействием коронным разрядом отрицательной полярности в образцах полиамида-6, содержащих 4, 8, 12 вес % атомы йода, существенно повышается количество накопленного заряда. По-видимому, атомы йода, проникая в аморфные участки, увеличивают их плотность, и создают дополнительные центры захвата электрических зарядов и тем самым, способствуют повышению общего количества накопленного заряда.

Увеличение количества накопленного заряда также наблюдается при исследованиях образцов ПВДФ-КСМ, контрастированных атомами йода. Таким образом, с помощью проведенных исследований достаточно убедительно выявляется определяющее значение аморфных участков материала в процессах их электризации.

В заключении следует отметить, что полученные нами результаты свидетельствуют о взаимосвязях процессов образования зарядового состояния в материалах с их надмолекулярной структурой. В некоторых случаях однозначно установлены существующие корреляции между изменениями тех или иных свойств исследуемых материалов с соответствующими изменениями их структурных единиц. Следует отметить, что установленные в данной работе корреляции между типом надмолекулярной организации и свойством полимерных материалов, что свидетельствует о возможности управления процессом внедрения электрических зарядов в полимерные материалы.

### Список использованных источников:

1. Бартенев, Г. М. Физика полимеров [Текст] / Г. М. Бартенев, С. Я. Френкель. - Л.: Химия, 1990. – 429 с.
2. Джейл, Ф.Х. Полимерные монокристаллы [Текст] / Ф. Х. Джейл; перевод с англ. под. ред. С. Я. Френкеля. - Л.: Химия, 1968. – 551 с.
3. Галиханов, М.Ф. Электретные свойства сополимера винилхлорида с винилацетатом и его композицией с тальком [Текст] / М. Ф. Галиханов, В. А. Гольдаде, Р. Я. Дебердеев // Высокомолекулярные соединения, серия А. – 2005. - Том 47. - №2. - С. 264 - 269.
4. Волынский, А. Л. Визуализация структурных перестроек, ответственных за термостимулируемую усадку аморфного поликарбоната, деформированного в различных условиях [Текст] / А. Л. Волынский, Т. Е. Гроховская, А. И. Кулебякина, А. В. Большакова, Н. Ф. Баксев // Высокомолекулярные соединения, серия А. – 2007. - Том 49. - №11. - С. 1946 - 1958.

*Реквизиты для справок: Az-1143, Азербайджанская Республика, г. Баку, проспект Гусейн Джавида 131, Институт физики Национальной академии наук (НАН) Азербайджана, лаборатория «Физика и техника высоких напряжений», e-mail: arif@physics.ab.az, д.т.н., академик НАН Азербайджана, руководитель лаборатории Ариф Мамед оглы Гашимов; к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории Кямил Бахтияр оглы Гурбанов; г. Мингечаур, Мингечаурский технический университета Азербайджанской Республики, кафедра «Теоретические основы электротехники», преподаватель, аспирант Института физики НАН Азербайджана Лиля Чингиз кызы Сулейманова.*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ВВОДА ПЕРВИЧНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

В. С. Гладышев

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
Филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго»

*Статья описывает процесс автоматизации ручного ввода показаний приборов учета потребителей с бумажных носителей.*

*Ключевые слова: распознавание рукопечатных символов, автоматизация ручного ввода данных.*

Несмотря на техническое развитие приборов учета электроэнергии, на текущий момент и в средней перспективе, остается экономически не оправданным использовать современные интеллектуальные приборы АСКУЭ для фиксации объектов потребления физических лиц. Процесс сбора показаний приборов учета, в том числе в удаленных населенных пунктах, предполагает очное посещение сотрудниками энергетических компаний точек учета. При этом используются бумажные носители – распечатки с информацией о владельце объекта, адресе, приборе учета и прочими реквизитами. Трудоемкость ручного ввода показаний в информационные системы, оперативность локализации очагов хищения электроэнергии, а также тенденции, направленные на сокращение издержек, диктуют условия применения инновационных методик в решении данного вопроса.

Целью данной работы являются создание системы автоматизирующей процесс ввода информации о показаниях приборов учета потребителей на качественно новом уровне, реализация необходимых аналитических инструментов, повышение достоверности первичных данных.

Для учета потребления физических лиц используются недорогие индукционные, либо электрические счетчики, показания которых снимаются визуально ответственным сотрудником организации и фиксируются на бумажном носителе, именуемом «обходной лист». Кроме самого значения показаний, в «обходном листе», рукопечатными символами, ручкой, фиксируются дата снятия показаний и подпись потребителя. Затем обходные листы передаются операторам для ручного ввода показаний в систему.

Использование бумажной формы «обходного листа», рассматривается, как достоверный первоисточник информации, он утвержден на уровне регламентов взаимодействия со сторонними организациями, используется для решения возникающих разногласий и является обязательной частью бизнес-процесса информационного обмена, не подлежащей исключению.

Процесс ручного ввода показаний сопряжен с большими трудозатратами, в частности в филиале «Алтайэнерго» этой работой занимается 96 операторов. Процесс внесения информации об обходах занимает 25-40% рабочего времени, а из-за человеческого фактора, в ходе ручного ввода данных, возникает существенное количество ошибок.

На сегодняшний день, на рынке IT-решений широко используются программные комплексы, направленные на полнотекстовое распознавание печатного текста. Но использование механизмов распознавания рукопечатного текста, то есть распознавания текста написанного авторучкой печатными символами, да еще и в промышленных масштабах, до сих пор считалось чем-то выходящим за рамки реалистичного. Именно этот принцип и лег в основу концепции решения и проведения дальнейших разработок.

Новизна решения состоит в разработке концептуально новых аналитических инструментов, которые позволяют пользователю оперативно выявлять всевозможные несоответствия. Кроме того, эти механизмы должны быть достаточно гибкими для индивидуальной адаптации интерфейса для нужд каждого пользователя и достаточно прозрачными для понятности принятия решений.

В процессе решения проблематики создаются уникальные алгоритмы однозначной идентификации скана страницы, как составляющей некоторого документа, и распознавания конкретных рукопечатных атрибутов, как первичных данных для информационной системы, участвующих в формировании объемов отпуска электроэнергии.

И, наконец, самое сложное – изменение устоявшегося десятилетиями бизнес-процесса сбора показаний приборов учета потребителей сотрудниками организации.

В процессе решения поставленной задачи было разработано программное обеспечение, интегрированное с инструментом для автоматизации потокового ввода данных «ABBYY Flexicapture 10», визуальное представлено на рисунке:

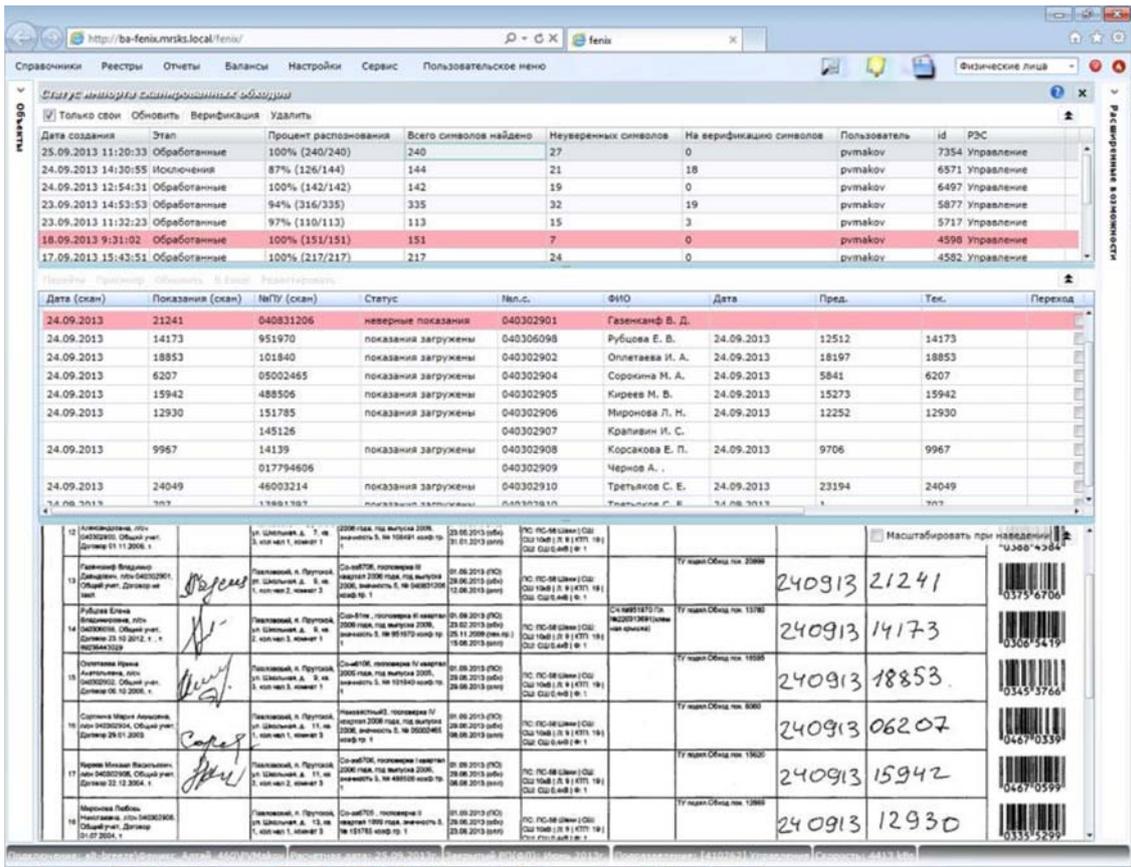


Рисунок 1 – Форма информационной системы «Статус импорта сканированных обходов»

Внедрение данного решения позволило изменить текущий процесс.

На первом этапе пользователь печатает лист с реестром объектов потребления - обходной лист, согласно плану мероприятий по обходу точек учета. При этом используется разработанный для этого механизм шаблонов, который включает в себя: поисковую систему по ряду критериев, для определения проблемных или плановых объектов посещения; информации о сотруднике производящем обход, которая зашивается в штрих-код листа; информации об абоненте, точки учета, приборе учета, которая зашивается в штрих-код строчки обходного листа.

Затем инспектор осуществляет визуальный осмотр приборов учета потребителей и фиксирует их на бумажном носителе в соответствующем поле, при необходимости заполняет дату снятия показаний и получает подпись абонента о факте совершения обхода.

Собранные многостраничные пачки с обходными листами, передаются оператору. Оператор, с помощью поточного сканера, сканирует

изображения обходных листов, и загружает их в информационную систему.

На четвертом этапе, корпоративное приложение с web-сервера филиала автоматически устанавливает связь с единым WEB-сервером системы ABBYY Flexicapture и отправляет ему заранее сформированные «пакеты», содержащие изображения сканированных «обходных листов». Система ABBYY Flexicapture, в соответствии с разработанными алгоритмами, автоматически определяет тип документа, позиционирует расположение значимых полей данных и распознает рукопечатные значения показаний приборов учета.

В случае недостаточного качества сканирования или неуверенного распознавания начертания рукопечатных символов, документ «обходной лист» попадает на дополнительный этап «верификации» для подтверждения распознанных значений оператором. Для прохождения этапа «верификации» пользователь со своего рабочего места из корпоративного приложения переходит на «станцию верификации» ABBYY Flexicapture, и подтверждает неуверенно распознанные значения, при необходимости их корректирует.

Затем, готовые верифицированные данные автоматически экспортируются в базу данных (MS SQL) ABBYY.

Далее каждый экземпляр корпоративного приложения развернутый в филиале «МРСК Сибири», с заданной периодичностью (2-5 мин) автоматически опрашивает единое хранилище распознанных данных, и в случае появления новых значений, самостоятельно создает необходимые операции в нашей системе.

На последнем этапе происходит обратная связь с пользователем – информирование о результатах проведения этапов процесса, для дальнейших расчетов.

Техническая организация стороны вопроса во многом диктуется условиями распределенного решения корпоративной информационной системы ФЕНИКС между филиалами, текущим парком серверного и клиентского оборудования, условиями лицензирования ABBYY FlexiCapture.

Как можно заметить, добавилось несколько автоматических этапов, и этап ручного ввода первичных данных в систему был заменен на этап сканирования документа и загрузки полученного изображения в систему.

Кроме изменения бизнес-процесса были разработаны дополнительные аналитические инструменты:

Визуальные, представляют собой цветовую дифференциацию проблемных операций, определяемую пользователем (Рисунок 1).

Критерии по которым осуществлять «подсветку» формировались на этапах опытной и промышленной эксплуатации, некоторые из них определяются численно. Например, если установим лимит потребления в 1000 кВт, зададим подсветку для подобной ситуации, то при появлении операции с разницей между текущими и предыдущими показаниями более 1000 кВт – строчка с операцией выделится соответствующим цветом.

Типовая отчетность. Специально для массового контроля и сбора статистики разработана отчетность, штатно формируемая средствами системы («Реестр показаний приборов учета абонентов - бытовых потребителей», «Абоненты с принятыми (не принятыми обходами)», «План - график обходов», «Абоненты без обходов более 6-ти месяцев»).

Генератор отчетности, включающий в себя все используемые в системе атрибуты, в том числе относящиеся к функциональности автоматического распознавания обходных листов, позволяет подготовить отчет с произвольным набором выводимых полей и определить для него статические, динамические параметры формирования, для контроля корректности данных.

Один филиал общества, находящийся на территории Алтайского края, в котором проходила первичная реализация решения, насчитывает 96 операторов, каждый из которых затрачивал от 25 до 40 процентов рабочего времени на ручной ввод показаний приборов учета с бумажных носителей. После внедрения процесс ускорился от 3 до 5 раз.

Расчет эффекта (ЭФ) от внедрения происходил по формуле:

$$\text{ЭФ} = \text{ДАО} * \text{КУОД} * \text{КП} * \text{НП},$$

где ДАО - доля автоматически созданных обходов, от общего объема данных распознанных через АBBYY FlexiCapture, в процентах, от общего числа обходов;

КУОД - коэффициент ускорения обработки данных, отражающий трехкратное ускорение;

КП - количество пользователей, чья работа была автоматизирована;

НП - объем нагрузки персонала от общего рабочего времени, в процентах;

$$\text{ЭФ} = 100 * 0,66 * 96 * 32,5$$

$$\text{ЭФ} = 20,592 \text{ чел/мес}$$

В среднем эффект по филиалу составляет экономию ресурсов около 20 человекомесяцев в месяц, при проецировании на среднюю заработную плату оператора, годовой экономический эффект в денежном эквиваленте составляет 2,9 млн. рублей.

Таким образом, разработка и внедрение решения привели к:

- снижению трудозатрат, что можно рассчитать и выразить в «прямом» экономическом эффекте (описанном выше);
- повышению оперативности проведения расчетов, локализации очагов хищения, проведения анализа проблемных точек учета;
- повышению достоверности первичных данных;
- созданию уникальных аналитических инструментов, сокративших время необходимое на анализ данных;
- снижению затраты на доставку персонала, так как возможно отправка фотографий сканированных документов по электронной почте;
- стандартизации отчетных форм;
- повышению контроля над деятельностью персонала.

#### **Список использованных источников:**

1. Продукт «АВВУ Flexicapture» [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://www.abbyu.ru/flexicapture/#home-page-leaders.html>.

2. База знаний по продукту АВВУ Flexicapture [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://kb.abbyu.ru/?searchText=&ProductId=230.html>.

3. C# .net web-services [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/t745kdsh\(v=vs.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/t745kdsh(v=vs.90).aspx)

4. C# .net Silverlight. Работа с изображениями [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/system.windows.controls.image.aspx>

***Реквизиты для справок:** 656002, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Кулагина, 16, филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго», производственное отделение корпоративных и технологических автоматизированных систем управления, заместитель начальника Вадим Сергеевич Гладышев – e-mail: [gladishev.vadim@mail.ru](mailto:gladishev.vadim@mail.ru), раб. тел. +7(385-2)56-81-45.*

## **ВЫБОР СТРАТЕГИИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

Т. Е. Годецкая, А. А. Грибанов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены основные подходы к постановке и решению задач оптимизации методов диагностики асинхронных двигателей. Приведены требования и параметры, характеризующие методы диагностики электродвигателей и описаны предлагаемые стратегии оптимизации.*

*Ключевые слова: диагностика, асинхронный двигатель, оптимизация.*

Надёжность технологических систем в различных отраслях экономики определяется их сложностью и характеристиками отдельных компонентов. Немаловажную роль при этом играют параметры элементов, служащих для подведения энергии к таким системам. В настоящее время в технологических процессах широко используется электрическая энергия, а для преобразования её в механическую энергию используются различные виды электродвигателей, существенную долю которых составляют асинхронные.

В связи с наметившимся переходом к системе поддержания надёжности электрооборудования по состоянию, на первый план выходит его диагностика, основной задачей которой является получение информации о параметрах технической системы. В настоящее время разработано большое количество методов диагностики асинхронных двигателей, в связи с чем актуальной стала задача выбора того или иного метода для использования в конкретном случае. Решить эту задачу можно с использованием теории задач оптимизации.

Постановка задач оптимизации заключается в необходимости добиться получения наилучших результатов диагностики в зависимости от метода диагностирования и условий эксплуатации электродвигателя, то есть каждый из методов диагностики (ВЗК, частичных разрядов, и т.д.), мы можем применять наиболее эффективно исходя из конкретной ситуации (причина выхода из строя электродвигателя, условие эксплуатации, проводить диагностирование с выводом электродвига-

теля из технологического процесса или нет, времени на диагностику, и других немаловажных факторов).

Для того, чтобы увеличить срок службы электродвигателя необходимо учитывать ряд параметров:

- условия микроклимата (пыль, влажность, активные среды, и др.);
- квалифицированный персонал;
- загруженность электродвигателя по нормам (мощность, ток нагрузки, частота, количество оборотов, и др.).

Для того, чтобы уменьшить время на диагностику необходимо следующее:

- наличие необходимого диагностического оборудования;
- квалифицированный персонал;
- расположение диагностической организации относительно организации эксплуатирующей электродвигатель;
- своевременное проведение диагностических и профилактических работ;
- по возможности проводить диагностику сразу нескольких электродвигателей.

Как на любые работы, так и на диагностику необходимы затраты. Поэтому затраты нужно снижать по мере возможности. Это можно достигнуть следующим образом:

- диагностирование одного или нескольких электродвигателей одновременно;
- на основе конкурсного отбора привлечение одной диагностирующей организации, которая предложит систему скидок, взаиморасчетов, долговременное сотрудничество;
- снижение потребления электроэнергии, за счет использования более дешевых источников энергии (без потери ее качеств).

В результате проведения исследований мы получили обобщенный критерий эффективности использования методов диагностики, который представляет собой обобщенные приведенные затраты. Для оптимизации нами использовался метод сплошного перебора вариантов сочетания условий эксплуатации электродвигателя и метода диагностики.

Использование предполагаемой нами методики оптимизации позволяет определить или выбрать наилучший метод диагностики для использования его при оценке технического состояния электродвигателя эксплуатируемого в заданных условиях. Для этого необходимо сделать следующее:

- проанализировать параметры на предмет количественного и качественного выражения их значений;

- выделить параметры, которые можно использовать в качестве критерия оптимизации;
- из полученного перечня получим параметры, которые мы будем использовать в качестве критерия оптимизации;
- для полученной совокупности произвести поиск математического аппарата.

Рассмотрим показатели, влияющие на параметры диагностирования, и постараемся выделить, а затем оптимизировать наиболее важные из них. Показатели разобьем на четыре большие группы, которые в свою очередь разбиваются на составляющие.

К группе *техничко-экономических показателей* нам необходимо отнести все показатели, имеющие денежное выражение и постараться предложить методику оптимизации.

К технико-экономическим показателям можно отнести следующие показатели:

- стоимость диагностирующего оборудования;
- стоимость ремонтных работ;
- стоимость запасных частей диагностирующего оборудования;
- ремонтные бригады (количество человек, квалификация, заработная плата);
- место проведения испытаний;
- амортизация;
- габариты диагностируемого оборудования;
- габариты диагностирующего оборудования;
- масса диагностируемого оборудования;
- масса диагностирующего оборудования;
- доставка диагностируемого оборудования;
- доставка диагностирующего оборудования;
- долговечность диагностирующих приборов;
- привлечение других организаций.

Из выше перечисленных показателей наиболее важными будем считать стоимость диагностирующего оборудования и стоимость ремонтных работ. Необходимо подробнее рассмотреть эти два показателя.

Для первого показателя можно сделать вывод, что необходимо снизить затраты на приобретение оборудования, путем применения системы взаиморасчета, бартерной системы, системы опта, путем привлечения долгосрочных контрактов, при этом оборудование должно сохранить качество и надежность его в ходе эксплуатации. Для второго – уменьшить затраты на проведение ремонтных работ путем привле-

чения более квалифицированного персонала, сокращения времени простоев в работе оборудования и обслуживающего персонала.

К группе *энергетических показателей* можно отнести следующие показатели:

- затраты времени на диагностирование;
- затраты электрической энергии на диагностирование;
- энергоемкость;
- применяемые источники питания (сетевое питание, аккумуляторные батареи и т. д.);
- затраты расходных электроматериалов (контакты и т. д.).

Из этой группы показателей можно выделить наиболее значимые, к ним относятся следующие показатели: это затраты электрической энергии на диагностирование, энергоемкость, затраты расходных электроматериалов.

Для первого показателя делаем заключение, что необходимо снизить количество затраченной электроэнергии путем экономного расхода, производства диагностирования сразу нескольких электродвигателей, либо с помощью привлечения специального оборудования. Для второго необходимо сократить, по возможности, расход этой энергии, путем более жесткого контроля над расходом энергии (установка контрольно-измерительного оборудования), а также применять по возможности оборудование с более низким расходом энергии. Что касается третьего, то необходимо уменьшить расход электроматериалов, путем применения многофункциональных материалов, применением сверхпрочных материалов (увеличивается срок службы материалов).

К группе *технологических показателей* можно отнести следующие показатели:

- транспортабельность диагностирующего оборудования;
- транспортабельность диагностируемого оборудования;
- безопасность проведения диагностических работ;
- трудоемкость работ по диагностике;
- материалоемкость диагностирующих работ;
- себестоимость диагностирующих работ;
- долговечность диагностирующих приборов;
- ремонтпригодность диагностирующего оборудования;
- электропрочность диагностирующего оборудования;
- контроль при работе оборудования;
- диапазон диагностируемых двигателей;
- условный диагностический вес;
- независимый диагностический вес;
- дополнительное время хранения;
- количество диагностируемых одновременно двигателей;

– восстанавливаемость исходных параметров оборудования.

Из выше перечисленных показателей выберем транспортабельность диагностирующего оборудования, транспортабельность диагностируемого оборудования, безопасность проведения диагностических работ, трудоемкость работ по диагностике, себестоимость диагностирующих работ, контроль при работе оборудования.

Первый и второй показатели, которые мы рассмотрим это транспортабельность диагностирующего оборудования, транспортабельность диагностируемого оборудования можно отнести к качественному показателю, т.е. оборудование либо транспортируется, либо нет. Поэтому необходимо максимально снизить его габариты и вес, чтобы оборудование легче транспортировалось, но если все-таки снижение габаритов, веса недопустимо, то необходимо привлечение специализированной техники.

По третьему показателю нужно выбрать метод с наибольшей безопасностью, который должен соответствовать требованиям проведения определенной группы работ.

Четвертый показатель показывает необходимость снижения затрат времени и количества привлекаемых работников, путем выбора метода с наименьшей трудоемкостью.

По пятому показателю необходимо снижение затрат, путем точного экономического расчета затрат на проведение диагностирующих работ, либо применение аналогов диагностирующего оборудования, которое имеет более низкую стоимость, но удовлетворяет при этом всем требованиям (качество, надежность, долговечность, ремонтпригодность, удобство в эксплуатации, и.т.д.).

Оптимизировать шестой показатель можно путем применения более жесткого контроля, например, применением специализированного оборудования, а так же путем повышения квалификации обслуживающего персонала (постоянный инструктаж в соответствии с конкретным видом работ).

К группе *биологических показателей* мы отнесем следующие:

- содержание вредных веществ в окружающей среде;
- электромагнитное излучение оборудования;
- срабатывание защитных устройств;
- гигиенические показатели;
- температура окружающей среды;
- пыль, песок и другие микроскопические соединения;
- влажность окружающей среды;
- гигроскопичные материалы.

В итоге проведения диагностики мы должны получить определенный показатель качества по отдельным этапам всего обследования комплекса признаков. Он заключается в суммировании вкладов в качество обследования. В этом случае также возникают проблемы ранжирования и нормирования суммарных показателей качества [3].

Проблема нормирования возникает в том случае, когда величины, от которых находят вклады во что-то общее, имеют различные размерности. В нашем случае такое возможно, когда для нахождения суммарных показателей качества использовалась для одного или нескольких технологических этапов стратегия максимизации качества, а для другого этапа – стратегия минимизации времени, достижения установленного значения частных критериев качества. В результате применения стратегии максимизации качества суммарный критерий качества выражается в относительных единицах, а при использовании стратегии минимизации времени достижения фиксированного значения частного критерия качества – в часах. На рисунке 1 изображен алгоритм оптимизации. В первом случае нормирование можно не производить, поскольку величина уже выражена в относительных единицах, а во втором случае оно является обязательным.

Проблема взаимосвязи критериев с различным видом экстремума (размерности) решается путем преобразования характеристики, подвергавшейся минимизации, и характеристики с результатом максимизации и наоборот. Наиболее целесообразно представление сведений, как стратегии максимизации, так и стратегии минимизации и общей стратегии максимизации качества.

В пользу этого свидетельствуют следующие факты:

- стремление к повышению показателя качества, чем выше показатель качества, тем лучше для потребителя;
- в стратегии минимизации наилучшим считается вариант с меньшей величиной сравниваемого параметра, что не соответствует физическому смыслу качества продукции.

Эксплуатирующая электродвигатели организация заинтересована в максимизации срока безотказной работы электродвигателя  $T_{сл}$ , в минимизации суммарных затрат на эксплуатацию и ремонт электродвигателя  $Z_{\Sigma}$ , а также в минимизации срока ремонта электродвигателя  $T_{рем}$  и получении достоверной информации  $P_{инф}$ .

Формально эти интересы могут быть записаны так:

- $T_{сл} \rightarrow max$ ;
- $Z_{\Sigma} \rightarrow min$ ;
- $T_{рем} \rightarrow min$ ;
- $P_{инф} \rightarrow max$ .

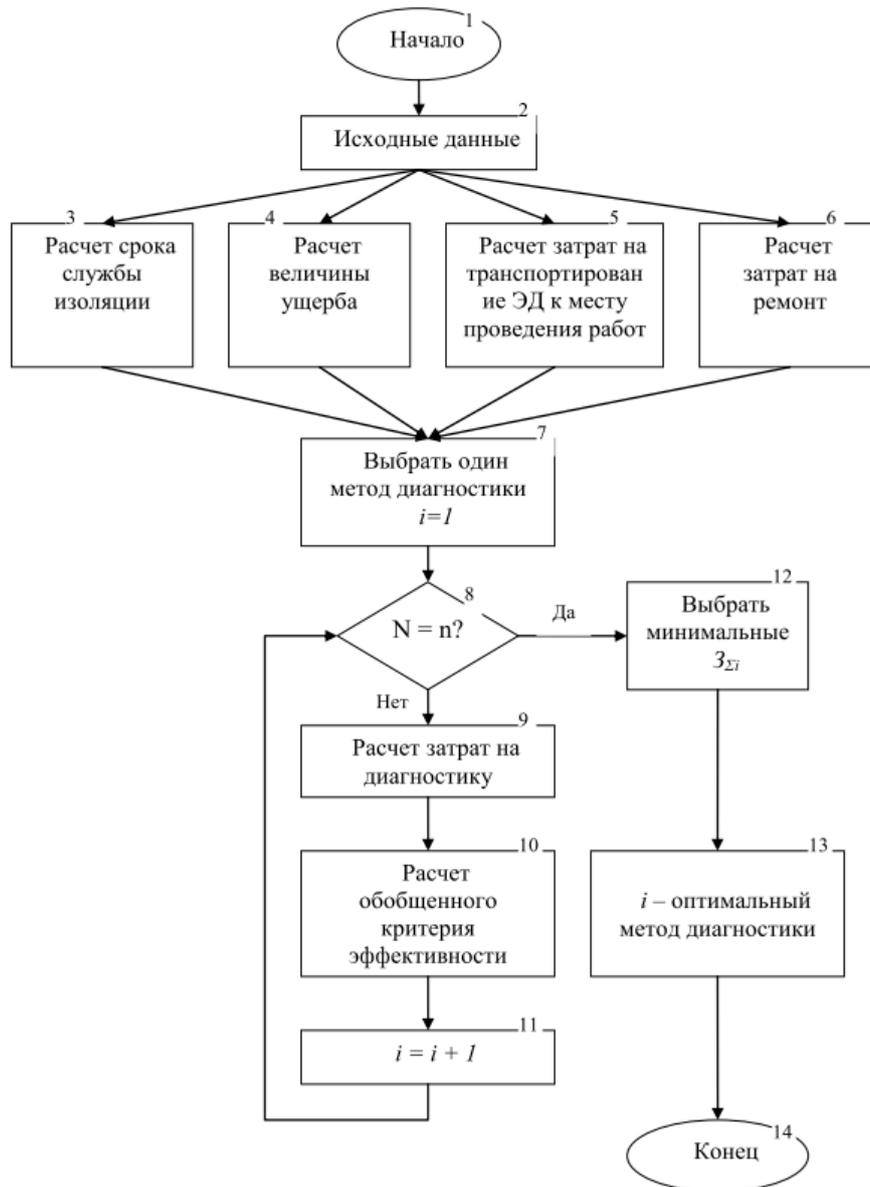


Рисунок 1 – Алгоритм оптимизации

В большинстве случаев упрощения решения многокритериальных задач оптимизации применяются постановки, в которых доминирующим остается только один критерий оптимизации, а на значения всех остальных критериев налагаются ограничения. При этом многокритериальные задачи сводятся к однокритериальным задачам с ограничениями.

В нашем случае наиболее возможными представляются следующие постановки задач оптимизации:

- $\max \{T_{сл}\}$ , при  $Z_{\Sigma} \leq Z_{\Sigma\text{зад}}$ ,  $T_{\text{диагн}} \leq T_{\text{диагн.зад}}$  и  $P_{\text{инф}} \geq P_{\text{инф.зад}}$ ;
- $\min \{Z_{\Sigma}\}$ , при  $T_{сл} \geq T_{сл.зад}$ ,  $T_{\text{диагн}} \leq T_{\text{диагн.зад}}$  и  $P_{\text{инф}} \geq P_{\text{инф.зад}}$ ;
- $\min \{T_{\text{диагн}}\}$ , при  $Z_{\Sigma} \leq Z_{\Sigma\text{зад}}$ ,  $T_{сл} \geq T_{сл.зад}$  и  $P_{\text{инф}} \geq P_{\text{инф.зад}}$ ;

–  $\max \{ P_{инф} \}$ , при  $3_{\Sigma} \leq 3_{\Sigma зад}$ ,  $T_{сл} \geq T_{сл.зад}$  и  $T_{диагн} \leq T_{диагн.зад}$ .

На рисунке 2 приведен алгоритм выбора стратегии оптимизации диагностики, который принимает вид однокритериальных задач с одним ограничением. Например, при отсутствии заинтересованности заказчика в минимизации времени ремонта электродвигателя постановки задач оптимизации принимают следующий вид:

- $\max \{ T_{сл} \}$ , при  $3_{\Sigma} \leq 3_{\Sigma зад}$ ;
- $\min \{ 3_{\Sigma} \}$ , при  $T_{сл} \geq T_{сл.зад}$ ;
- $\max \{ P_{инф} \}$ , при  $3_{\Sigma} \leq 3_{\Sigma зад}$ .

При исключении из рассмотрения двух интересов заказчика задачи оптимизации примут вид простейшей однокритериальной экстремальной задачи.

При минимизации времени диагностики с целью повышения производительности, во-вторых, сокращение себестоимости диагностики, в третьих – получение достоверной информации:

- $3_{\Sigma} \rightarrow \min$ ;
- $T_{диагн} \rightarrow \min$ ;
- $P_{инф} \rightarrow \max$ .

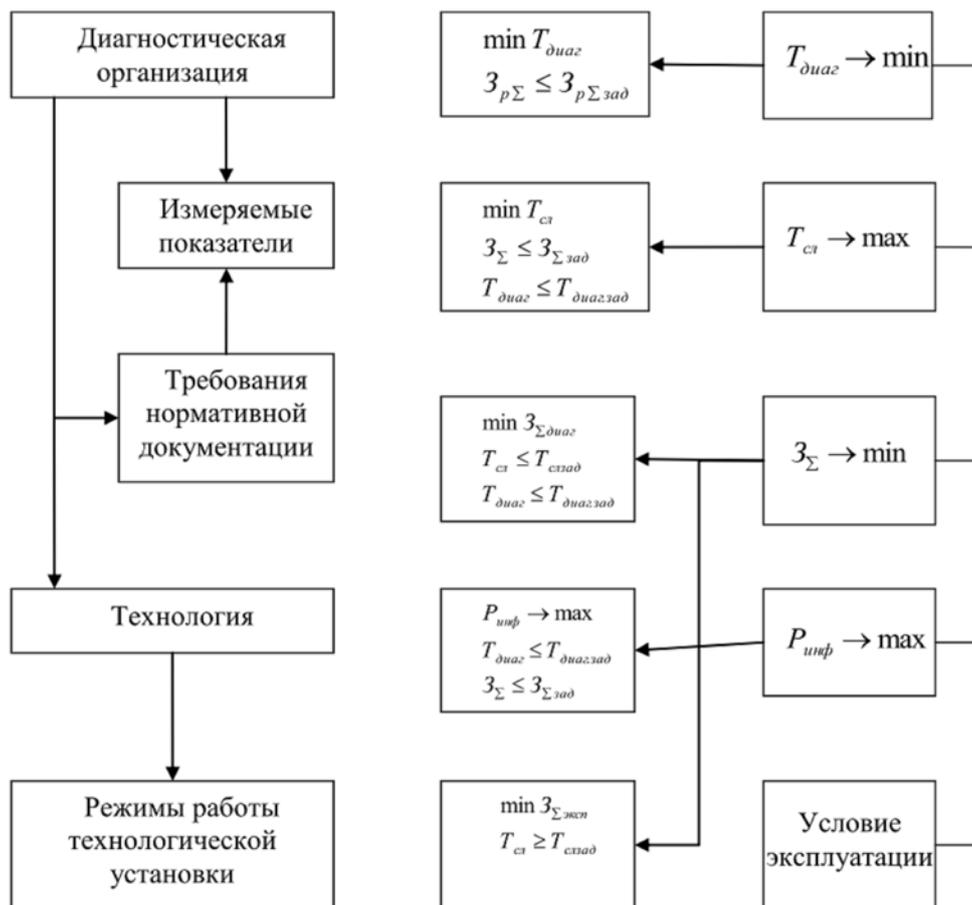


Рисунок 2 – Алгоритм выбора стратегии оптимизации

Таким образом, получены алгоритмы и методики, позволяющие решить задачу оптимизации методов и критериев диагностики изоляции асинхронных двигателей.

#### **Список использованных источников:**

1. Годецкая, Т. Е. Вероятностная оценка информативности методов диагностики изоляции асинхронных двигателей / Т. Е. Годецкая, А. А. Грибанов, О. И. Хомутов, С. О. Хомутов // Ползуновский вестник. - 2009. - № 4. - С. 62-67.

2. Годецкая, Т. Е. Информативность методов функциональной и тестовой диагностики для определения технического состояния электродвигателя [Текст] / Т. Е. Годецкая, А. А. Грибанов / Современные проблемы электроэнергетики. Алтай-2013 : сборник статей I Международной научно-технической конференции / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 34–36.

3. Бейко И. В., Бубликов Б. Н., Зинько П. Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 512 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», старший преподаватель Татьяна Евгеньевна Годецкая – e-mail: [tatyana-godeckaya@ya.ru](mailto:tatyana-godeckaya@ya.ru); к.т.н., доцент Алексей Александрович Грибанов – e-mail: [diread@mail.ru](mailto:diread@mail.ru), тел. +7(385-2) 29-07-76.*

## УНИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПОЛЕЗНОГО ОТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЕВЫХ КОМПАНИЯХ

А. В. Голдобин

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
Филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго»

*В статье рассмотрены примеры использования различных алгоритмов расчета полезного отпуска электроэнергии структурными подразделениями сетевой компании. Дано описание рекомендаций, позволяющих осуществить переход к единому унифицированному алгоритму.*

*Ключевые слова: алгоритм расчета, полезный отпуск, учет электроэнергии, унифицированный алгоритм, транспорт электроэнергии.*

В настоящее время алгоритмы расчета переданной конечному потребителю электроэнергии, а также периодичность снятия показаний, используемых для расчета, определены законодательными актами федерального и регионального уровня, договорами между сетевой и сбытовой компаниями, договорами сбытовой компании с конечным потребителем электроэнергии. В связи с тем, что наиболее сложным для расчета является объем полезного отпуска электроэнергии, переданный физическим лицам (бытовым потребителям и приравненным к ним юридическим лицам) рассмотрены только алгоритмы расчета по данной категории потребителей в следующих регионах: Алтайский край, Кемеровская область.

В данных регионах применяется единый программный комплекс по учету электроэнергии, но с различными настроенными алгоритмами расчета полезного отпуска.

Способы расчета структурно похожи и их можно разделить на следующие составляющие:

- расчет по прибору учета;
- расчет по среднему месячному потреблению;
- расчет по нормативу потребления электроэнергии.

Расчет по прибору учета представляет собой определение разности между двумя показаниями допущенного к коммерческому расчету прибора учета, снятыми в разное время, как правило, в конце предыдущего и текущего месяцев, однако уже в данном, казалось бы про-

стом математическом действии кроется первая причина, для перехода на единый унифицированный алгоритм - разный уровень доверия к показаниям. Разный уровень доверия - означает, что показания полученные самой сетевой компанией, переданные потребителем, и переданные сбытовой компаний - используются в расчете по разному.

Пример 1: конечные показания 100, при наличии показаний снятых сетевой компанией.

Показания на 10.02.2014 = 90 (переданы абонентом)

Показания на 15.02.2014 = 95 (переданы сбытовой компанией)

Показания на 20.02.2014 = 93 (сняты сетевой компанией)

В этом случае, расчет будет произведен по максимальным показаниям для Алтайского края и для Кемеровской области - 95.

Расчет за февраль: расход -5, конечные показания 95 (фактические)

Пример 2: конечные показания 100, при отсутствии показаний снятых собственными силами.

Показания на 10.02.2014 = 90 (переданы абонентом)

Показания на 15.02.2014 = 95 (переданы сбытовой компанией)

Показания снятые собственными силами отсутствуют

В этом случае, для Алтайского края расчет будет произведен по среднемесячному потреблению, а для Кемеровской области расчет будет произведен по максимальным показаниям - 95 как в примере 1. Расчет для Алтайского края изменился, т.к. для данного региона показания сетевой компании имеют наибольший приоритет.

Расчет по среднемесячному потреблению - применяется в основном. в случае отсутствия показаний по прибору учета в текущем месяце, или как в примере 2 в случае занижения показаний по сравнению с предыдущим месяцем. По примерам 1 и 2 видно, что расчет по среднемесячному потреблению применяется по разному в регионах. Сам расчет представляет собой определение среднего в месяц объема потребления за определенный период работы прибора. В данном случае возникает вторая причина для перехода к единому алгоритму - отсутствие в законодательных актах четкой инструкции для осуществления среднемесячного расчета, с учетом таких моментов как:

- глубина и четкие критерии охвата истории показаний, определяемых для расчета среднемесячного потребления;
- учет периодов неактивности точки учета;
- проведение расчетов по многошкальным приборам учета;
- применение округлений до 1кВт при осуществлении расчетов на определенных этапах.

Расчет по нормативу применяется в случае выхода из строя прибора учета, ввиду невозможности определения фактического объема переданной электроэнергии, или при отсутствии показаний прибора учета несколько периодов подряд, что уже является подобием штрафа, за несвоевременную передачу показаний. В Алтайском крае в случае отсутствия показаний данным способ расчета не применяется, однако в Кемеровской области, данный способ применяется по истечении 6 месяцев отсутствия показаний, или в случае невозможности определения среднемесячного потребления. К тому же величины нормативом потребления электроэнергии по России не одинаковы, и определяются региональными законодательными актами. Третья причина - отсутствие в законодательных актах четких инструкции по применению расчета по нормативному потреблению электроэнергии, с учетом всех нюансов:

- четкие критерии наступления событий для осуществления расчета по нормативному потреблению электроэнергии;

- учет периодов неактивности точки учета, т.е. применять нормативную величину в полном объеме, или корректировать на кол-во дней неактивности точки учета;

- применение расчетов по многошкальным приборам учета;

- применение округлений.

Прогресс неумолим, и когда-нибудь в российской энергетике будет выстроен единый бизнес-процесс, применяемый во всех сетевых организациях и их структурных подразделениях, в том числе и при взаимодействии со сбытовыми организациями. Применение единого алгоритма, который будет прозрачен, законодательно утвержден и четко определен позволит уменьшить количество разночтений, и как следствие разногласий, при согласовании объемов переданной электроэнергии, осуществить переход к единому программному комплексу, и единому бизнес-процессу.

Исходя из найденных причин для перехода к единому методу расчета, унифицированный алгоритм должен обладать следующими отличительными чертами:

- допускать к расчету, для определения объема переданной электроэнергии только одно показание по прибору - по которому производится расчет;

- показания прибора учета должны собираться с четкой периодичностью - раз в полгода (что наиболее соответствует действующему законодательству).

- периоды между съемом показаниями (раз в пол года) рассчитывать по среднемесячному потреблению, на основании данных показаний, снимаемых раз в пол года.

Применение алгоритма с вышеуказанными свойствами позволит:

- прогнозировать равномерную величину полезного отпуска на год;

- более эффективно планировать проведение съема показаний с приборов учета, тем самым перераспределив или уменьшив нагрузку на персонал;

- вести и планировать более равномерно финансовую деятельность сбытовых организаций ввиду равномерного полезного отпуска электроэнергии, что является несомненным плюсом, ввиду их закредитованной деятельности.

#### **Список использованных источников:**

1. Постановление Правительства РФ №442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» (вместе с «Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии», «Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии») от 4 мая 2012 г. (в ред. от 30.01.2013) [Текст] // Собрание законодательства РФ. - 2012. - № 23. - Ст. 3008.

2. Постановление Правительства РФ №354 «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (вместе с «Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов») от 6 мая 2011 г. (в ред. от 24.09.2014) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Москва, 2014. – Режим доступа: [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/).

*Реквизиты для справок: 656002, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, уг. Кулагина, 16, Филиал ОАО «МРСК Сибири» -«Алтайэнерго», департамент информационных технологий, отдел централизованного программного обеспечения, главный специалист Александр Викторович Голдобин – e-mail: [goldobin\\_av@ba.mrsk.ru](mailto:goldobin_av@ba.mrsk.ru).*

**РАЗРАБОТКА МЕР ПО ПОВЫШЕНИЮ  
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ  
ООО «РОСВОДОКАНАЛ»**

В. В. Громов, С. О. Хомутов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены методы рационального использования электрической энергии. Изложены основные способы экономии электроэнергии на примере предприятия ООО «Росводоканал».*

*Ключевые слова: энергосбережение, учет, экономия, рациональное использование электроэнергии.*

В настоящее время энергосбережение является приоритетным направлением в энергетике. Оно актуально как для отдельных предприятий, так и для региона в целом. Это важный и сложный процесс, требующий анализа энергосистемы, немалых капиталовложений, детального подхода к оценке потребления, экономического эффекта и сроков окупаемости.

Зачастую, современные промышленные компании потребляют больше электроэнергии, чем необходимо, так как в зависимости от производственных режимов электроэнергия может тратиться не эффективно. Крупные предприятия потребляют от 5 до 10 миллионов кВт·ч и крайне заинтересованы в экономии электрической энергии, особенно учитывая тот факт, что цена на электроэнергию возрастает.

На сегодняшний день существует несколько путей экономии электроэнергии – от внедрения менее энергоемкого оборудования до использования «альтернативных» источников энергии. Но чтобы получить конкретный экономический эффект, необходимо вести учет и иметь четкую картину потребления энергоресурсов. Для этой цели предприятия используют автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ).

Так, в частности, на предприятии ООО «Росводоканал» установлена данная система. Помимо учета, она дает возможность выбирать поставщика с более выгодными тарифами на электроэнергию. Также предоставляется возможность перераспределения потребления мощности в течение суток на полупиковые или ночные зоны. Система охватывает

как энергоемкие производства, так и мощных потребителей. При этом она используется совместно с информационно-измерительной системой технического учета электроэнергии (АИИС ТУЭ). Такое использование АИИС КУЭ и АИИС ТУЭ дает более значительный эффект экономии электроэнергии путем контроля над мощными потребителями.

Также существует ряд мероприятий по сокращению используемых энергоресурсов. Известно, что на предприятии ООО «Росводоканал» основным потребителем является электропривод, поэтому целесообразным будет внедрение преобразователей частоты там, где они еще не используются. Это предоставит возможность управлять производительностью оборудования, что поможет снизить объем потребляемой энергии. Срок окупаемости преобразователей частоты от нескольких месяцев до нескольких лет в зависимости от используемой электроустановки.

Кроме того, данным предприятием широко используются устройства плавного пуска (УПП). Это позволяет уменьшить пусковые токи, снизить вероятность перегрева двигателей, повышает срок службы двигателей, устраняет рывки в механической части привода или гидравлические удары в трубопроводах и задвижках в момент пуска и останова электродвигателей. Так как водоканал занимается очисткой стоков и снабжает город Барнаул водой, то на нем широко используются водяные и канализационные насосы. Проведенный анализ насосного оборудования позволил предложить более обширное использование УПП на предприятии.

ООО «Росводоканал» стремится совместно использовать современные отечественные асинхронные двигатели и их иностранные, зачастую более эффективные, аналоги. Так как огромная доля электроэнергии потребляется асинхронным электроприводом, это ужесточает требования к эффективности работы самого двигателя. Благодаря применению современных магнито- и электропроводящих материалов, и исходя из опыта проектирования асинхронных двигателей, производятся и поставляются электродвигатели с повышенным коэффициентом полезного действия. Поскольку в реальных условиях длительная нагрузка двигателей редко составляет 100% от номинальной, и чаще двигатели длительно эксплуатируются при меньших (до 75% от номинальной) нагрузках, новые двигатели спроектированы таким образом, что в пределах от 75% до 100% номинальной мощности величина к.п.д. практически одинакова [1]. В настоящее время предприятие, по мере возможностей, старается использовать эти внедрения. Экономия электроэнергии, которая достигается применением данных электро-

двигателей, оценивается до 40% за срок службы двигателя. Максимальный срок окупаемости дополнительной стоимости – 1-3 года.

Предприятие ООО «Росводоканал» имеет огромный географический разброс своих подразделений в черте и по окраинам города. Некоторые из этих подразделений являются конечными потребителями электроэнергии, поэтому в данном случае будет целесообразна установка соответствующих приборов учета. Они позволят использовать несколько тарифов и учитывать как активную, так и реактивную мощности.

Кроме того, распоряжением руководителя в каждом из отдельных подразделений назначены лица, ответственные за энергохозяйство, обязанностями которых являются: обеспечение выполнения технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов; проведение расчетов потребления электроэнергии и осуществление контроля ее расходования; непосредственная разработка и внедрение мероприятий по рациональному потреблению электроэнергии, как в целом, так и для отдельно взятых мощных потребителей.

Также предприятие ООО «Росводоканал» отводит большую роль рациональному использованию освещения. Расход электроэнергии на освещение составляет в среднем 5-10% от общего потребления. Для экономного расходования электроэнергии в электроосветительных установках непрерывно внедряются рациональные системы управления освещением. Правильно построенная схема управления освещением помогает сократить продолжительность горения ламп и предусматривает возможность включения и выключения отдельных светильников и их групп. Для автоматического управления освещением широко применяются фотоэлементы и фотосопротивления, которые служат датчиками для автоматов управления. Датчики регулируются на определенный минимальный уровень естественной освещенности для выключения освещения с наступлением рассвета и включения его в сумерках. Сокращение продолжительности горения ламп дает прямую экономию электроэнергии. К этому направлены мероприятия по максимальному использованию естественного освещения, правильному устройству управления освещением, применению автоматического управления. Замена всех ламп накаливания на энергосберегающие светильники широко применяется предприятием и помогает снизить потребляемую мощность. Затраты на установку светодиодного освещения окупаются в среднем за три года при сроке службы до 25-ти лет.

Большое внимание уделено ежемесячному учету расхода электроэнергии с оформлением «Ведомости снятия показаний приборов учета электроэнергии», согласно договору электроснабжения. Благодаря учету потребляемой предприятием энергии можно оптимизиро-

вать производство, исключить нецелевое использование электроэнергии, прогнозировать затраты и анализировать энергоемкость отдельных объектов, что приведет к значительной экономии электрической энергии и, как следствие, денежных средств [2].

Рост стоимости энергоносителей, ужесточение экологических требований, повышение требований к потребительским качествам делает экономически целесообразным для рассматриваемого предприятия покупать автоматизированное оборудование [3].

Существенные преимущества автоматизированного электропривода:

- экономия электроэнергии в циклических режимах;
- повышение срока службы механических и электрических составляющих привода за счет возможности задавать плавные режимы эксплуатации без механических ударов и пиковых электрических нагрузок;
- повышение гибкости производственных линий;
- простота интеграции нового оборудования в существующие технологические линии;
- интеграция электроприводов в сети управления производством с центральным компьютером сбора и анализа данных и удаленным доступом.

Использование на предприятии всех мер от учета электроэнергии до установки нового энергосберегающего и энергоэффективного оборудования приведет к снижению расходов на электроэнергию, более интенсивной окупаемости и, наконец, получению существенной экономической выгоды.

Помимо всего прочего, в качестве одного из перспективных мероприятий для повышения энергоэффективности как в системе водоотведения, так и всего предприятия, предлагается строительство мини-ГЭС на водоочистных сооружениях (КОС-1) города Барнаула электрической мощностью 470 кВт.

Благодаря внедрению собственной мини-ГЭС предприятие будет иметь возможность вырабатывать собственную электроэнергию, что значительно снизит затраты на ее покупку. В настоящее время максимальная мощность всего оборудования КОС-1 составляет 6 МВт. В то же время среднегодовая часовая потребляемая мощность составляет порядка 371 кВт·ч, при стоимости электроэнергии 2,3 руб./кВт·ч. Основными ее потребителями являются насосы периодического действия и турбовоздуховки.

Более того, проведенный анализ установленного на ООО «Росводоканал» электрооборудования, позволил предложить заменить насосы типа СД 2400/756 на иностранные аналоги совместно с использова-

нием преобразователей частоты. Это введение поможет повысить энергоэффективность насосных станций предприятия.

На других схожих объектах также будет актуальна установка преобразователей частоты (ПЧ) и, при необходимости, замена электропривода или установка иного экономически выгодного в эксплуатации агрегата.

Для повышения качества учета электроэнергии на предприятии необходимо расширить охват производственных подразделений соответствующими средствами учета. Так же актуальна будет установка средств компенсации реактивной мощности, так как это в значительной степени влияет на уровень потерь электроэнергии.

В целом изучение проблем в системе электроснабжения ООО «Росводоканал» позволяет говорить о стремлении специалистов энергослужб к повышению уровня эффективности использования энергоресурсов в подразделениях и цехах данного предприятия. Усовершенствование энергосистемы приведет к значительной экономии средств, затрачиваемых на электроэнергию.

#### **Список использованных источников:**

1. Сайт Для электриков по эксплуатации и ремонту электрооборудования [Электронный ресурс]: статья. – Режим доступа: <http://www.fazaa.ru/>.

2. Сайт «ПСК Профи» Экономия электроэнергии на предприятии, энергосбережение» [Электронный ресурс]: статья. – Режим доступа: <http://energyprofy.ru/content/articles/100/375/>.

3. Сайт «ЭнергоСовет» портал по энергосбережению» [Электронный ресурс]: статья. – Режим доступа: [http://www.energsovet.ru/bul\\_stat.php?idd=380](http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=380).

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Вадим Викторович Громов – e-mail: v.grm@yandex.ru; д.т.н., профессор Станислав Олегович Хомутов – e-mail: homutov.so@yandex.ru, тел. +7(3852) 29-07-76.*

**МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ  
К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ  
ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ**

И. А. Гутов, Ю. В. Шишонин

Россия, Алтайский край,

г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический  
университет им. И. И. Ползунова»

г. Заринск, ООО «Заринская сетевая компания»

*В статье рассмотрены проблемы методического и информационного обеспечения технологического присоединения энергетических установок физических лиц к электрическим сетям. Дано краткое описание разработанного и внедренного методического пособия для клиентов. Сформулированы требования к организации личного кабинета клиента на официальных сайтах электросетевых организаций и приведен пример его реализации. Указан предполагаемый положительный социальный эффект при внедрении данных разработок.*

*Ключевые слова: электрические сети, технологическое присоединение, энергетическая установка, методическое пособие, личный кабинет клиента.*

Технологическое присоединение — это комплексная услуга, оказываемая сетевыми организациями юридическим и физическим лицам в целях создания возможности для потребления (выдачи) электрической мощности и предусматривающая фактическое присоединение энергопринимающих устройств (энергетических установок) заявителей к объектам сетевого хозяйства.

Технологическое присоединение необходимо юридическим и физическим лицам, желающим получить возможность электроснабжения вновь построенных объектов. К ним относятся все сооружения, не обеспеченные электроэнергией, от построек на садово-дачных участках до магазинов, жилых домов, зданий и сооружений предприятий, объектов культурно-развлекательного характера и социальной инфраструктуры.

Услуга по технологическому присоединению также оказывается потребителям, нуждающимся в увеличении потребляемой мощности на объектах, уже подключенных к электрической сети, а также в слу-

чаях необходимости повышения категорийности (надежности) электроснабжения.

В целях обеспечения надежного и бесперебойного энергоснабжения потребителей технологическое присоединение было выделено наряду с передачей электроэнергии в отдельную услугу сетевых организаций и законодательно закреплено.

В настоящее время услуга по технологическому присоединению обеспечена нормативно-правовой базой, которая описывает весь процесс технологического присоединения, закрепляет сроки его осуществления, права и обязанности сторон.

«Правила технологического присоединения» впервые были введены и утверждены постановлением правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 861 [1]. Последние пару лет наше правительство серьезно контролирует деятельность сетевых организаций в отношении оказания ими услуг по технологическому присоединению, часто вводятся изменения и дополнения в правила, направленные на улучшение оказания этих услуг, сокращение сроков рассмотрения заявок и выполнения договоров технологического присоединения, прозрачность деятельности сетевых организаций (только за последний год было внесено 9 изменений в правила).

На фоне всех изменений простой гражданин, а именно физическое лицо, не успевает ориентироваться в данном правовом поле, в этой связи при присоединении зачастую возникают проблемы правового характера, а не технологического.

На сегодняшний день в правилах технологического присоединения приводятся типовые формы договоров и технических условий на технологическое присоединение, что несомненно хорошо для сетевых организаций и для клиентов (можно проверить соответствие договора требованиям правил). Но наряду с этим в правилах не приводятся типовые формы заявок на технологическое присоединение, что разобщает первоначальную стадию присоединения в разных сетевых организациях. При мониторинге сайтов сетевых организаций можно найти совершенно разные формы заявок и разную трактовку пунктов правил, в которых указывается объем и содержание предоставляемых клиентом сведений.

В 2009 году Федеральной антимонопольной службой Российской Федерации и Общероссийской общественной организацией малого и среднего предпринимательства «ОПОРА РОССИИ» было разработано методическое пособие «Технологическое присоединение к электрическим сетям. Методическое пособие для предпринимателей» [2], которое описывает процедуру технологического присоединения проще, чем эта информация представлена в тексте правил технологического присоединения,

также даются разъяснения к некоторым стадиям процедуры, рассматриваются часто задаваемые вопросы.

Для физических лиц, обращающихся в сетевые компании, на сегодняшний день не существует единого методического пособия, которым бы они могли пользоваться. Всю информацию физические лица получают либо через средства массовой информации, либо посредством консультаций специалистов сетевых организаций.

Одним из путей решения проблемы неосведомленности простого гражданина является предоставление информации о технологическом присоединении в более доступной и понятной форме. Для этих целей было разработано методическое пособие «Технологическое присоединение к электрическим сетям энергопринимающих устройств физических лиц».

Данное пособие предназначено для физических лиц, намеревающихся осуществить технологическое присоединение принадлежащих им энергопринимающих устройств, максимальная мощность которых составляет до 15 кВт включительно (с учетом ранее присоединенных в данной точке присоединения энергопринимающих устройств), которые используются для бытовых и иных нужд, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности, и электроснабжение которых предусматривается по одному источнику. В пособии приведены выдержки из правил, касающиеся технологического присоединения таких лиц, с пояснениями и комментариями к ним, рассмотрены основные этапы процедуры технологического присоединения (подача и рассмотрение заявки, заключение и исполнение договора, особенности временного присоединения, порядок проведения проверки выполнения технических условий), а также приложены формы заявок на технологическое присоединение, типовые формы договоров, технических условий и остальных документов.

Достоинство данного пособия заключается в том, что комментарии в нем даются с учетом независимого взгляда на процедуру технологического присоединения. В нем отсутствуют неправомерные требования, предъявляемые сетевыми организациями (например, даны независимые комментарии по вопросу распределения обязанностей сторон при выполнении ими мероприятий по технологическому присоединению).

Второй путь решения рассматриваемой проблемы заключается в переводе взаимодействия сетевых организаций и заявителей в так называемый режим online, что соответствует духу последних лет и образу жизни современного человека.

В соответствии с постановлением правительства Российской Федерации от 9.12.2013 г. № 1131 [3] сетевые организации с 10.03.2014 г. обязаны ввести процедуру приема заявок на технологическое присоединение через сеть «Интернет» с возможностью отслеживания исполнения заявки в online режиме.

В связи с введением, указанного постановления практически всеми сетевыми организациями был разработан и введен в действие личный кабинет клиента на официальных сайтах таких организаций. Но правительством вопрос построения личного кабинета был полностью передан в руки сетевых организаций. Поэтому на сегодняшний день формы ведения личного кабинета и предоставляемая в таких кабинетах информация отличаются (на некоторых сайтах необходимая заявителю информация представлена не достаточно полно, простота работы с кабинетом не продумана, а на других информация дается в необходимом объеме, личный кабинет обустроен просто и функционально).

Поэтому предлагается предъявлять к личному кабинету клиента следующие требования:

- возможность работы с личным кабинетом в удобное для клиента время (выходные дни, вечернее нерабочее время клиента и т.п.);
- предоставление информации о ходе технологического присоединения и своевременная актуализация такой информации;
- простота процедуры регистрации в личном кабинете и процесса подачи заявки на технологическое присоединение;
- предоставление ссылок на нормативно-правовую базу обеспечивающую процедуру технологического присоединения;
- наличие информационного блока о правилах работы с личным кабинетом и о последовательности шагов клиента необходимых для присоединения его энергопринимающих устройств;
- наличие online-консультанта.

Пример разрабатываемого личного кабинета клиента ООО «Заринская сетевая компания» («ЗСК») представлен на рисунке 1.

При реализации обоих путей решения рассматриваемой проблемы лица, заинтересованные в технологическом присоединении своих энергопринимающих устройств, будут адекватно ориентироваться в вопросах, касающихся процедуры такого присоединения, что уменьшит число правовых споров между сетевыми организациями и заявителями и уменьшит вероятность обмана со стороны сетевых организаций.

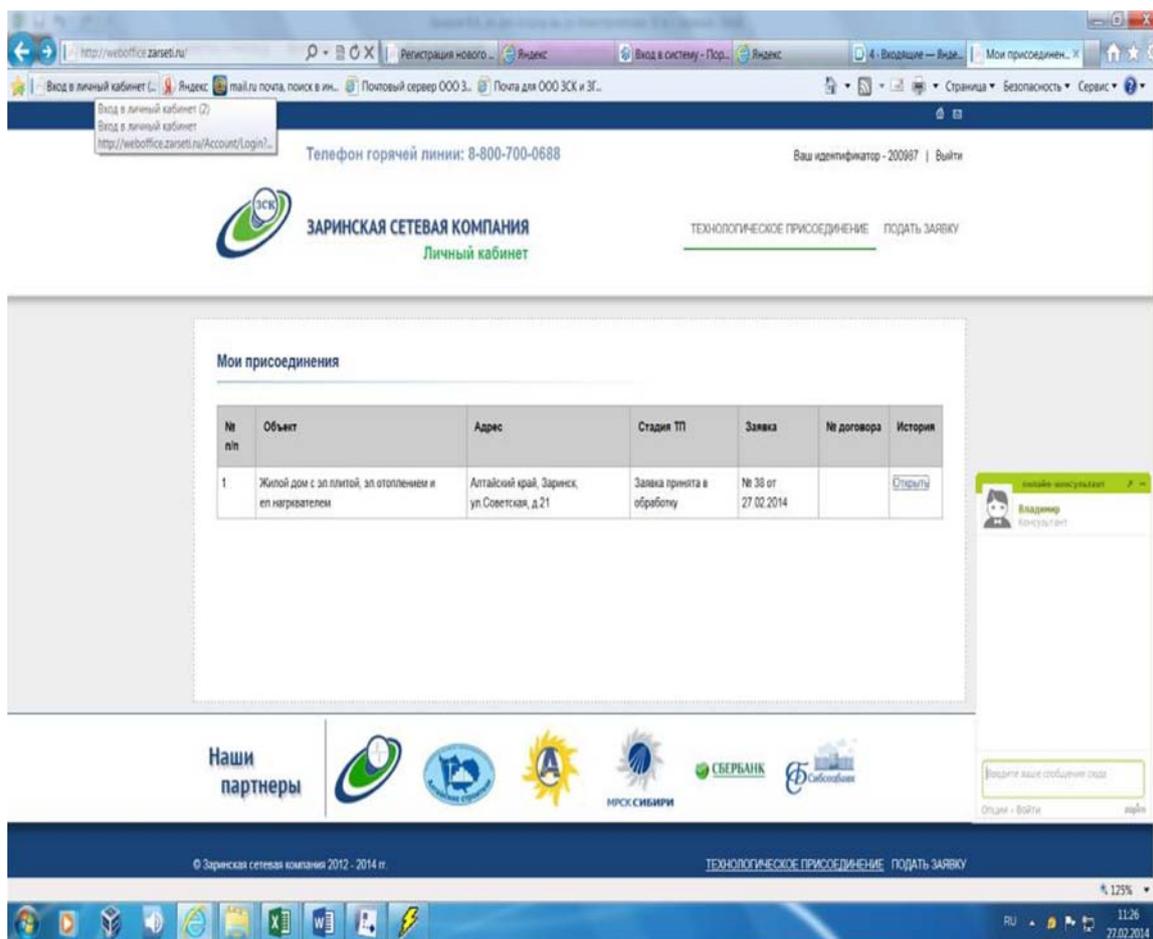


Рисунок 1 - Личный кабинет клиента

Методическое пособие «Технологическое присоединение к электрическим сетям энергопринимающих устройств физических лиц» внедрено в работу производственно-технического отдела и центра обслуживания клиентов сетевой организацией ООО «Заринская сетевая компания» с 1 июня 2014 года.

Предполагаемый положительный социальный эффект при внедрении данных разработок:

- упрощение работы с клиентами специалистов производственно-технического отдела и центра обслуживания клиентов;
- осведомленность клиентов в вопросах, касающихся технологического присоединения;
- обеспечение взаимодействий сетевой организации и клиентов в рамках правового поля, касающегося технологического присоединения.

## Список использованных источников:

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2004 г. N 861. «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям» [Электронный ресурс] / Российская газета - Федеральный выпуск №3676, 19 января 2005 г. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2005/01/19/dostup-energiya-doc.html>. – Загл. с экрана.

2. Технологическое присоединение к электрическим сетям [Электронный ресурс] : методическое пособие для предпринимателей // ФАС России. ОПОРА России, 2009. – 35 с. – Режим доступа: [http://www.fas.gov.ru/netcat\\_files/232/180/h\\_13b5d0fc3575fd8d33d99cb7dfd5cc54](http://www.fas.gov.ru/netcat_files/232/180/h_13b5d0fc3575fd8d33d99cb7dfd5cc54)

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2013 г. N 1131. г. Москва. «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам введения процедуры приема заявок на технологическое присоединение к электрической сети классом напряжения до 10 кВ включительно от лиц, мощность энергопринимающих устройств которых составляет до 150 кВт, через информационно-телекоммуникационную сеть "Интернет" с возможностью отслеживания исполнения заявки в режиме реального времени» [Электронный ресурс] / Интернет-портал «Российская газета», 10 декабря 2013 г. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2013/12/10/inet-site-dok.html>. – Загл. с экрана.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7 (385-2) 29-07-76, к.т.н., доцент Игорь Алексеевич Гутов, инженер производственно-технического отдела ООО «Заринская сетевая компания» Юрий Вячеславович Шишонин.*

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА НА ОСНОВЕ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРООБОГРЕВАТЕЛЕЙ**

А. Б. Дорош, Т. М. Халина, М. В. Халин, С. А. Гусейнова  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»  
Азербайджанская Республика, г. Баку,  
Институт физики НАН Азербайджана

*В статье приводятся разработанные энергоэффективные технологии локального обогрева с использованием различных типов многоэлектродных композиционных электрообогревателей (МКЭ).*

*Ключевые слова: локальный обогрев, многоэлектродный композиционный электрообогреватель, саморегулирование.*

Энергетическая эффективность технологий локального обогрева определяется техническими характеристиками обогревательных систем и режимами их работы. Выполненная системно-аналитическая оценка позволила классифицировать технические средства систем локального обогрева по нескольким критериям, в т.ч. диапазону мощности, рабочей площади электрообогревателей, возможности изменения теплоотдачи в зависимости от условий теплообмена, области использования (таблица 1), позволила осуществить направленный выбор технологий обогрева с учетом достоинств и недостатков технических средств обогрева в зависимости от требований эксплуатации.

В этой связи наиболее перспективным представляется использование систем поверхностно-распределенного обогрева на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей различных форм и типоразмеров, обеспечивающих энергоэффективный режим саморегулирования, функционирование во влажных и агрессивных средах (рисунок 1) [1].

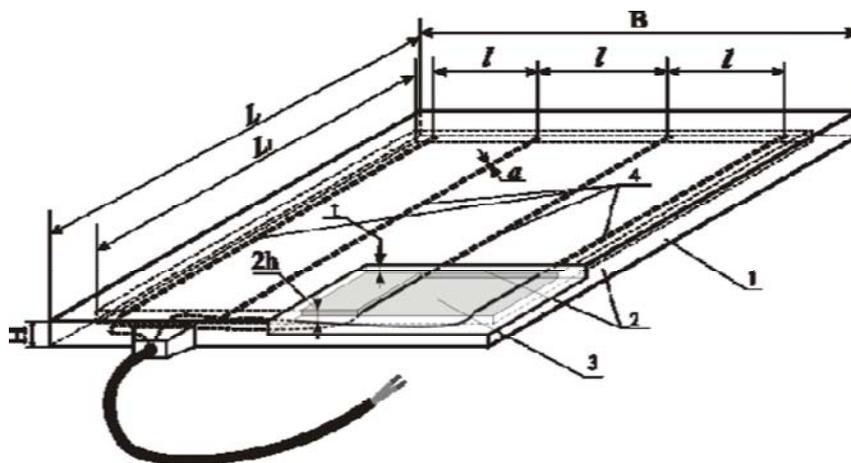
Электропроводный слой 2 представляет собой дисперснонаполненную полимерную бутилкаучуковую матрицу с наноструктурным наполнителем в виде технического углерода. Направленное проектирование структуры резистивного слоя может обеспечить работу МКЭ как с положительным, так и отрицательным температурным коэффициентом в зависимости от областей применения; в т.ч. для обогрева

контейнеров телекоммуникаций и оборудования электронной связи, аппаратуры щитов учета электроэнергии, локального обогрева технологических процессов в АПК.

Таблица 1 - Технические средства локального обогрева

Тип обогревателя	Основное назначение	Диапазон мощностей, Вт/м <sup>2</sup>	Площадь нагревателя, м <sup>2</sup>	Достоинства использования	Недостатки использования	Стоимость эффективно обогреваемой площади, руб/м <sup>2</sup>
Резистивные монолитные	Обогрев с/х животных	200÷400	От 0,4 до 1,0	Износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред	Отсутствует саморегулирование, значительный вес	8000÷10000
Тонкопленочные	Монтируются под покрытие (подогрев полов)	150÷500	От 0,005 до 3,0	Стабильное электрическое сопротивление, химическая и биологическая инертность	Отсутствует саморегулирование	5000÷8000
Пленочные ИК-нагреватели	Обогрев зон содержания с/х животных, спец. назначение	100÷300	От 0,05 до 3,0	Простота обслуживания и монтажа	Незащищенность от механических воздействий и агрессивных сред	8000÷12000
Саморегулирующиеся на основе кабелей	Универсальные	200÷500	От 0,005 до 1,0	Саморегулирование, энергоэффективность, простота монтажа и обслуживания	Небольшая площадь теплоотдачи, высокая цена	10000÷15000
Саморегулирующиеся композиционные (МКЭ)	Универсальное, включая агрессивные среды	200÷500	От 0,025 до 1,5	Саморегулирование, износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред	Сложность изготовления электрообогревателей площадью, более 1 м <sup>2</sup>	6000÷9000

Переход с аналогового телевизионного вещания на цифровое и телевидение высокой четкости, а также обеспечение бесперебойной спутниковой связи требуют энергоэффективного локального обогрева электронных устройств управления в диапазоне температур от  $+19^{\circ}\text{C}$  до  $+22^{\circ}\text{C}$ .



1- изоляционное покрытие; 2- электропроводящий слой;  
 $2h$ -толщина электропроводящего слоя; 3 электроды;  
 $l$ - расстояние между электродами;  
 $a$ -ширина электрода,  $L$ ,  $B$ ,  $H$ -габаритные размеры  
 Рисунок 1 - Электрообогреватель МКЭ-1/6

До внедрения разработанной системы обогрева силовое оборудование и контейнеры управления связью располагались в помещении АТС типа МС-240, габаритами 3500 x 2200 x 2100 мм. Число подобных объектов по Алтайскому краю составляет более тысячи единиц. Для поддержания необходимой исходной температуры обогрев всего помещения осуществлялся традиционными способами (масляные радиаторы, электрокалориферы), при этом средняя установленная мощность обогревателей составляла 0,83 кВт. В целях уменьшения затрат на обогрев всего помещения были определены зоны необходимого локального обогрева контейнеров связи: места расположения электронных блоков и аккумуляторных батарей резервного питания (рисунок 2) [2].

Установленная в них система обогрева включает 2 электрообогревателя МКЭ-1/1 и один МКЭ-1/2, общей мощностью  $120 \div 130$  Вт, и обеспечивает необходимую температуру в зоне работы электронных блоков. Кроме того, в системе предусмотрено температурное реле ТРМ-11, которое обеспечивает защиту электронной аппаратуры от возможных превышений допустимых значений рабочих температур, посредством размыкания цепей питания МКЭ. Для электронной аппаратуры этот показатель не должен превышать  $+30^{\circ}\text{C}$ .

В настоящее время для обогрева электронной аппаратуры мультибоксов, шкафов КИПиА, диабоксов, термобоксов, шкафов управления и автоматики используются нагреватели европейских и отечественного производителей RH 55 (45 Вт), или SH 75(75Вт), взывозащищенные обогреватели (100Вт). Монтаж нагревателей осуществляется в нижней части шкафа на расстоянии около 40 мм от встроенной аппаратуры. При этом используется конвективный косвенный обогрев, который менее энергоэффективен, чем прямой локальный обогрев теплопроводностью, осуществляемый электрообогревателями МКЭ.

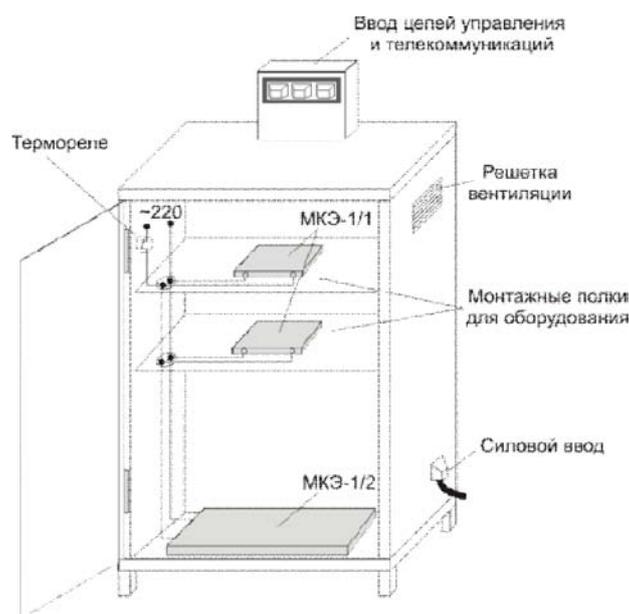


Рисунок 2 – Расположение электрообогревателей МКЭ в контейнере электронной связи

Производственные испытания системы обогрева контейнеров электронной связи на основе МКЭ с саморегулированием показали целесообразность и эффективность ее использования в регионах Сибири в круглогодичном режиме, так как необходимо исключить образование конденсата при резких перепадах температур (ночные заморозки) в летнее время. Анализ полученных результатов показал, что в среднем уменьшение затрат электроэнергии на эксплуатацию одного контейнера с оборудованием электронной связи составляет: для равнинных районах Алтайского края - 200 кВт\*ч, а в предгорных районах - более 7000 кВт\*ч.

Несмотря на оснащение щитов учета электроэнергии счетчиками нового поколения: электронными или индукционными, класса 1,0, по-прежнему остается актуальным локальный обогрев счетчиков электроэнергии, расположенных внутри неотапливаемых помещений или снаружи зданий и сооружений. Предлагаемая система локального обогрева счетчиков в щитах раздельно учета электроэнергии основана на ис-

пользовании электрообогревателей МКЭ-1/1 (рисунки 3,4) [2].

Многоэлектродный композиционный электрообогреватель 1 устанавливается в вертикальном положении под корпус счетчика 2, плотно прикрепляется к щиту с помощью крепежных скоб 3 и соединительных элементов 4. Для защиты счетчиков от перегрева в щитах учета цепи питания МКЭ устанавливается температурное реле 5, которое срабатывает на размыкание контактов при повышении предельных значений рабочих температур счетчиков.

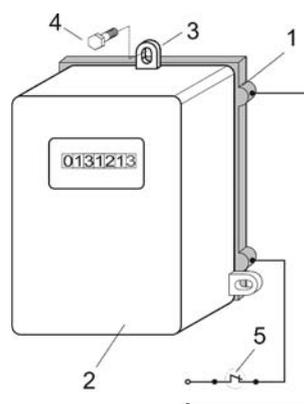


Рисунок 3 – Система обогрева счетчиков в щите раздельного учета электроэнергии на основе МКЭ-1/1



Рисунок 4 – Электронный счетчик с обогревателем МКЭ-1/1

Энергоэффективные системы локального обогрева технологических процессов в АПК включают обогрев молодняка животных и аппаратный подогрев зернового материала.

Наиболее перспективным направлением в области напольного обогрева животноводческих помещений является применение поверхностно - распределенного обогрева для зон дорастивания молодняка животных (поросята, телята, ягнята). Для этих целей необходимы электрообогреватели, площадью от 1 до 1,5 м<sup>2</sup>.

В большинстве случаев изготовление пленочных полимерных, кабельных и др. электрообогревателей таких размеров связано со зна-

чительными технологическими трудностями. Кроме того, длительная эксплуатация вышеназванных электрообогревателей в условиях агрессивной среды и постоянных механических воздействий, вызванных весом и активностью молодняка животных, затруднена. Наиболее перспективным является применение электрообогревателей МКЭ с саморегулированием, обеспечивающих надежную работу в этих условиях. Так например, для зон дорашивания поросят-отъемышей, телят, ягнят применяется электрообогреватель МКЭ-1/6, размером 1500x100x10 мм, удовлетворяющий зоотехническим требованиям.

Актуальность использования энергоэффективного низкотемпературного поверхностно – распределенного электрообогрева в зерноперерабатывающей отрасли АПК в условиях высокой энергоемкости технологического процесса подогрева зернового материала не вызывает сомнения и доказана многими авторами [3, 4].

Выполненные теоретические расчеты вышеуказанного процесса позволили разработать конструкцию опытного образца электрического аппарата подогрева зерна (ЭАПЗ) (рисунок 5). Согласно технического задания мощность электрообогревателя МКЭ-1/3 не должна превышать 60 Вт, а при этом температура на его поверхности не должна превышать температуру поступающего зерна, более чем на 30<sup>0</sup>С. Эти обстоятельства гарантируют, что температура зерна внутри ЭАПЗ не превысит +45<sup>0</sup>С - допустимую температуру по технологическому регламенту при аварийных режимах (заторы, сбой автоматики и т.д.).



Рисунок 5 – Конструкция ЭАПЗ

Используемые для ЭАПЗ МКЭ-1/3 с саморегулированием, выполненные согласно рецептурной карте [1], имеют 2 электрода с выходом в виде резьбового соединения (рисунок 6).

За 10 лет эксплуатации чистый дисконтированный доход (ЧДД) при использовании систем локального обогрева молодняка животных на базе МКЭ по сравнению с современными системами обогрева на базе плит НП 130 «КАДЕКС» составит 12634 руб. на один МКЭ. Стоимость капиталовложений при устройстве системы локального обогрева в животноводстве на основе плит НП 130 «КАДЕКС» выше на 10%, а на базе бетонполимерных плит Big Dutchman выше на 75% по сравнению с системами обогрева на основе МКЭ.

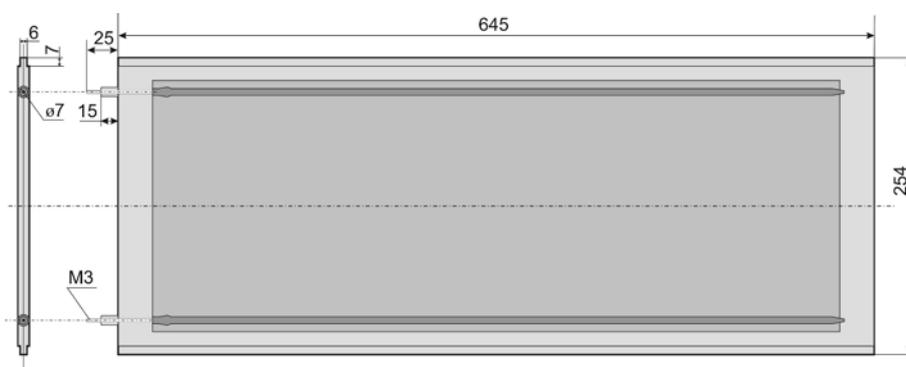


Рисунок 6 – Электрообогреватель МКЭ-1/3 для аппаратного подогрева зерна

ЧДД при локальном обогреве оборудования телекоммуникаций и связи в контейнерах по сравнению с ранее используемыми средствами обогрева контейнеров за 5 лет составит 17110 руб. на один контейнер. Стоимость капиталовложений для локального обогрева оборудования в контейнерах на базе вышеназванных зарубежных и отечественных аналогов на 13-64% выше, чем системы обогрева на базе электрообогревателей МКЭ.

#### **Список использованных источников:**

1. Патент 2476033 Российская Федерация, МПК Н 05 В 3/28. Способ изготовления композиционного электрообогревателя [Текст]/ Т. М. Халина, М. В. Халин, А. Б. Дорош - № 2011136621/07; заявл. 02.09.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. №5. – 9 с.

2. Разработка энергоэффективных технологий обогрева и опытных образцов изделий на основе многоэлектродных композиционных электрообогревателей: отчет о НИОКР [Текст] / Т. М. Халина, М. В. Халин,

А. Б. Дорош, и др. // ЭнергоЭффектТехнология - ГР № 01201164482, ГК №8796р/6815. - Барнаул, 2012. - 123 с.

3. Соколов, А. Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработки зерна [Текст] / А. Я. Соколов. - М.: Колос, 1975. - 496 с.

4. Патент 2277210 Российская Федерация, МПК F 26 В 3/34. Способ подогрева зернового материала [Текст] / Т. М. Халина, М. В. Халин, А. Б. Дорош, Г. А. Пугачев - № 2005100162/06; заявл. 11.01.2005; опубл. 27.05.2006, Бюл. № 15. – 6 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электротехника и автоматизированный электропривод», тел. +7(385-2)29-07-88, e-mail: temf@yandex.ru, ассистент Александр Борисович Дорош; д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Татьяна Михайловна Халина; д.т.н. профессор Михаил Васильевич Халин; Az-1141, Азербайджанская Республика, г. Баку, пр. Гусейн Джавида, 33, Институт физики НАН Азербайджана, аспирант Сабина Агаказым гызы Гусейнова - e-mail: sabish1977@rambler.ru.*

## ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ И РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ

К. М. Досмаева, А. Х. Мусин, В. И. Мозоль

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*Рассмотрена часть цены за электроэнергию – себестоимость, которая в свою очередь включает в себя технологические потери. Рассмотрены составные части технологических потерь. Приведен расчет технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям.*

*Ключевые слова: ценообразование, технологические потери, условно-постоянные потери, нагрузочные потери.*

Вопросы цены за электроэнергию для общества всегда были актуальными: из чего складывается цена, какие элементы входят и т.д.

В общем случае образование цены за электроэнергию описывается следующей формулой:

$$Ц = С + П + Н + Сн + Тн \quad (1)$$

где С-себестоимость;

П - прибыль предприятия;

Н – налоги;

Сн – сбытовая надбавка;

Тн – торговая надбавка.

В данной статье рассматривается составная часть себестоимости электроэнергии: стоимость технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Себестоимость единицы полезно отпущенной энергии:

$$S_{o.n} = S_O + S_{пер} + S_{тпэ} \quad (2)$$

где  $S_O$  – себестоимость единицы энергии отпущенной с шин станции в сеть;

$S_{пер}$  – себестоимость передачи единицы энергии;

$S_{тпэ}$  – стоимость технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям [2].

Технологические потери электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям включают в себя технические потери в оборудовании

электрических сетей, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии в соответствии с техническими характеристиками и режимами работы оборудования, с учетом расхода электроэнергии на собственные нужды подстанций, расхода электроэнергии на плавку гололеда и потерь, обусловленных допустимыми погрешностями системы учета электроэнергии. Технологические потери электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям ФСК и МРСК рассчитываются отдельно по составляющим: условно-постоянные, нагрузочные и потери, обусловленные допустимыми погрешностями системы учета.

Объем (количество) технологических потерь электроэнергии в целях определения нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям рассчитывается в соответствии с Методикой расчета технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям [1].

Технологические потери электроэнергии при ее передаче можно рассмотреть на примере условного предприятия N со следующими исходными данными:

- потребление электроэнергии – 52000 кВт·ч в год;
- кабельная линия КЛ-10 кВ, ААШВ-3\*95, L=100 м;
- силовой трансформатор ТМ 160/10 кВ.

1. Расчет технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде.

Производится расчет условно-постоянных потерь, которые включают в себя:

- потери на холостой ход силовых трансформаторов;
- потери в изоляции кабелей.

1.1 Потери электроэнергии холостого хода в силовом трансформаторе определяются на основе приведенных в паспортных данных оборудования потерь мощности холостого хода  $\Delta P_{xx}$  по формуле [1]:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left( \frac{U}{U_{ном}} \right)^2 \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  - число часов работы трансформатора (автотрансформатора) в i-м режиме, ч;

$U_i$  - напряжение на высшей стороне трансформатора (автотрансформатора) в i-м режиме, кВ;

$U_{ном}$  - номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора (автотрансформатора), кВ.

$\Delta P_{xx}=0,565$  кВт (справочные данные трансформатора ТМ-160/10)

$$\Delta W_x = 0,565 \cdot 8760 \cdot \left( \frac{10}{10} \right)^2 = 4949,4 \text{ кВтч/год.}$$

1.2. Потери электроэнергии в изоляции силовых кабелей принимается в соответствии с данными заводов-изготовителей оборудования. При отсутствии завода-изготовителя расчетные потери принимаются в соответствии с таблицей 10 [1].

Потери в изоляции кабеля ААШВ-3\*95 L=100 м согласно таблице №10,  $\Delta W_{кл} = 0,99$  тыс. кВтч/км в год.

Т.к. L=100м =0,1 км, то  $0,99 \cdot 0,1 = 0,099$  тыс.кВтч/км в год.

Следовательно,  $\Delta W_{кл} = 0,99 \cdot 1000 = 99$  кВтч/км в год.

Т.к.  $\Delta W_{кл} = 4949,4$  кВтч/км в год и  $\Delta W_{кл} = 0,99 \cdot 1000 = 99$  кВтч/км в год, то сумма условно-постоянных потерь: 4949,4 кВтч/км +99 кВтч/км в год =5048,4 кВтч/км в год.

2. Расчет активных сопротивлений линий, шинопроводов, обмоток трансформаторов.

2.1. Расчет активного сопротивления КЛ определяется с паспортными данными по формуле [1]:

$$R_{кл} = r_0 \cdot L / n_{ц} \quad (4)$$

где  $r_0$  - удельное активное сопротивление на 1 км кабеля, Ом/км;

L - длина кабеля, км;

$n_{ц}$  - количество параллельных цепей, шт;

$r_0 = 0,31$  Ом/км (справочные данные);

$r_0 = 0,31 \cdot 0,1 = 0,031$  Ом.

2.1. Расчет активного сопротивления двухобмоточного трехфазного трансформатора определяется в соответствии с паспортными данными оборудования по формуле [1]:

$$R_m = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{вном}^2}{S_{ном}^2} \cdot 10^{-3}, \text{ Ом/фазу} \quad (5)$$

где  $\Delta P_{кз}$  - потери мощности короткого замыкания, кВт;

$U_{вном}$  - номинальное напряжение высшей обмотки, кВ;

$S_{ном}$  - номинальная мощность трехфазного трансформатора МВ·А.

$$R_m = \frac{265 \cdot 10^2}{0,16^2} \cdot 10^{-3} = 10,3 \text{ Ом/фазу.}$$

3. Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в отдельных элементах электрической сети (расчет производится по методу средних нагрузок).

3.1. Нагрузочные потери электроэнергии в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе за базовый период определяются по формуле [1]:

$$\Delta W_H = k_k \cdot \Delta P_{ср} \cdot T \cdot k_{\phi}^2 \quad (6)$$

где  $\Delta P_{cp}$  - потери мощности в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе при средних за базовый период нагрузках, кВт;

$k_{\phi}^2$  - квадрат коэффициента формы графика за базовый период, о.е.;

$k_k$  - коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки (принимается 0,99), о.е.;

$T$  - число часов в базовом периоде, ч.

Коэффициент формы графика определяется по формуле [1]:

$$k_{\phi}^2 = \frac{1+2 \cdot k_3}{3 \cdot k_3}, \text{ о.е.} \quad (7)$$

где  $k_3$  - коэффициент заполнения графика.

$$k_{\phi}^2 = \frac{1+2 \cdot 0,3}{3 \cdot 0,3} = 1,7 \text{ о.е.}$$

Коэффициент заполнения графика определяется по формуле [1]:

$$k_3 = \frac{W_0}{P_{max} T} = \frac{T_{max}}{T} = \frac{P_{cp}}{P_{max}} \text{ о.е.} \quad (8)$$

где  $W_0$  - отпуск электроэнергии в сеть за время  $T$ , кВт.ч;

$T_{max}$  - число часов использования наибольшей нагрузки сети.

$$k_3 = \frac{7 \cdot 365}{8760} = 0,3, \text{ о.е.,}$$

При отсутствии данных о коэффициенте заполнения графика нагрузки, допускается  $k_3 = 0,5$ .

Нагрузочные потери мощности при средних за базовый период нагрузках в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе определяются по формуле [1]:

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot 10^{-3} = \frac{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}{U_{cp}^2} \cdot R = \frac{P_{cp}^2 \cdot (1 + tg^2 \varphi)}{U_{cp}^2} \cdot R \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (9)$$

где  $P_{cp}, Q_{cp}$  - средние значения активной и реактивной мощности за базовый период  $T$ , МВт, Мвар;

$tg \varphi$  - коэффициент реактивной мощности, о.е.;

$U_{cp}$  - среднее напряжение элемента за базовый период  $T$ , кВ;

$I_{cp}$  - среднее значение токовой нагрузки, А, о формуле(23);

$R$  - активное сопротивление ВЛ, КЛ, шинопровода или двухобмоточного трансформатора, Ом.

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot 0,38^2 \cdot 10,3 \cdot 10^{-3} = 0,0044, \text{ кВт},$$

Средняя нагрузка определяется по формуле [1]:

$$P_{cp} = \frac{W_m}{T}, \text{ кВт} \quad (10)$$

$$P_{cp} = \frac{52000}{8760} = 5,93, \text{ кВт};$$

$$I_{cp} = \frac{W_m}{\sqrt{3} \cdot U_{cp} \cdot T \cdot \cos \varphi}, \text{ А} \quad (11)$$

$$I_{cp} = \frac{52000}{3760 \cdot 1,73 \cdot 10 \cdot 0,9} = 0,38, \text{ А},$$

где  $W_T$ - электроэнергия в узле за базовый период  $T$ , кВт.ч.

$$\Delta W_H = 0,99 \cdot 0,0044 \cdot 8760 \cdot 1,7 = 64,8, \text{ кВт.ч в год}$$

### 3.2 Расчет нагрузочных потерь электроэнергии в кабеле 10 кВ

Нагрузочные потери электроэнергии в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе за базовый период определяются по формуле[1]:

$$\Delta W_H = k_k \cdot \Delta P_{cp} \cdot T \cdot k_\phi^2 \quad (6)$$

где  $\Delta P_{cp}$  - потери мощности в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе при средних за базовый период нагрузках, кВт;

$k_\phi^2$ - квадрат коэффициента формы графика за базовый период, о.е.;

$k_k$ - коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки (принимается равным 0,99), о.е.;

$T$  - число часов в базовом периоде, ч.

Коэффициент формы графика определяется по формуле [1]:

$$k_\phi^2 = \frac{1+2 \cdot k_3}{3 \cdot k_3}, \text{ о.е.} \quad (7)$$

где  $k_3$  - коэффициент заполнения графика.

$$k_\phi^2 = \frac{1+2 \cdot 0,3}{3 \cdot 0,3} = 1,7 \text{ о.е.}$$

Коэффициент заполнения графика определяется по формуле [1]:

$$k_3 = \frac{W_0}{P_{max} T} = \frac{T_{max}}{T} = \frac{P_{cp}}{P_{max}} \text{ о.е.} \quad (8)$$

где  $W_0$  - отпуск электроэнергии в сеть за время  $T$ , кВт.ч;

$T_{max}$  - число часов использования наибольшей нагрузки сети.

$$k_3 = \frac{7 \cdot 365}{8760} = 0,3, \text{ о.е.},$$

При отсутствии данных о коэффициенте заполнения графика нагрузки, допускается  $k_3 = 0,5$ .

Нагрузочные потери мощности при средних за базовый период нагрузках в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе определяются по формуле [1]:

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot I_{cp}^2 \cdot R \cdot 10^{-3} = \frac{P_{cp}^2 + Q_{cp}^2}{U_{cp}^2} \cdot R = \frac{P_{cp}^2 \cdot (1 + tg^2 \varphi)}{U_{cp}^2} \cdot R \cdot 10^{-3}, \text{ кВт} \quad (9)$$

где  $P_{cp}, Q_{cp}$  - средние значения активной и реактивной мощности за базовый период  $T$ , МВт, Мвар;

$tg \varphi$  - коэффициент реактивной мощности, о.е.;

$U_{cp}$  - среднее напряжение элемента за базовый период  $T$ , кВ;

$I_{cp}$  - среднее значение токовой нагрузки, А, о формуле(23);

$R$  - активное сопротивление ВЛ, КЛ, шинопровода или двухобмоточного трансформатора, Ом.

$$\Delta P_{cp} = 3 \cdot 0,38^2 \cdot 0,031 \cdot 10^{-3} = 0,000013, \text{ кВт},$$

Средняя нагрузка определяется по формуле [1]:

$$P_{cp} = \frac{W_m}{T}, \text{ кВт} \quad (10)$$

$$P_{cp} = \frac{52000}{8760} = 5,93, \text{ кВт};$$

$$I_{cp} = \frac{W_m}{\sqrt{3} \cdot U_{cp} \cdot T \cdot \cos \varphi}, \text{ А} \quad (11)$$

$$I_{cp} = \frac{52000}{3760 \cdot 1,73 \cdot 10 \cdot 0,9} = 0,38, \text{ А},$$

где  $W_T$  - электроэнергия в узле за базовый период  $T$ , кВт.ч.

$$\Delta W_H = 0,99 \cdot 0,000013 \cdot 8760 \cdot 1,7 = 0,19, \text{ кВт.ч в год.}$$

$$\Delta W_{общ} = 64,8 + 0,19 = 64,99, \text{ кВт.ч в год.}$$

Процент потерь:

$$\frac{\Delta W_{общ}}{W_T} \cdot 100\% \quad (12)$$

$$\frac{64,99}{52000} \cdot 100 = 0,12\% \text{ в год.}$$

Таким образом, условно-постоянные и нагрузочные потери образуют технологические потери, а они в свою очередь являются частью цены на электроэнергию, то есть частью ценообразования в энергетике.

#### Список использованных источников:

1. Методика расчета технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям [Текст] : постановление : утв. М-вом энергетики Российской Федерации от 28 мая 2008 г.

2. Хлебников В.В. Рынок электроэнергии в России [Текст] : учебное пособие для студентов вузов / В. В. Хлебников - М. : Гуманитор. изд. Центр ВЛАДОС, 2015. – 296 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификации производства и быта», студент Ксения Михайловна Досмаева – e-mail: aharhuk@list.ru; д.т.н., профессор, Агзам Хамитович Мусин – e-mail: agzam45@mail.ru, тел. +7(385-2) 29-07-75; к.т.н., доцент Владимир Иванович Мозоль – e-mail:yumasheva@altke.ru, тел. +7(385-2 )24-37-44.*

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

О. Н. Дробязко

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены результаты использования методов теории неопределенности для решения ряда задач обеспечения безопасности электроустановок, выявлены трудности широкого использования таких методов в предметной области, предложена специальная методология, позволяющая преодолеть эти трудности, охарактеризованы средства реализации предлагаемой методологии.*

*Ключевые слова: обеспечение безопасности электроустановок, система безопасности электроустановок, математическое моделирование систем безопасности электроустановок, оптимизация систем безопасности электроустановок, интервальный анализ, теория нечетких чисел, нечеткая логика, теория неопределенности.*

На протяжении последних двадцати лет в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова (АлтГТУ) разрабатывались методы и средства решения задач построения оптимальных систем обеспечения безопасности электроустановок (прежде всего, в сфере аграрно-промышленного комплекса). Были разработаны методы математического моделирования процесса функционирования систем безопасности электроустановок (СБЭ) на объекте и группе объектов, а также методы оптимизации таких систем. В качестве средств решения поставленных задач выступали системы проектирования СБЭ, основывающиеся на разработанных программах для ЭВМ [1-5].

Для решения задач моделирования процесса функционирования СБЭ на объекте построены специальные математические модели двух типов: для моделирования процесса обеспечения электробезопасности и для моделирования процесса обеспечения пожаробезопасности.

Результатами моделирования в моделях первого вида были «остаточные» вероятности электропоражения каждого из людей на объекте, имевшие место и при наличии СБЭ. На их основе строился единый показатель, учитывающий состояние электробезопасности в целом по

множеству людей. (В моделях выделялись две подмодели, учитывающие две разновидности возможных прикосновений человека к электроустановке).

Результатом моделирования в моделях второго вида были вероятности загорания изоляции на каждом участке внутренней сети объекта, а также единый показатель для объекта.

Построенные модели не имели типовых аналогов. Кратко они могут быть охарактеризованы следующим набором признаков: системные, многоуровневые, аналитико-алгоритмические, детерминировано-вероятностные, условно-динамические.

Для решения задачи оптимизации СБЭ на объекте введены критерии оптимизации системы, учитывающие два аспекта безопасности, а также построен интегральный скалярный критерий. Множество возможных вариантов системы генерировалось проектировщиком с учетом существующих инженерных методик выбора защиты.

Разработанные методы и средства были опробованы при проектировании оптимальных систем безопасности в рамках решения задачи их реконструкции на группе объектов АПК. Получено подтверждение возможности существенного повышения эффективности СБЭ за счет их оптимизации.

Однако массовое внедрение разработанных методов и средств натолкнулось на серьезные трудности информационного обеспечения проектировочных расчетов, в частности, на трудности сбора статистических данных о случайных событиях, происходящих в системах электроснабжения и системах электрозащиты объектов.

Для решения возникших проблем в АлтГТУ принято решение об использовании современных разделов математики, которые бы позволили учитывать неопределенность части исходных данных, используемых в имеющихся математических моделях, на базе которых осуществлялись проектировочные расчеты. В этом направлении проведены соответствующие научно-исследовательские работы [6-10].

В результате этих работ были установлены требования к выбору пригодных для решения поставленных задач математических методов, теорий и математических аппаратов, связанных с неопределенностью.

Эти требования заключались в следующем:

- при использовании выбираемых методов должна быть в максимальной степени сохранена логика (сохранены алгоритмы) ранее разработанных методов моделирования СБЭ;

- исходные данные, значения которых не могут рассматриваться как точные, должны быть описаны как неопределенные величины;

- исходные данные, представляющие некоторые зависимости, имеющие «разброс», должны быть описаны как совокупность множеств значений неопределенных величин и в дальнейшем описаны как неопределенные величины;

- при использовании выбираемых методов должна быть в максимальной степени сохранена логика ранее разработанных методов оптимизации СБЭ.

Специфической особенностью алгоритмов моделирования СБЭ в двух аспектах являлось то, что в них осуществлялось выполнение *только арифметических операций* на всех уровнях, кроме вспомогательного, находящегося на самом низком уровне иерархии.

Другой особенностью алгоритмов являлось то, что в операциях должны участвовать как точные величины, так и величины, которые требуется описывать как неопределенные.

Выполненный анализ теорий и методов, связанных с неопределенностью, позволил сделать заключение о том, что поставленным требованиям удовлетворяют два раздела математики: 1) интервальный анализ (интервальная математика, интервальные вычисления, интервальная арифметика); 2) теория нечетких чисел, являющаяся подразделом теории нечетких множеств.

В рамках этих разделов может быть получено описание неопределенности, присущей части исходных данных, выполнены операции с математическими объектами, учитывающими неопределенность, дана интерпретация результатам моделирования.

Так, при использовании интервального анализа значения вводимых вероятностей могут быть описаны как интервальные числа, представляемые числовым интервалом. В рамках рассматриваемого раздела имеется интервальная арифметика [11-13], позволяющая осуществлять арифметические действия над интервальными числами. Результат моделирования интерпретируется как интервальная вероятность.

Для описания исходных данных, представляющих собой некоторые зависимости, в [9] введено понятие интервальных функций, являющихся обобщением интервальных чисел. На их основе там же разработан метод моделирования, предусматривающий определение пространства промежуточного неопределенного фактора. Результатом моделирования является некоторый числовой интервал.

При решении задачи оптимизации интервальные вероятности интерпретировались как значения интервальных критериев оптимизации. Нами был разработан способ нормирования интервальных частных критериев, позволяющий формировать аддитивный интервальный критерий оптимальности [9,10]. (Нормирование осуществлялось путем

выполнения ряда арифметических операций над частными критериями оптимальности).

В рамках интервального анализа имеется метод сравнения величин интервалов и выделения экстремального интервала [14-15]. На его основе может быть реализована процедура сравнения значений интервала и выбора на этой основе оптимального варианта СБЭ.

Таким образом, интервальный анализ в принципе удовлетворяет всем поставленным нами требованиям. Отметим также, что для его использования пришлось решить несколько вспомогательных задач.

Рассмотрим далее, в какой мере удовлетворяет поставленным требованиям теория нечетких чисел.

При использовании теории нечетких чисел значения вводимых вероятностей могут быть описаны как нечеткие числа. В рамках рассматриваемой теории имеется нечеткая арифметика, позволяющая осуществлять арифметические действия над нечеткими числами. (В таких действиях могут участвовать и обычные вещественные числа). Результат моделирования интерпретируется как нечеткая вероятность.

Реализовать третье требование с использованием нечетких чисел нам не удалось. Это объясняется тем, что для таких характеристик отсутствуют основания для какой-либо дифференциации неопределенности их значений.

При решении задачи оптимизации нечеткие вероятности интерпретировались как значения нечетких критериев оптимизации.

Нами разработан способ нормирования нечетких частных критериев, позволяющий формировать аддитивный нечеткий критерий оптимальности [9]. (Нормирование осуществлялось путем выполнения ряда арифметических операций над частными критериями оптимальности).

В рассматриваемом разделе математики имеется группа методов сравнения нечетких чисел [16]. Таким образом, в рамках теории нечетких чисел также имеется принципиальная возможность решения всех поставленных задач, кроме третьей.

На основе выбранных теорий и методов были разработаны модифицированные алгоритмы моделирования и оптимизации [9]. Эти алгоритмы легли в основу программы для ЭВМ [17, 18].

Разработанные в АлтГТУ методы и средства позволили снизить требования к информационному обеспечению расчетов эффективности систем безопасности электроустановок, повысить степень адекватности моделей и создали условия для широкого использования оптимального проектирования СБЭ.

Охарактеризуем другие работы, выполненные в последние годы в АлтГТУ.

В рамках диссертационной работы [19] разработаны метод и средство прогнозирования остаточного ресурса электропроводки зданий. Метод базировался на основе использования нечеткой логики. Он позволил на основе определенных для конкретного помещения десяти значений диагностических параметров прогнозировать остаточный ресурс электропроводки. Основной частью сформированной системы нечеткого логического вывода является нечеткая база знаний, позволяющая описывать зависимость между значениями (нормированных) диагностических параметров и выходной переменной, после специального преобразования которой определяется конкретное значение остаточного ресурса. Это позволило принимать обоснованные управленческие решения по профилактике безопасности электропроводки.

Таким образом, использование теорий и методов, оперирующих с неопределенностью, позволило улучшить возможности методов и средств, применявшихся ранее для проектирования оптимальных СБЭ, а также решить новые научные задачи в сфере обеспечения безопасности электроустановок. Это открывает перспективы дальнейшего использования различных разделов указанных теорий в данной предметной области и в близких областях инженерной деятельности.

Однако на пути такого использования имеется ряд трудностей.

1. Рассматриваемые методы достаточно сложны. Для их овладения требуется серьезная математическая подготовка.

2. Математические методы, оперирующие с неопределенностью, развивались изолированно друг от друга. Они изложены в отдельных изданиях и имеют различную глубину освещения тематики. В настоящее время отсутствует какой-либо литературный источник, в котором бы рассматривались одновременно все имеющиеся методы.

В связи с этим остро стоит проблема формирования целостного представления обо всей совокупности методов, оперирующих с неопределенностью.

3. Имеющиеся издания, как правило, мало освещают вопросы практического использования рассматриваемых методов. Исключение составляют лишь работы в области экономики. В инженерной сфере примеры освещения практического использования методов крайне ограничены.

4. В настоящее время отсутствует общепринятый термин, позволяющий описывать всю совокупность имеющихся теорий, методов и математических аппаратов, связанных с неопределенностью.

Для преодоления вышеперечисленных трудностей должна быть разработана специальная методология, позволяющая овладеть теорией неопределенности научным работникам и инженерам и в дальнейшем использовать ее для решения практических задач в их прикладной области.

Такая методология, на наш взгляд, должна содержать четыре направления:

- изучение и использование опыта эффективного использования методов, оперирующих с неопределенностью, в «своей» предметной области и «близких» областях;

- изучение и использование опыта эффективного использования тех же методов в «далеких» предметных областях;

- изучение различных разделов теорий, связанных с неопределенностью, по специальным (монографическим) источникам с их последующим использованием для решения поставленных задач;

- изучение типовых задач, для решения которых могут быть использованы методы, связанные с неопределенностью с дальнейшей интерпретацией этих задач в своей предметной области. Принятие заключения о применимости определенного метода в предметной области.

Особенность направления состоит в том, что типовые задачи должны быть заранее сформированы соответствующими специалистами.

Все предложенные направления методологии предусматривают изучение лицом, решающим задачу, некоторой информации. Такая информация может содержаться в диссертациях, статьях, монографиях.

Для повышения эффективности предлагаемой методологии необходимо создание новых информационных источников. На наш взгляд, существует острая необходимость в создании учебного пособия, написанного на языке, доступном для понимания научными работниками и инженерами, в котором были бы освещены все известные в настоящее время методы, связанные с неопределенностью.

В результате создания такого пособия была бы осуществлена методическая поддержка третьего направления методологии и во многом были бы преодолены отмеченные выше первая и вторая трудности использования методов.

Существует также необходимость в написании пособия, в котором были бы сформулированы типовые задачи, оговоренные в четвертом направлении методологии.

Наибольшая польза была бы от создания комплексного информационного источника, который бы объединил содержание двух предла-

гаемых пособий, а также содержал некоторую дополнительную методическую информацию.

Такое пособие должно содержать следующие разделы:

- концептуальные положения описания неопределенности;
- системное описание полного спектра современных разделов математики, описывающих неопределенность. В рамках этого раздела должен быть введен термин, позволяющий кратко определить весь спектр указанных разделов математики;
- описание возможностей использования рассматриваемых разделов математики для решения прикладных инженерных задач.

Таким образом, в рамках данной работы были рассмотрены результаты использования математики неопределенности для решения ряда задач обеспечения безопасности электроустановок; предложена специальная методология, позволяющая преодолеть трудности дальнейшего использования теорий и методов, связанных с неопределенностью в практике работы научных работников и инженеров; в качестве средства реализации методологии предложено создание ряда информационных источников методического характера.

#### **Список использованных источников:**

1. Системы безопасности электроустановок зданий [Текст] / О. К. Никольский [и др.]. - Барнаул, 2004. -82 с. В кн. Правила устройства, эксплуатации и безопасность электроустановок. – Нормативно-технический сборник. -Барнаул, 2004.- 840 с.

2. Дробязко, О. Н. Оптимальные стратегии создания систем безопасности электроустановок агропромышленного комплекса [Текст] : автореф. дис .... докт. техн. наук / О. Н. Дробязко. – Барнаул, 2006. – 43 с.

3. Дробязко, О. Н. Особенности использования методов оценки эффективности и оптимизации технических систем безопасности электроустановок [Текст] / О. Н. Дробязко, С. Ф. Нефедов // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009. -№ 5. - С. 32-33.

4. Никольский, О. К. Комплексная система обеспечения безопасности электроустановок сельских населенных пунктов. Методические и практические рекомендации / О. К. Никольский, А. А. Сошников, О. Н. Дробязко, Т. В. Еремина, С. А. Сошников, Ю. С. Лукьянов, С. Н. Серов, Б.С. Компанеев, С. Ф. Нефедов, О. В. Полухин; под ред. А. А. Сошникова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. - 112 с.

5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2009614829. Электробезопасность 380/220 (ЭБ 380/220)

[Текст] / Дробязко О. Н., Нефедов С. Ф. // Заявка № 2009613691; дата поступления 13.07.2009 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.09.2009 г.

6. Дробязко, О. Н. Разработка методов оптимального выбора систем безопасности электроустановок с учетом неопределенности исходных данных [Текст] / О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник. -2011.-№ 4.-С.13.

7. Дробязко, О.Н. Учет неопределенности исходных данных в задачах оценки эффективности систем безопасности электро-установок / О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник. -2009.-№ 4.-С.26.

8. Нефедов, С.Ф. Построение оптимальных систем безопасности электроустановок зданий с учетом степени неопределенности исходной информации [Текст]/ С.Ф. Нефедов, О.Н. Дробязко // Механизация и электрификация сельского хозяйства.-2009.- № 5.-С. 6-7.

9. Нефедов, С.Ф. Построение оптимальных систем безопасности электроустановок объектов агропромышленного комплекса в условиях неопределенности [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Ф. Нефедов. – Барнаул, 2012. – 24 с.

10. Дробязко, О. Н. Методы моделирования и оптимизации систем безопасности электроустановок с учетом интервальной неопределенности исходных данных [Текст] / О.Н. Дробязко, С.Ф. Нефедов // Ползуновский вестник. -2012.-№ 4.-С. 101-106.

11. ПСФ ИСТОК. Возможности интервального анализа при моделировании и в расчетах инженерных систем [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <http://www.id-orion.ru> .-Загл. с экрана.

12. Интервальный анализ и его приложения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nsc.ru/interval/Library/InteBooks/Shokin.pdf> /. - Загл. с экрана.

13. Интервальная арифметика [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/w/index.php?> - Загл. с экрана.

14. Левин, В. И. Логический подход к оптимизации при интервальной неопределенности параметров [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://gaai.org/resurs/reper/Kolomna2009/> .- Загл. с экрана.

15. Левин, В. И. Интервальный подход к оптимизации в условиях неопределенности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/56155.html> . - Загл. с экрана.

16. Корченко, А. Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения [Текст] /А.Г. Корченко. – К.: «МК-Пресс», 2006.-320 с.

17. Нефедов, С. Ф. Основы построения программного обеспечения оценки эффективности систем безопасности электроустановок в условиях неопределенности [Текст] / С.Ф Нефедов // Ползуновский вестник.- 2009.-№ 4.-С.37.

18. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010610102. Электропожаробезопасность 380/220 Н (ЭПБ 380/220 Н) / Дробязко О.Н., Нефедов С.Ф. // Заявка № 2009615789; дата поступления 20.10.2009 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.01.2010.

19. Гончаренко, Г. А. Метод оценки и прогнозирования остаточного ресурса электропроводки на объектах АПК в условиях неопределенности [Текст] : автореф. дисс. ...кан. техн. наук / Г.А. Гончаренко. - Барнаул, 2013. -24 с.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор Олег Николаевич Дробязко - e-mail: drolnik@list.ru, тел. +7(385-2) 46-47-62.

## **МОНИТОРИНГ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

В. В. Дубинин, А. Н. Попов

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрен метод удаленного контроля параметров режима электрической сети с использованием беспроводной передачи данных. Представлена структурная схема разрабатываемого устройства сбора и передачи данных о параметрах режима электрической сети, а также прямо-передающего устройства.*

*Ключевые слова: мониторинг, автоматизированная система коммерческого учёта электроэнергии, режим электрической сети, контроль.*

В результате реформирования электроэнергетики России произошла приватизация электрических сетей, которая качественно изменила отношение к электроэнергии. Теперь электроэнергия – это товар, который продается и покупается, а значит, приносит прибыль. Стоимость его непрерывно растет в связи с повышением цен на топливо. Отношения между заинтересованными в процессе реализации электроэнергии сторонами (производителями, поставщиками и потребителями) кардинально изменились, в них появились определенные договорные, технические, экономические и финансовые нюансы. Совокупность указанных моментов обуславливает повышение требований не только к учету электроэнергии, но и к достоверности, точности передачи данных о ее потреблении на диспетчерский пункт. Каждая сторона имеет свой интерес в наличии сведений о величине учтенной электроэнергии. Производители могут принимать меры по снижению себестоимости, снижению технических (технологических) потерь и экономии топлива. Энергосбытовые организации получают сведения о величине обоих видов потерь (технических и коммерческих). Снижение коммерческих потерь является важнейшим показателем работы энергосбытовой организации. Учитывая достаточно четкую тенденцию роста объемов хищений, предприятия электрических сетей, а также

другие заинтересованные организации ясно представляют серьезность данной проблемы. Недоучет и хищения электрической энергии являются существенными составляющими коммерческих потерь, причем большая доля потерь приходится на сети 0,4 кВ. С точки зрения интересов сбытовой компании целесообразно перенести точку учета электроэнергии от потребителей с сети 0,4 кВ на сети 6-10 кВ, на границу балансовой принадлежности – на ответвление от магистрали[1].

Основным критерием оценки энергоэффективности распределительных электрических сетей, является уровень потерь при транспортировке электрической энергии. Величина потерь электроэнергии характеризует существующее техническое состояние оборудования, уровень эксплуатации распределительных электрических сетей, состояние систем учета электрической энергии.

Проведенные исследования электросетевых и промышленных предприятий показали, что в распределительных электрических сетях напряжением 6-10 кВ электросетевых организаций и промышленных предприятий, основная доля от общей структуры технологических потерь, приходится на нагрузочные потери в линиях электропередачи и потери на холостой ход трансформаторов. Что обусловлено, в общем случае, значительным износом основного оборудования распределительных сетей 6-10 кВ, низким уровнем автоматизации системы управления технологическим процессом передачи электрической энергии по распределительной сети, недостаточным уровнем организации эксплуатации распределительных сетей.

Высокий износ основного оборудования распределительных электрических сетей напряжением 6-10 кВ на сегодняшний день, является одним из главных вопросов, который приходится решать организациям, эксплуатирующим эти сети. Существующие объемы и темпы проведения капитальных ремонтов, технического перевооружения и реконструкции распределительных сетей, позволяют только остановить наращивание темпов износа объектов электросетевого комплекса.

Анализ особенностей электрических сетей как объекта исследования надежности позволил установить, что нормативный уровень надежности обеспечен только у 15% от общего числа потребителей.

На рисунке 1 представлена диаграмма отражающая количество внезапных отключений из-за отказов элементов распределительной электрической сети, а на рисунке 2 представлена диаграмма средней продолжительности отключений потребителей. Согласно этим данным можно сделать вывод, что наиболее частые отказы происходят в рас-

пределительных сетях 6-10 кВ и время на восстановление электро-снабжения потребителей по этим сетям очень велико.

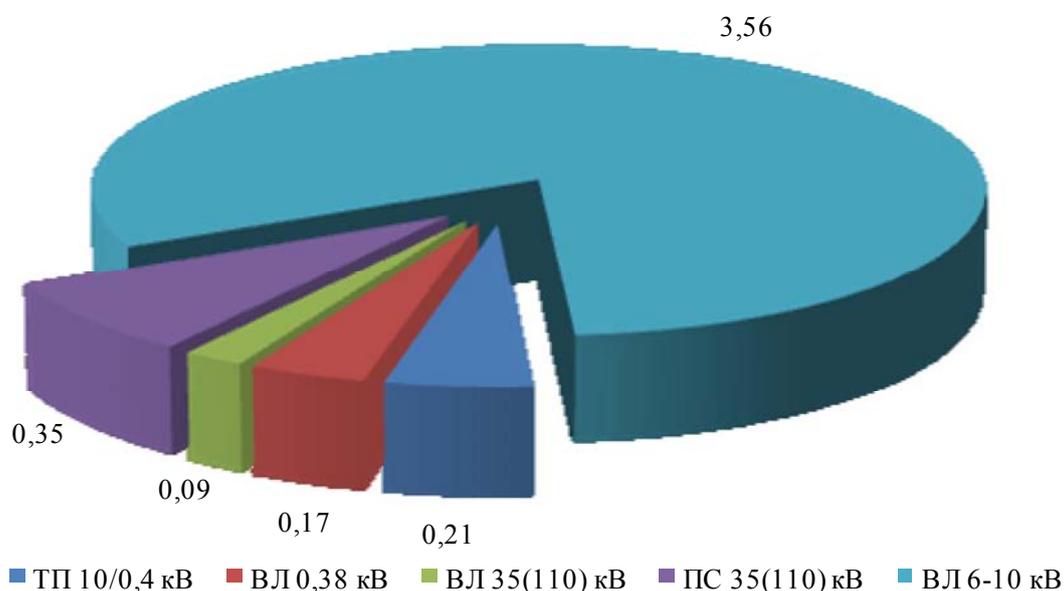


Рисунок 1 – Среднее число внезапных отключений потребителя в год из-за отказов элементов цепи «источник – потребитель»

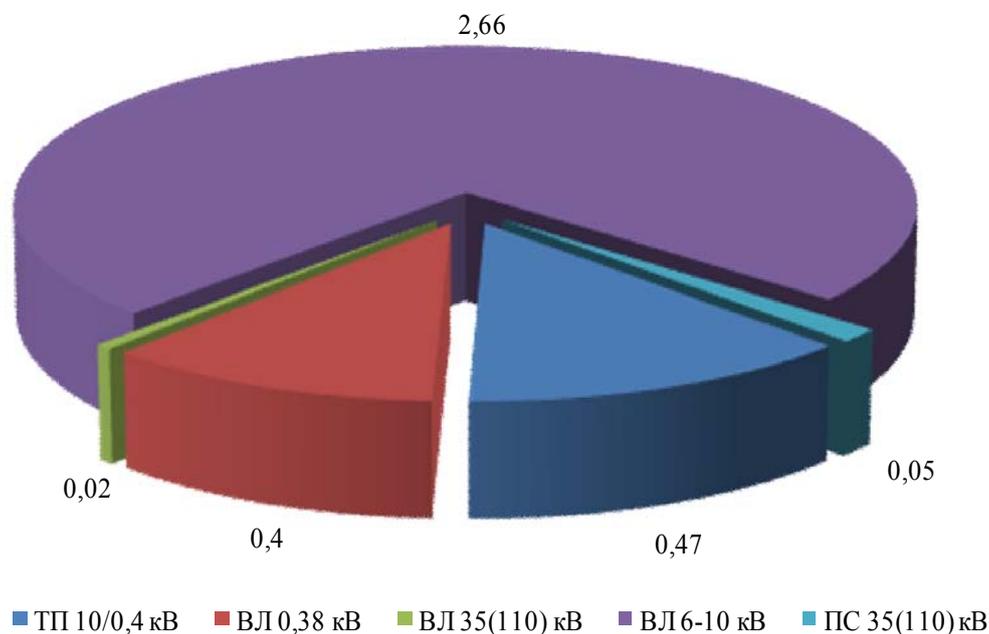


Рисунок 2 – Средняя продолжительность отключений потребителя в год из-за отказов элементов цепи «источник – потребитель»

Результаты проведенных исследований показывают, что не все используемые на практике мероприятия позволяют обеспечить дости-

жение требуемого уровня надежности электроснабжения, а их комплексное использование не всегда возможно в силу низкого уровня защиты и автоматизации сельских распределительных сетей.

В связи с этим, жизненно необходим комплексный мониторинг параметров режима распределительных электрических сетей напряжением 6-10 кВ, с использованием передачи регистрируемых данных на диспетчерский пункт в режиме реального времени.

Одним из наиболее распространенных методов обеспечения надежности электроснабжения потребителей является повышение надежности оборудования и сооружения электрических сетей. Наиболее повреждаемым элементом в системе электроснабжения являются воздушные линии (ВЛ), особенно линии напряжением 6-10 кВ [2].

В энергосистемах в настоящее время эксплуатируется более одного миллиона километров воздушных линий электропередачи 6-10 кВ. Техническое состояние распределительных сетей характеризуется степенью внедрения современного электрооборудования, конструктивным совершенствованием элементов ВЛ, степенью их износа, наличием дефектов на линиях.

Основные направления повышения надежности и уровня технического состояния ВЛ распределительных сетей (смотри рисунок 3) как и прежде – ремонт, реконструкция, внедрение новых технических решений и разработок более совершенного электрооборудования, применение проводов и опор большей прочности, приведение конструкций в соответствие с реальными внешними нагрузками, совершенствование систем управления путем комплексной автоматизации распределительных сетей [2].

В современных условиях непрерывно возрастают требования к надежности и бесперебойности электроснабжения объектов народного хозяйства. Поэтому предотвращение или скорейшая ликвидация повреждений электрических сетей является важнейшей задачей. Несмотря на повышение качества изоляции и токоведущих частей электрооборудования, воздушных линий электропередач, нельзя исключить их повреждений. Более того, удельное количество повреждений является достаточно устойчивой характеристикой определенного класса электрических сетей на каждом этапе их развития [3].

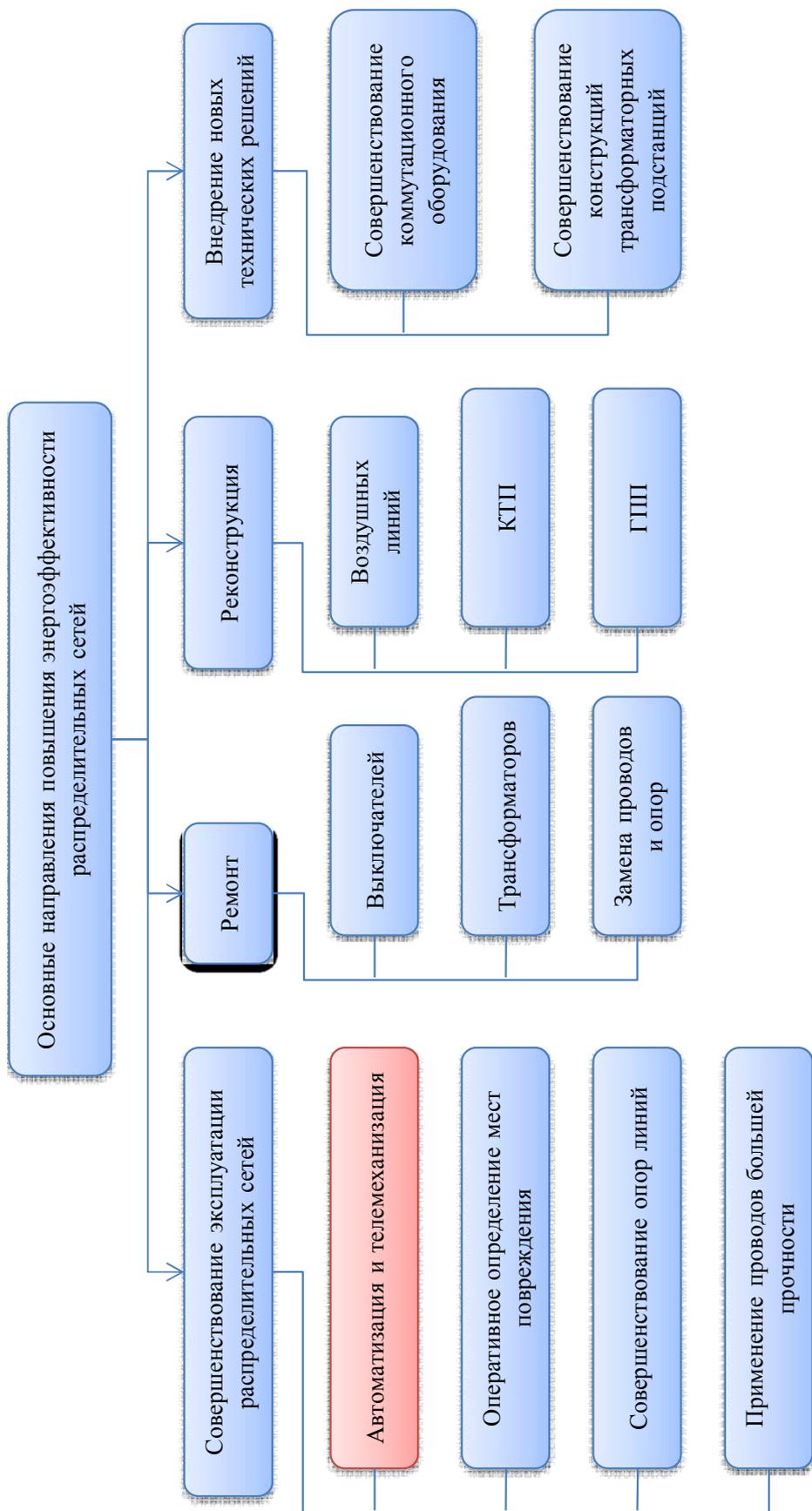


Рисунок 3 – Основные направления повышения энергоэффективности распределительных сетей

Информационный поиск и анализ литературы показал, что проблема оперативной диагностики состояния распределительных электросетей в настоящее время до конца не решена. Разнообразие видов и характеров повреждений пока не позволило найти какой-либо универсальный метод диагностики. Специалисты служб эксплуатации электросетей не имеют действенных и современных методов дистанционного определения места повреждения сети, использующих последние достижения науки и техники. Это затрудняет обнаружение повреждений (особенно в осенне-весенние и зимние периоды), увеличивает время их поиска и приводит к финансовым потерям. Сложность и неординарность ситуации требуют:

- фундаментального исследования физических процессов, происходящих в распределительных электросетях с древовидной топологией;
- выбора оптимального и результативного метода диагностики;
- физико-технического обоснования метода;
- разработки технологии диагностики [4].

На основании изложенного можно сделать вывод, что высокие темпы развития электросетей при одновременном сокращении удельной численности эксплуатационного персонала требуют ускоренного внедрения средств автоматизации, в том числе устройств для быстрого определения мест повреждения на воздушных линиях электропередач. Применение таких устройств в ряде случаев существенно улучшает технико-экономические показатели электроснабжения, сокращает аварийный недоотпуск электроэнергии потребителям, повышает энергоэффективность распределительных электрических сетей, предотвращает развитие повреждений и значительно сокращает трудозатраты на отыскание повреждений. Разработка и внедрение различных устройств для определения мест повреждения ВЛ 6-10кВ ведется в течение ряда лет многими энергосистемами и организациями. Но, несмотря на это, создание новейших методов диагностики электрических распределительных сетей на сегодняшний день затруднено наличием большого числа разновидностей повреждений, которые возникают в этих сетях. Также, довольно трудно исследовать физические процессы, разработать и обосновать действенную методику определения мест повреждения ВЛ 6-10 кВ, которые имеют очень разветвленную и протяженную структуру [5].

Наиболее эффективным способом повышения надежности работы распределительных сетей является использование новых технических решений, обеспечивающих автоматизацию сети и получение из нее необходимой для осуществления управления информации. Ис-

пользование новых решений и новой техники обеспечивает предпосылки к созданию нового направления в повышении надежности распределительных сетей путем автоматизации управления ими. Очевидно, что современный подход требует широкого применения электроники при создании систем управления за счет применения устройств автоматики, сбора и обработки информации на интегральных микросхемах и микропроцессорах.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о том, что в распределительных сетях напряжением 6-10кВ остро стоит проблема повышения надежности электроснабжения потребителей. И эта проблема может быть решена путем совершенствования существующего и внедрения нового электрооборудования. Среди перечисленных методов модернизации распределительных сетей особое место занимает комплексная автоматизация, благодаря которой, как уже было доказано, можно добиться значительного экономического эффекта, что очень важно в период новых рыночных отношений в энергетике.

На первом этапе проектирования была разработана структурная схема предполагаемого устройства сбора и передачи данных о параметрах режима электрической сети. С помощью него регистрируются мгновенные значения токов и напряжений, которые масштабируются в сигналы воспринимаемые микроконтроллером.

Далее производятся необходимые вычисления и преобразования входящих величин, которые поступают на модем. После чего данные передаются посредством GSM-связи на приемо-передающее устройство, содержащее в своей структуре аналогичный модем. Затем осуществляется обратное преобразование в сигнал воспринимаемый микроконтроллером.

В результате всех выполненных операций, необходимые данные поступают на персональный компьютер по USB-интерфейсу и выводятся оператору на мониторе в специальном программном обеспечении.

Структурная схема разрабатываемых устройств, показывающая их основные блоки и их взаимосвязь, представлена на рисунке 4.

Далее приводится описание принципа работы основных блоков устройства.

Первичный преобразователь напряжения (ППН) – осуществляет согласование сетевого фазного напряжения 10кВ с входными параметрами аналогово-цифрового преобразователя, входящего в состав микроконтроллера.

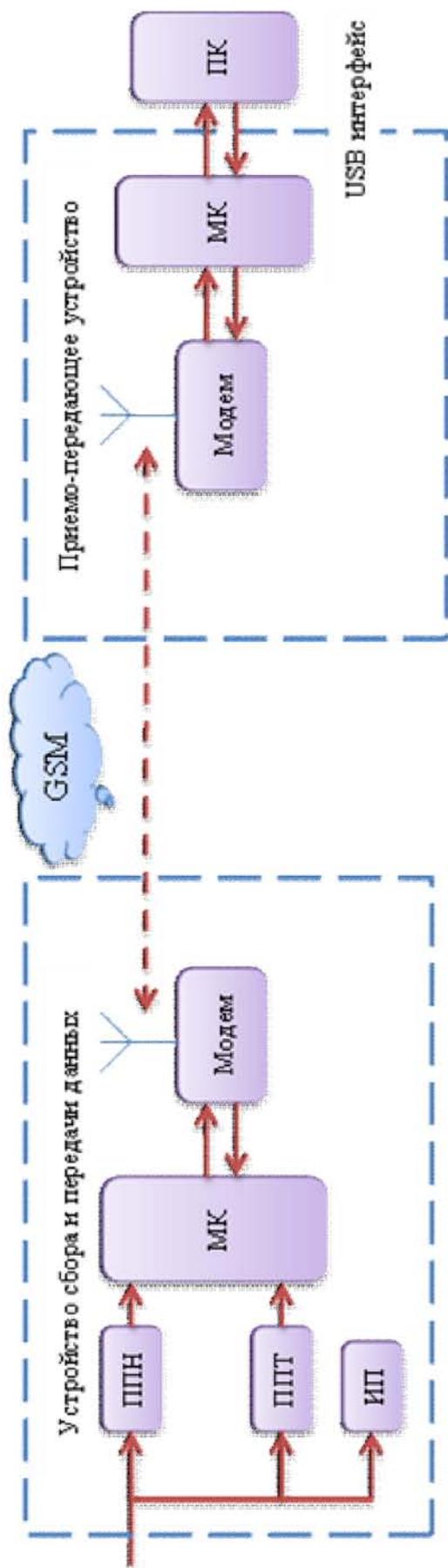


Рисунок 4 – Структурная схема устройства мониторинга параметров режима электрической сети

Первичный преобразователь тока (ПТТ) – представляет собой токочувствительный элемент типа катушки Роговского и необходим для пропорционального уменьшения величины фазных токов и их преобразования в эквивалентные им значения постоянного напряжения.

Микроконтроллер (МК) – осуществляет вычисления усредненных значений параметров режима электрической сети (таких как, величины активной и реактивной мощностей, действующие значения фазных токов и напряжений) на основании данных о мгновенных значениях токов и напряжений, а также осуществляет управление доступом к GSM-каналу связи посредством модема.

Модем – осуществляет преобразования сигналов GSM-стандарта в воспринимаемый микроконтроллером стандарт последовательного интерфейса и наоборот.

Источник питания – преобразует сетевое напряжение переменного тока в напряжение 5 В и 10 В постоянного тока и обеспечивает им все остальные блоки устройства.

Персональный компьютер (ПК) – персональный компьютер, расположен в центральном диспетчерском пункте и предназначен для контроля за режимом работы распределительной электрической сети.

Наиболее эффективным способом повышения надежности работы распределительных сетей является использование новых технических решений, обеспечивающих автоматизацию сети и получение из нее необходимой для осуществления управления информацией. Использование новых решений и новой техники обеспечивает предпосылки к созданию нового направления в повышении надежности распределительных сетей путем автоматизации управления ими. Очевидно, что современный подход требует широкого применения электроники при создании систем управления за счет применения устройств автоматики, сбора и обработки информации на интегральных микросхемах и микропроцессорах.

Таким образом, внедрение предлагаемых технических средств мониторинга параметров режима электрических сетей напряжением 6-10 кВ обеспечит своевременное выявление неблагоприятных режимов работы сети и оперативное устранение этих режимов в неблагоприятных ситуациях графиков нагрузок, позволит избегать аварийных ситуаций и массового отключения потребителей. Также, недопущение развития неблагоприятных режимов в электрических сетях в значительной мере повлияет и на потери электроэнергии в сетях, а разрабатываемые технические средства позволят выявлять участки с намеренно неучтенной потребляемой электрической энергией, что положи-

тельно скажется на уровне технического обслуживания эксплуатируемых сетей, а также на их энергоэффективность.

#### **Список использованных источников:**

1. Учет количества электроэнергии в распределительных сетях 6-10 кВ [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://www.ipenet.ru/stat1.shtml>.

2. Барг, И. Г. Техническое состояние и надежность работы воздушных распределительных сетей 0,38–10 кВ [Текст] / И. Г. Барг, Л. Е. Гайдар // Энергетик. – 1999. – №8, С. 16–18.

3. Шалыт, Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях [Текст] / Г. М. Шалыт. – М.: Энергоиздат, 1982. – 310 с.

4. Фардиев, И. Ш. Диагностика воздушных линий распределительных электрических сетей [Текст] / И. Ш. Фардиев, Р. Г. Минуллин, Е. В. Закамский, В. В. Андреев, Д. Ф. Губаев // Проблемы энергетики. – №7. – 2004. – С. 41–42.

5. Борухман, В. А. Устройства для определения мест повреждения на воздушных линиях электропередачи 6–750 кВ [Текст] / В. А. Борухман, А. А. Кудрявцев, А. П. Кузнецов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия. – 1980. – 102 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», магистрант Виталий Вячеславович Дубинин – e-mail: storm2560@mail.ru; к.т.н., доцент Андрей Николаевич Попов – e-mail: oleandr78@mail.ru, тел. +7(385-2)29-07-76.*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ РЕМОНТОВ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

А. А. Дурнев, Н. М. Согомонян  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена система планово-предупредительных ремонтов (ППР) и технического обслуживания электрооборудования. Показана необходимость и приведены причины совершенствования системы ППР.*

*Ключевые слова: электрооборудование, ремонт, система планово-предупредительных ремонтов, надежность.*

В современном мире электроэнергетики одна из ключевых задач состоит в повышении надежности и экономичности функционирования технических устройств. Эффективность и надёжность функционирования электротехнического оборудования электростанций, подстанций, промышленных предприятий, электрических сетей и систем зависит от его технического состояния. В процессе эксплуатации под действием внешних условий и режима работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается эксплуатационная надёжность и увеличивается вероятность выхода из строя. Надёжность электрооборудования зависит не только от качества изготовления, но и от правильной эксплуатации, технического обслуживания и своевременного ремонта.

Система планово-предупредительных ремонтов (ППР) – это комплекс организационных и технических мероприятий по уходу, эксплуатации и ремонту технологического оборудования, направленных на предотвращение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и содержание их в работоспособном состоянии.

Система планово-предупредительных ремонтов (ППР) включает следующие виды ремонтов: капитальный, средний, текущий.

Текущий ремонт проводится для обеспечения работоспособности электрооборудования, у которого обнаружены дефекты отдельных элементов. При текущем ремонте электрооборудования выполняется очистка, уплотнение, ремонт неисправных элементов или их замена

новыми элементами из состава запасных частей или комплектов без разборки основной конструкции электрооборудования, регулировка электрооборудования и послеремонтные испытания при необходимости.

При среднем ремонте производятся разборка отдельных узлов для осмотра, чистки деталей и устранения обнаруженных неисправностей, ремонт или замена быстроизнашивающихся деталей или узлов, не обеспечивающих нормальной эксплуатации оборудования до очередного капитального ремонта. Средний ремонт производится с периодичностью не чаще 1 раза в год.

Капитальный ремонт электрооборудования осуществляется для его восстановления после устранения дефектов и обеспечения надёжной и экономичной работы в межремонтный период. При капитальном ремонте оборудования производится его разборка, измерения, устранение выявленных дефектов, восстановление или замена изношенных деталей и сборочных единиц, регулировка электрооборудования и послеремонтные испытания.

По окончании ремонта производятся сборка оборудования, наладка и испытания. Основное оборудование электростанций и подстанций после предварительной приёмки из ремонта проверяют в работе под нагрузкой в течение 24 ч. Заключение о пригодности оборудования к эксплуатации делается на основании сравнения результатов испытаний с действующими нормами, результатами предыдущих испытаний, а также измерениями, полученными на однотипном оборудовании [1].

Сущность системы ППР заключается в том, что все виды ремонтов планируются и выполняются в строго установленные ремонтными нормативами сроки.

Каждое предприятие обязано составлять по установленной форме многолетних, годовых и месячных графики ППР, поскольку существует необходимость планировать на несколько лет вперед закупки материалов и запасных частей, трудозатраты персонала и согласование вывода в ремонт.

Система ППР в новых экономических условиях не обеспечивает в большинстве случаев принятие оптимальных решений. Это объясняется множеством причин, таких как: периодичность и объёмы профилактических работ определяются регламентом и не зависят от фактического состояния электрооборудования к моменту начала ремонта; планы-графики профилактических работ не устанавливают приоритета вывода в ремонт различных видов электрооборудования; при составлении планов-графиков не учитывается планирование загруженности

персонала, необходимость планирования закупок на длительный период, а также не предусматривается рациональное управление состояниями процесса эксплуатации и более полного расходования ресурса каждой единицы электрооборудования. Пропорционально росту количества электрооборудования увеличивается и общая трудоёмкость профилактических работ, что требует значительного увеличения численности ремонтного персонала. При проведении профилактических работ в сроки установленные регламентом, без точного определения технического состояния нельзя гарантировать, что в межремонтный период не будут возникать отказы электрооборудования. На отдельных энергообъектах число отказов в течение года достигает нескольких десятков, а годовой недоотпуск электроэнергии – несколько миллиардов киловатт-часов [2].

Основные организационные причины отказов электрооборудования: низкая квалификация персонала; некачественное планирование и выполнение технического обслуживания и ремонта (ТОиР); некачественная диагностика; низкое качество ремонтов;

Основная техническая причина отказов электрооборудования является физический износ (нарушение изоляции, износ или разрушение отдельных деталей, перегрев элементов).

Решение проблемы в повышение обеспечения надёжности электрооборудования в процессе эксплуатации состоит в совершенствовании системы ППР.

Наиболее перспективным направлением совершенствования системы ППР является использование стратегии профилактики по техническому состоянию. Основой для её построения служат методы и средства технической диагностики, позволяющие определить техническое состояние путём непрерывного или дискретного контроля параметров оборудования, которые определяют его работоспособность. При достижении этими параметрами предельного состояния проводится предупредительный ремонт оборудования. Техническая диагностика включает в себя два основных направления – оперативную и ремонтную диагностику. До настоящего времени ремонтная диагностика являлась практически единственным средством выявления дефектов, что и определило применение системы ППР с чёткой регламентацией сроков и видов плановых ремонтов. Оперативная диагностика выполняется без отключения оборудования от сети и позволяет оценить техническое состояние в процессе эксплуатации. Стратегия профилактики по техническому состоянию эффективна при эксплуатации сложного оборудования, ремонт которого связан с большими затратами. Это по-

зволит более полно использовать технический ресурс и обеспечить надёжную работу электрооборудования при минимальных затратах.

К настоящему времени разработано огромное количество информационных систем, методов и средств контроля технического состояния и диагностики электрооборудования [3].

Общая проблема совершенствования системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) электрооборудования включает в себя решение следующих задач:

- оптимальную организацию диагностики и контроля технического состояния электрооборудования;
- оценку и прогнозирование эксплуатационной надёжности электрооборудования;
- оптимизацию сроков проведения ТОиР;
- определение оптимального объёма ТОиР;
- выбор рациональной стратегии проведения ТОиР;
- выбор стратегии управления состояниями процесса эксплуатации электрооборудования;
- планирование ТОиР электрооборудования с учетом технического состояния.

Заданный уровень технического состояния оборудования может быть обеспечен за счет совершенствования конструкции и технологии изготовления оборудования на стадии производства, а также путем проведения организационно-технических мероприятий по поддержанию технического состояния оборудования в процессе эксплуатации.

Именно в решении проблем совершенствования системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования и состоит главная наша задача.

#### **Список использованных источников:**

1. Лебедева, Л. М. Надёжность систем электроснабжения. [Текст]: образовательная программа дисциплины / Л. М. Лебедева // ИСЭМ СО РАН. – Иркутск, 2011. – с. 122
2. Назарычев, А. Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учётом технического состояния [Текст]/ А. Н. Назарычев // ИГЭУ. – Иваново, 2002. – 159 с.
3. Савельев, В. А. Проблемы и пути повышения надёжности электротехнического оборудования [Текст] / В. А. Савельев // Методические вопросы исследования надёжности больших систем энергетики. – Иваново: ИЭИ, 1992. – Вып. 39. – С. 140-172.

4. Хомутов, О. И. Эксплуатация, диагностика и восстановление низковольтных асинхронных электродвигателей: Учебное пособие по курсу «Монтаж и эксплуатация систем электроснабжения промышленных предприятий» для студентов специальности 10.04 – «Электроснабжение» (по отраслям) всех форм обучения [Текст] / О. И. Хомутов, А. А. Грибанов // Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. – 110 с.: ил.

5. Грибанов, А.А. Совершенствование системы технического сервиса сельскохозяйственного электрооборудования [Текст]/ А. А. Грибанов // Ползуновский вестник. – №4/2. – 2010.– С. 41-48.

6. Грибанов, А. А. Стратегии обеспечения эксплуатационной надёжности электрооборудования сельскохозяйственного производства с учётом сезонного характера работы [Текст] / А. А. Грибанов // Ползуновский вестник. – №2/2. – 2011. – С. 72-79.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Александр Александрович Дурнев - e-mail: chita\_2592@mail.ru; студент Наири Масисович Согомоян – e-mail: nairi.s-n@mail.ru.*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, И. А. Бахтина, П. С. Трутнев  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*На основе анализа проблем и существующих методов разработана методика расчета производительности ветрогенератора в зависимости от скорости ветра, диаметра ротора, коэффициентов полезного действия редуктора (передаточного устройства), генератора, плотности воздуха, аэродинамических характеристик лопастей. На примере возможного проекта использования ветрогенератора Enron Wind 600a немецкой фирмы Tacke Windenergie GmbH на территории Алтайского края произведен расчет по разработанной методике.*

*Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэнергоустановка, методика расчета, экономическая эффективность*

Для Алтайского края, являющегося энергодефицитным, центральным направлением развития энергетики является энергосбережение, потенциал которого, как и для Сибири в целом, составляет порядка 30 %. Внедрение энергоустановок, использующих возобновляемые источники энергии относятся к понятию энергосбережение [1 – 3]. Энергосбережение с использованием микро-ГЭС на Колыванском камнерезном заводе в Алтайском крае изложены в статье [4]. На основе анализа проблем и существующих методов разработана методика расчета производительности ветроэнергоустановок (ВЭУ) в зависимости от скорости ветра, диаметра ротора, коэффициентов полезного действия редуктора (передаточного устройства), генератора, плотности воздуха, аэродинамических характеристик лопастей .

Мощность ВЭУ определяется по формуле:

$$N = \frac{\pi D^2}{4} v^3 \frac{\rho}{2} \eta_{ген} \eta_{ред} \times 10^{-3} \times C_p [кВт]$$

где  $D$  – диаметр ротора,  $D = 46$  м;

$\frac{\pi D^2}{4}$  – «ометаемая площадь» – площадь, захватываемая лопастями,  $м^2$ ;

$v$  – скорость ветра, м/с;

$\rho = 1,22 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха (стандартная);

$\eta_{\text{ген}} = 0,961$  – коэффициент полезного действия генератора;

$\eta_{\text{ред}} = 0,98$  – коэффициент полезного действия редуктора;

$C_p$  – коэффициент использования ветра, зависящий от профиля лопастей и других режимных параметров;

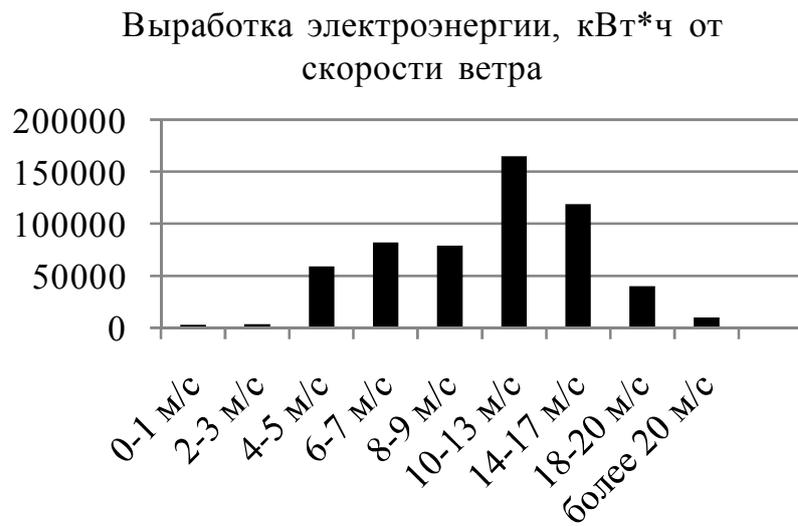
Из приведенной формулы видно, что на мощность ВЭУ самое большое влияние оказывают диаметр ротора и скорость ветра.

Скорость ветра определяется местом, где сооружается ВЭУ. В расчете использовались данные гидрометеоцентра РФ, показывающие среднемноголетнее распределение ветра в процентах по скоростям в зависимости от месяца на территории г. Барнаула Алтайского края. Согласно среднемноголетнему распределению скорости ветра в процентах от общего количества времени, на долю ветра в диапазоне от 0 до 3 м/с на территории г. Барнаула приходится около 70 % всего времени, поэтому установка будет работать лишь 30 % всего времени. Скорость включения ВЭУ составляет 3 м/с и более, а скорость выключения – около 21 м/с.

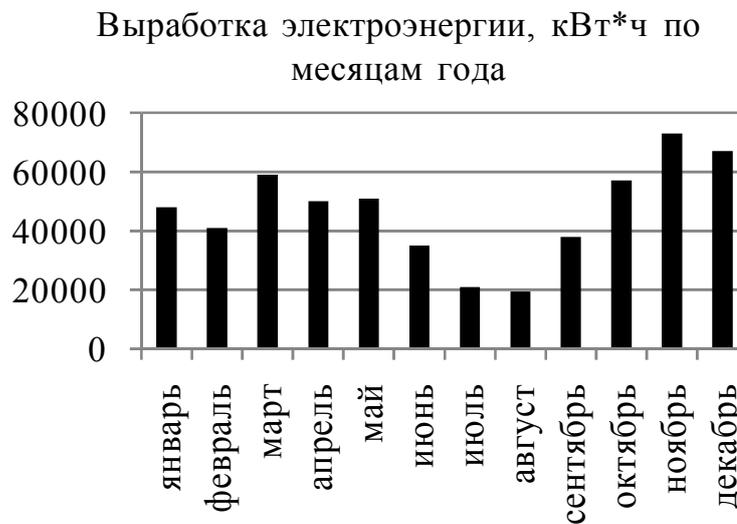
Эффективность работы любого генерирующего источника характеризует такой параметр как коэффициент использования установленной мощности – отношение средней выработки генерирующего устройства к максимально возможной. Идеальная выработка электроэнергии (максимально возможная) для нашей установки в год составляет:  $600 \text{ кВт} * 365 * 24 \text{ ч} = 5256 \text{ МВт*ч}$ . А реальная выработка – суммарная выработка за год составляет 551 МВт\*ч. Коэффициент использования установленной мощности при этом будет иметь значение 0,1049. Это означает, что установка в год выработает лишь около 10 % электроэнергии от максимально возможной выработки.

В целом суммарная годовая среднемноголетняя выработка электроэнергии для каждого диапазона скорости ветра и по месяцам года представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 следует, что наибольший вклад в выработку энергии дает скорость ветра в диапазоне от 10 до 13 м/с и наиболее эффективно ветрогенератор будет работать весной и осенью, когда преобладают ветры большей скорости, а наименее эффективно – летом. Соответственно, наибольшую выработку ветрогенератор даст в марте и ноябре, а наименьшую – в июле и августе. Неравномерность производства энергии по месяцам составит более чем в три раза.



а)



б)

Рисунок 1 – Графики зависимости выработки электроэнергии от а) скорости ветра; б) по месяцам года.

На примере ВЭУ Enron Wind 600a немецкой фирмы Taske Windenergie GmbH произведена оценка возможности ее использования на территории Алтайского края по методике [5]. Из графика мощности выработки электроэнергии ветрогенератором Enron Wind 600a в зависимости от скорости ветра (рисунок 2) видно, что для наиболее эффективной работы ветрогенератора скорость ветра должна быть в пределах от 6 до 18 м/с.

Рисунок 2 – Зависимость мощности ветрогенератора от скорости ветра

Ветряная энергоустановка Enron Wind 600a с наклонно расположенным петлевым способом передачи движения. Ось ротора находится в передней главной части и располагается в редукторе. Главная часть, редуктор и генератор смонтированы на основной раме.

Общий вид ветрогенератора Enron Wind 600a и его машинного отделения представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

В ветрогенераторе Enron Wind 600a мотор выполняют чувствительным к ветру и автоматическим вырыванием кабеля. Надземная высота башни: 50 м, 60 м, 70 м, 76,9 м. В стволе башни находится внутренняя лестница и имеет прямой доступ в машинное отделение.

Оценка экономической эффективности ветрогенератора «Enron Wind 600a» в сравнении с другими ветрогенераторами того же производителя производилась по экстраполяции кривой производительности между наибольшей скоростью ветра и скоростью включения с оценкой производительности при наибольшей скорости ветра.

Цены на ветрогенераторы Enron Wind зависят от диаметра рабочего колеса, высоты ступицы колеса, типа установки и колеблются от 28121 до 86920 евро.

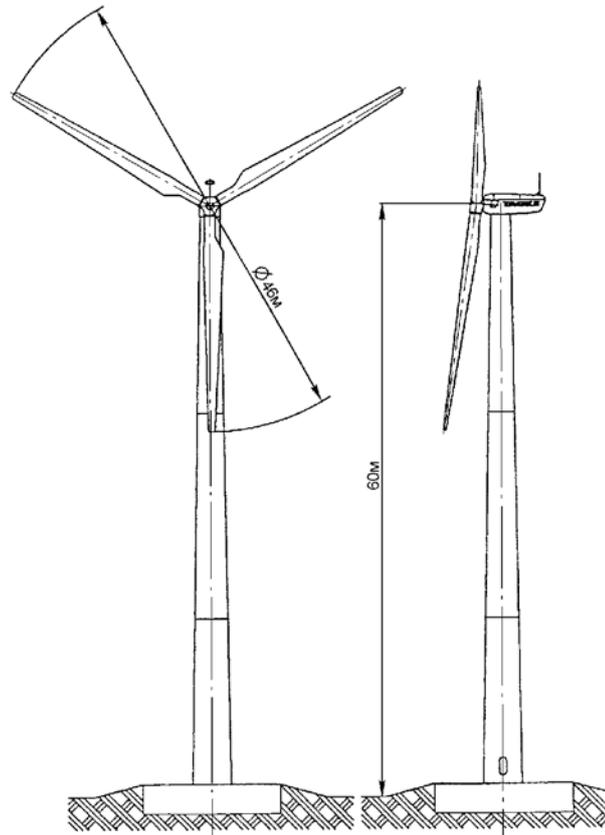
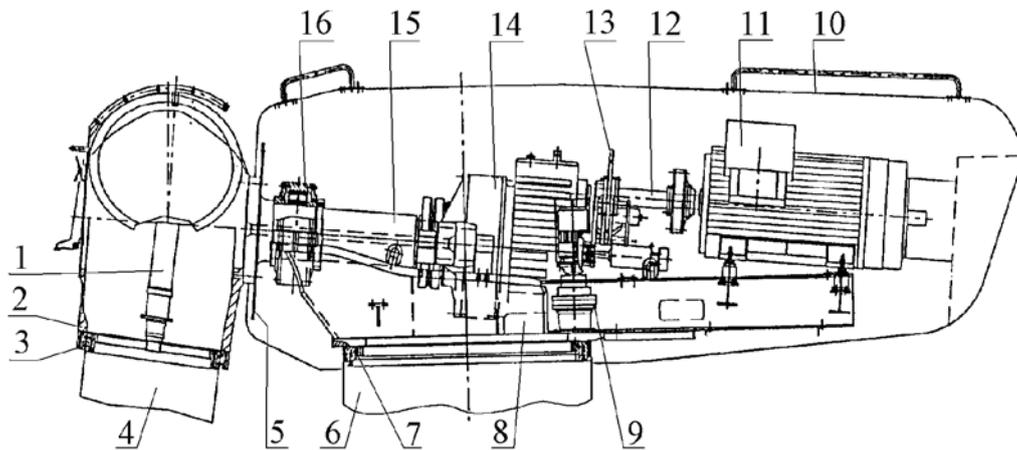


Рисунок 3 – Ветрогенератор Enron Wind 600a – общий вид



1 – привод передвижения лопастей; 2 – втулка ротора; 3 – поршни лопастей; 4 – лопасти ротора; 5 – устройство крепления ротора; 6 – башня; 7 – соединительный круг вращения; 8 – основная рама; 9 – привод направления; 10 – кожух; 11 – генератор; 12 – сцепление; 13 – тормоз; 14 – редуктор; 15 – ось ротора; 16 – опорный подшипник

Рисунок 4 – Машинное отделение ветрогенератора Enron Wind 600a

Все расходы можно разделить на предварительные, связанные с приобретением и монтажом ветрогенератора и производственные, связанные с его эксплуатацией.

Ежегодные расходы составляют по ветроэнергоустановкам: Enron Wind 600e/ Enron Wind 600a – 307 Евро; Enron Wind 1.5/ Enron Wind 1.5s – 511 Евро. Расходы при установке могут несколько отступать от проектных.

Таким образом, по нашим оценкам цена ветрогенератора с затратами на монтаж составляет около 660000 евро, эксплуатационные расходы в год составляют около 3000 евро. Учитывая, что стоимость 1 кВт\*ч составляет около 0,03 евро, то срок окупаемости ветрогенератора получается около 50 лет.

Однако, для развития ветроэнергетики на территории Алтайского края и России вышеуказанная ВЭУ Enron Wind, как и другие зарубежные ВЭУ, являются очень затратными в эксплуатации. Исходя из российских условий и ветроэнергopotенциала Юго-западной Сибири и Алтайского края требуется разработка и внедрение отечественных более эффективных и экономичных ветроэнергоустановок, рассчитанных на низкие скорости ветра от 3 м/с.

Выводы.

1. Разработана методика расчета производительности ветрогенератора в зависимости от скорости ветра, диаметра ротора, коэффициентов полезного действия редуктора (передаточного устройства), генератора, плотности воздуха, аэродинамических характеристик лопастей.

2. На основе разработанной методики и расчета построены графики суммарной среднемноголетней выработки электроэнергии в зависимости от скорости ветра, графики месячной производительности и суммарный график производительности за год.

3. Время работы ветрогенератора составляет 30 % от всего времени. Коэффициент использования установленной мощности 0,1049, т.е. около 10,5%.

4. Максимальная выработка весной и осенью, минимальная летом. Неравномерность выработки по месяцам более чем в три раза. Наиболее эффективная выработка в диапазоне скоростей ветра от 10 до 13 м/с.

5. Работа ветроэнергоустановки Enron Wind возможна только совместно с централизованным электроснабжением.

6. Идеальная выработка мощности ветрогенератором составляет 5256 МВт\*ч в год. Реальная выработка мощности ветрогенератором составляет около 551 МВт\*ч в год, рассчитанная по среднемноголетним обеспеченностям скоростей ветра для г. Барнаула Алтайского края.

7. Цена ветрогенератора с затратами на монтаж составляет около 660000 евро, эксплуатационные расходы в год составляют около 3000

евро. При стоимости 1 кВт\*ч около 0,03 евро срок окупаемости ветрогенератора составляет около 50 лет.

8. Исходя из российских условий и ветроэнергopotенциала Юго-западной Сибири и Алтайского края требуется разработка и внедрение отечественных более эффективных и экономичных ветроэнергoустановок, рассчитанных на низкие скорости ветра от 3 м/с.

#### **Список использованных источников:**

1. Безруких, П. П. Использование энергии ветра: техника, экономика, экология [Текст] // П. П. Беруких. – М.: КОЛОС, 2008. – 196 с.

2. Иванов, В.М. Использование возобновляемых источников энергии в Алтайском крае [Текст] / В. М. Иванов, П. П. Свит, Б. В. Сёмкин, Т. Ю. Иванова, И. А. Бахтина // Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2013: сборник статей I Международной научно-технической конференции / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 54 – 57.

3 Сёмкин, Б. В. Перспективы автономной энергетики в Алтайском крае [Текст] / Б. В. Сёмкин, И. А. Бахтина, П. В. Степанова, С. В. Ильиных // Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2013: сборник статей I Международной научно-технической конференции / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 93 – 96.

4. Иванов, В. М. Энергосбережение с использованием микро-ГЭС на Колыванском камнерезном заводе [Текст] // В. М. Иванов, Т. Ю. Иванова, П. П. Свит, Б. В. Семкин. – Ползуновский Вестник. 2013. Вып 4-2. – С. 84-89.

5. Иванов, В.М. Возможные перспективы развития ветроэнергетики на территории Алтайского края [Текст] // В. М. Иванов, Т. Ю. Родилина, Д. С. Бычков, Г. О. Клейн, П. В. Иванова. – Вестник алтайской науки. 2004. № 1. – С. 109-119.

***Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Теплотехники, гидравлики и водоснабжения, водоотведения», тел. +7 (385-2) 29-07-84, д.т.н., профессор Владимир Михайлович Иванов – e-mail: tgvv@mail.ru.; к.т.н., доцент Татьяна Юрьевна Иванова – e-mail: trodivilina@mail.ru; к.т.н., доцент Ирина Алексеевна Бахтина – e-mail bia-altai@mail.ru; аспирант Павел Сергеевич Трутнев – e-mail: trutnewpavel@mail.ru.*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В НАСЕЛЁННОМ ПУНКТЕ**

К. В. Кожевникова

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена автоматизированная система контроля и учета электроэнергии. Дано описание и функции системы. Приведены эмпирические формулы для расчета установки системы, выводы.*

*Ключевые слова: электроэнергия, автоматизированная система контроля и учета электроэнергии, энергосбережение.*

Одним из немногих видов продукции, передача которой не требует никаких дополнительных ресурсов, является электроэнергия. Однако это такой вид продукции, который отпускается потребителю в одном количестве, а оплата производится по факту потребления. Передача электроэнергии от производителя к потребителю всегда влечёт за собой определенные потери, которые могут быть следствием транспортировки или хищения электроэнергии потребителями, а также пониженного качества электрической энергии. Электрические потери – это, в первую очередь, финансовые убытки, которые несёт сетевая компания. Фактические потери определяются как разность электроэнергии, поступившей в сеть, и отпущенной из сети потребителям. Проблема заключается в несовершенстве традиционной системы учёта электрической энергии.

Учёт электрической энергии производится с помощью электрического счётчика, который измеряет расход электроэнергии переменного и постоянного тока. Разобраться на предприятии с потреблением энергоресурсов, научиться работать с минимальными затратами на их потребление, можно только обладая необходимым инструментом – системой автоматического учёта. Автоматизированная система контроля и учёта электроэнергии – это способ получения точных данных по энергопотреблению и обеспечение постоянной экономии энергоресурсов и финансовых затрат. Обеспечивает коммерческий и технический учет потребления или отпуска электроэнергии, оперативный контроль текущей нагрузки. Средства АСКУЭ обеспечивают построение и эксплуатацию сложных, многоуровневых систем коммерческого учета

энергоресурсов, включающих в себя поставщиков, потребителей и перепродавцов электрической энергии. Использование средств АСКУЭ обеспечивает целостность, достоверность и защиту информации от несанкционированного доступа. Энергосбережение начинается там, где начинается учёт, причем учёт автоматический, как наиболее полный, точный и оперативный, позволяющий управлять потреблением энергоресурсов в диспетчерском режиме, проводить наиболее актуальные энергосберегающие мероприятия, контролировать соблюдение технологической дисциплины. Достоинство данной системы заключается в дистанционном управлении и контроле, что значительно уменьшает потери электроэнергии.

АСКУЭ позволяет повысить качество учета энергоресурсов, оперативность и достоверность информации, обеспечивает контроль перегрузки, а также дает возможность снизить потери электроэнергии.

Функции АСКУЭ:

- измерение объёмов и параметров качества поставки/потребления энергоресурсов;
- контроль поставки/потребления энергоресурсов по всем точкам и объектам учета в заданных временных интервалах;
- сбор, обработка, хранение и отображение информации о поставке/потреблении электроэнергии;
- одновременное предоставление данных по всем точкам измерения;
- оперативный мониторинг и контроль нагрузок в реальном времени;
- расчет баланса объекта и системы в целом;
- учет потерь энергии в схемах соединений;
- контроль работоспособности приборов учёта и вычислительного оборудования.

Для подключения расчётных счётчиков должны использоваться трансформаторы тока и напряжения класса точности не более 0,5. Коэффициент трансформации трансформаторов тока должен выбираться по расчётному току присоединения. Величина расчётного тока присоединения не должна превышать номинальный ток трансформатора тока. Завышение коэффициента трансформации трансформаторов тока недопустимо. Завышенным по коэффициенту трансформации считается такой трансформатор тока, у которого при минимальной расчётной токовой нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке менее 0,1 А.

Проверка проводится по следующей формуле.

$$\frac{I_{рмин}}{K_{ТТ}} > I_{мин} \quad (1)$$

где  $I_{рмин}$  – минимальный расчётный ток присоединения, А;

$K_{ТТ}$  – коэффициент трансформации выбранного трансформатора тока;

$I_{мин}$  – минимальный ток счётчика, при котором он не выходит из класса точности.

Проверка по расчётной вторичной нагрузке трансформатора тока выполняется по формуле:

$$Z_{втор.н.} > Z_{нагр.} \quad (2)$$

$$Z_{нагр.} \approx R_{нагр.} = R_{приб.} + R_{пр.} + R_{конт.} \quad (3)$$

где  $Z_{втор.н.}$  – вторичная номинальная нагрузка трансформатора тока, Ом (ВА);

$Z_{нагр.}$  – нагрузка от последовательно включенных приборов ( $R_{приб.}$ ), проводов ( $R_{пр.}$ ), и контактов ( $R_{конт.}$ ) в Ом или ВА;

Нагрузка от приборов определяется по их каталожным данным.

Нагрузка от проводов определяется по формуле:

$$R_{пр.} = \frac{l}{\gamma S} \quad (4)$$

где  $l$  – длина провода, м;

$\gamma$  – удельная проводимость, м/Ом. мм<sup>2</sup> (57-медь, 34-алюминий);

$S$  – сечение провода, мм<sup>2</sup>.

Нагрузка от контактов (суммарное сопротивление контактов) определяется из расчёта 0,015 Ом/прибор плюс 0,005 Ом на каждый дополнительно установленный прибор.

Цель выяснить, какая именно система АСКУЭ подходит для организации энергоучёта в определённом населённом пункте, рассчитать затраты для внедрения и провести анализ потерь до установки и после установки системы.

Нужно обратить внимание и на ряд таких преимуществ, таких как:

- наличие сотовой связи;
- количество жителей в данном населённом пункте;
- безопасность;
- протяжённость населённого пункта;
- количество КТП;
- экономические показатели.

Далее выполняется расчёт эффективности создания АСКУЭ. В условиях недостаточности данных для точной оценки экономии, предлагается эмпирическая формула, где половина экономии от внедрения энергосберегающих мероприятий относится на счёт АСКУЭ. Такую экономию принято называть условной.

$$\mathcal{E} = 0.1 \mathcal{Э} / 2 \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}$  – величина экономии;

$\mathcal{Э}$  – платежи за энергоресурсы в год;

0.1 или 10% от уровня существующих затрат – достижимый потенциал энергосбережения за счёт среднесрочных энергосберегающих мероприятий.

Для определения верхней допустимой границы инвестиций в мероприятия по снижению издержек и созданию АСКУЭ предлагается эмпирическая формула:

$$И = 3 * \mathcal{E} \quad (6)$$

где  $И$  – общая величина инвестиций,

3 года – средний срок окупаемости предлагаемых энергосберегающих мероприятий.

При этом максимально допустимые затраты на создание АСКУЭ не должны превышать  $0.5И$ , а вторая половина средств должна направляться на реализацию организационных и технических энергосберегающих мероприятий.

Таким образом, дальнейшее совершенствование технологий учёта электроэнергии напрямую связано с повышением точности приборов учёта.

#### **Список использованных источников:**

1. Инструкция по проектированию учета электропотребления в жилых и общественных зданиях РМ-2559. – Утверждена и введена в действие с 1 октября 1997 г., указанием Москомархитектуры от 06.08.97 г., № 31.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», магистрант Карина Владимировна Кожевникова – e-mail: cherepanov77@rambler.ru, тел. +7(385-2)35-33-66.*

## ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ле Суан Хонг

Россия, г. Москва

Национальный исследовательский университет

«Московский энергетический институт»

*В статье произведена объективная оценка технико-экономической эффективности тягового электропривода электроподвижного состава, включая вагон метрополитена.*

*Ключевые слова: Технико-экономические показатели, тяговый электропривод, расход электроэнергии, асинхронные тяговые машины, тяговые машины постоянного тока, электроподвижный состав.*

Московский метрополитен - это основа транспортной системы столицы. Он надежно связывает центр города с промышленными районами и жилыми массивами. На сегодняшний день доля Московского метрополитена в перевозке пассажиров среди предприятий городского пассажирского транспорта столицы составляет почти 60%.

Технико-экономические показатели работы метрополитенов в решающей степени определяются эксплуатационными качествами используемых в них электропоездов, которые, в свою очередь, определяются соответствующими показателями (стоимость изготовления, затраты на ремонты и обслуживание, срок службы, удельный расход энергии и надёжность работы...) использованной на них системы тягового электропривода (ТЭП), что и определяет актуальность и значимость обоснованного его выбора.

Совершенствование ТЭП электроподвижного состава (ЭПС), в частности метрополитена, преследует три основных цели: улучшение тяговых свойств, повышение надёжности и снижение электроэнергии. Далеко не всегда улучшение одного из этих показателей улучшает или не ухудшает два других. Поэтому при совершенствовании привода приходится выделять приоритетную для сложившихся объективных условий цель. Приоритетной задачей должно стать улучшение энергетических показателей ЭПС.

Сегодня приблизительно по половине железных дорог электрифицировано на постоянном и переменном токе. ЭПС с электроснабже-

нием переменным током классифицируется, хотя и некорректно, как ЭПС переменного тока. Электроснабжение городского уличного (трамвай и троллейбус) ЭПС и поездов метро производится только постоянным током.

В связи с развитием полупроводниковой преобразовательной техники появилось много возможностей совершенствования ТЭП. Среди них: использование на ЭПС с традиционными тяговыми машинами (ТМ) при электроснабжении постоянным током импульсного управления и при электроснабжении переменным током - плавного регулирования напряжения питания ТМ и рекуперативного торможения и на обоих типах ЭПС с коллекторными тяговыми машинами (КТМ) независимого возбуждения (НВ), а также - применение бесколлекторных ТМ - асинхронных, вентильных (ВТМ) и индукторных (ИТМ).

В последнее время среди части специалистов утвердилось недостаточно обоснованное убеждение о безальтернативности использования на ЭПМ только асинхронных тяговых машин (АТМ), что якобы обеспечивает им решающие и бесспорные преимущества перед «архаичным» ТЭП с тяговыми машинами постоянного тока (ТМ ПТ) и дискретно-резисторным управлением (ДРУ).

Сегодня в Мосметрополитене эксплуатируются более 5000 вагонов, большинство из которых с ТМ ПТ. Из них около 4000 не отработали срок годности, но считаются морально устаревшими и не отвечающими ряду современных требований, в том числе по энергоэффективности. Это требует решение возникшей проблемы. Администрация Мосметрополитена и некоторые его специалисты без необходимых обоснований считали возможность заменить за 2 года все электропоезда (ЭП) с ТМ ПТ поездами с АТМ на основании очевидного предвидения возможности снижения экономии или электроэнергии. Такой подход не раз приводил к серьезным ошибкам. Для пояснения этого подтверждения необходима оценка технико-экономической эффективности ТЭП с АТМ, его преимущества и также недостатки.

### **Основные преимущества и недостатки ЭПС с АТМ**

Практически с первых этапов электрификации железных дорог непрерывно ведется создание ЭПС с АТМ [1]. Основными достоинствами этих машин считают:

- простота конструкции;
- уменьшение затрат на эксплуатацию тяговых машин;
- снижение массы или увеличение мощности тяговых машин при той же массе;

- уменьшение стоимости и повышение надежности тм;
- повышение тяговых свойств за счет более жестких динамических характеристик асинхронных тяговых машин по отношению к коллекторным машинам с последовательным возбуждением;
- уменьшение количества контактной аппаратуры;
- уменьшение массы неподрессоренных частей и тележек в целом;
- уменьшение момента инерции вращающихся частей за счет меньшей массы ротора атм и возможности снижения диаметра бандажей колесных пар;
- снижение расхода энергии за счет более эффективного использования рекуперативного торможения.

Рассмотренные выше предполагаемые преимущества АТМ используются для обоснования перспективности использования предлагаемого типа ТЭП многими специалистами. Это привело к тому, что совершенствование ЭПС с КТМ практически прекратилась.

Но вместе с тем, известно, что на построенных с конца 60-х годов многих опытных образцах отечественного ЭПС (электровозы, тепловозы, электропоезда и поезда метрополитена) не удалось обеспечить даже приемлемую работоспособность ТЭП с АТМ. Например, электропоезда ЭД6, НЗ (НЭВЗ) не пошли в эксплуатацию, электровоз ВЛ86Ф был списан.

А в зарубежной практике электропоезда с АТМ стали развиваться успешнее. Настойчивость по внедрение ЭПС с АТМ, в частности в Германии и Японии, объяснены следующими обстоятельствами:

Немцы заменяют ТЭП с коллекторной однофазной тяговой машиной с частотой  $f=16 \frac{2}{3}$  Гц на четырехквadrантный преобразователь с одиннадцатью последовательными импульсами в полупериод. Поэтому применение на ЭПС с АТМ дает несопоставимо больший эффект по сравнению с нашими условиями (частота  $f=50$  Гц, соответственно импульсов в полупериод должно быть в 3 раза больше, это в свою очередь приведет к увеличению коммутационных потерь. Также в преобразователях такого типа появляется необходимость использования при частоте питающего тока  $f=50$  Гц полупроводниковых приборов с повышенным быстродействием). Четырехквadrантный преобразователь обеспечивает повышение коэффициента мощности до 0,98-0,99.

В Японии на железных дорогах используется колея шириной 1067 см. Однако узкая колея всё равно накладывает ограничение на скорость движения поездов, поэтому высокоскоростные линии Синкансэн имеют европейскую колею (1435 мм). Узкоколейные железные дороги были дешевле в постройке и эксплуатации чем железные дороги со стандарт-

ной шириной колеи. Меньшие размеры локомотивов и вагонов позволяли строить более лёгкие мосты; при прокладке тоннелей для узкоколеек требовалось извлекать меньшую кубатуру грунта. Кроме того, на узкоколейках допускались более крутые кривые, чем на обыкновенных железных дорогах, что обусловило их популярность в горных районах. Недостатками узкоколейных железных дорог являются: меньший габарит и вес перевозимых грузов, меньшая устойчивость и меньшая максимально допустимая скорость. Однако самым важным недостатком узкоколеек было то, что они как правило (по крайней мере, в Европе) не образовывали единой сети. Но в то же время при узкой колее раньше наступает необходимость и намного труднее решается проблема повышения мощности ТМ. Это дает нашему ЭПС большие преимущества также и по отношению к ЭПС с западноевропейской колеей.

### **Экономия расходов на обслуживание ТЭП с АТМ**

Одним из основных преимуществ замены ТМ ПТ на АТМ декларируется резкое снижение затрат труда на их обслуживание в эксплуатации благодаря упразднению коллекторно-щёточного аппарата. При этом подчёркивается и социальная сторона проблемы: малая привлекательность труда в канавах по обслуживанию ТМ.

Однако значимость рассматриваемого показателя необоснованно преувеличивается. Об этом говорят следующие соображения и факты:

- доля ТМ в общем количестве непрестижного труда при эксплуатации ЭПС, включая и его механическую часть, невелика;
- как показал выполненный МЭИ и ВНИИВ в конце 70-х годов анализ расходов на обслуживание вагонов Московского метрополитена доля ТМ в этих расходах составляла 10÷20 %, а доля коллекторно-щёточного аппарата в последних невелика. При оценке этих данных нужно учитывать, что в то время в эксплуатации было ещё мало новых ТМ типа ДК-117 с лучшими показателями работы именно коллекторно-щёточного аппарата;

Кроме этого, в написанной, на основе экспериментальных данных статье Французского инженера Нувьона [2-3], говорится, что энергетические показатели локомотива с КТМ имеют лучшие показатели, а с АТМ - наихудшие. Разница в их "энергетической эффективности" составляет 3 процента. Также затраты на обслуживание электровоза составляет 8,1 % от всех эксплуатационных затрат, из которых 0,8 % приходится на долю ТМ, то есть затраты на обслуживание ТМ составляет менее 10 % от всех затрат на обслуживание ЭПС. Даже при полном исключении затрат на обслуживание ТМ уменьшение общих эксплуатаци-

онных затрат будет невелико, но большая их часть сохраняется, а некоторые и возрастают. В частности, у АТМ затрудняется проблема их охлаждения и утяжеляются условия работы подшипников. По этим причинам применяется специальная смазка подшипников, а в последнее время используется и жидкостное охлаждение АТМ [4-5].

Очевидно, что эти обстоятельства ведут к росту эксплуатационных расходов на обслуживание ТМ.

При оценке значимости последнего обстоятельства нельзя не учитывать что именно подшипниковые узлы тяговых машин, доставляют в последнее время наибольшие неприятности как на вагонах метрополитена, так и на электровозах. Изложенные выше фактические данные позволяют утверждать, что экономия расходов на обслуживание ТМ при внедрении привода с АТМ если и будет, то её влияние на общие эксплуатационные расходы будет незначительным.

Выполненный предварительный анализ показал, что возможности улучшения всех показателей ЭПС с КТМ постоянного тока далеко не исчерпаны и при их реализации технико-экономическая (энергетическая) эффективность его эксплуатации во многих случаях может быть выше, чем у ЭПС с новейшими системами ТЭП последних "поколений". Учитывая, что весь отечественный ЭПС оборудован КТМ и его эксплуатация неизбежна в течении многих лет, высока актуальность совершенствования его ТЭП и применения последнего и на эксплуатируемом ЭПС путем модернизации ТЭП. Нет убедительных доказательств для отказа от производства нового ЭПС с КТМ.

### **Проблемы улучшения тяговых свойств ТЭП с АТМ**

В последнее время ряд специалистов на первое место в эффективности применения АТМ выдвигает возможность увеличения силы тяги за счёт большой динамической жёсткости тяговых характеристик, например, в статье А.М.Солодунова и др. [6] утверждается что применение АТМ позволит увеличить расчётный коэффициент сцепления на 40% и только этим обосновывается технико-экономическая целесообразность применения асинхронного привода, так как его экономичность достигается уменьшением в 12-и вагонном поезде числа моторных вагонов с 6 до 4-х.

Это предположение о преимуществах АТМ перед ТМ ПТ очевидно ошибочно, так как последние при независимом возбуждении (НВ) имеют динамическую жёсткость тяговых характеристик вполне достаточную для полной реализации преимуществ жёстких характеристик по повышению противобоксовочных свойств локомотивов и мо-

торных вагонов. В то же время известно, что при замене последовательного возбуждения (ПВ) на независимое на ЭПС с ТМ ПТ сила тяги на участке её ограничения условиями сцепления может быть увеличена ориентировочно на 20%.

Более того, есть основания полагать, что на ЭПС с АТМ достигаемое увеличение силы тяги по сравнению с ЭПС с ТМ ПТ с ПВ будет меньше, чем соответствующий показатель ЭПС с ТМ ПТ с НВ. Это объясняется большим разбросом нагрузок АТМ при их питании от общего источника, применение которого признано практически неизбежным из-за большой сложности оборудования ЭПС индивидуальными инверторами для каждой АТМ. В частности, и при индивидуальном регулировании непросто достичь равенства нагрузок АТМ. В частности, в упомянутой статье Ф.Каспарека [7] сообщается, что при разнице диаметров бандажей колёсных пар в 5 мм разброс вращающих моментов АТМ при совместном регулировании составляет 19%, а при индивидуальном - 26%.

Среди специалистов, пропагандирующих тяговый привод с АТМ, бытует поверить, что при параллельном включении нескольких АТМ к одному источнику питания нагрузки ТМ будут с течением времени "автоматически" выравниваться за счёт большего износа бандажей колёсных пар, развивающих большую силу тяги.

Можно предположить, что такого самовыравнивания нагрузок реально не будет. Для вагонов метрополитена и наземных электропоездов, имеющих малые силы тяги на ось, трудно предположить возможность необходимого для самовыравнивания нагрузок АТМ износа бандажей колёс за счёт проскальзывания, а Французский опыт показывает, что его не было и на электровозах. В частности, в упомянутой выше статье Нувьона говорится, что опыт эксплуатации электровозов серии 14000 с АТМ показал невозможность параллельной работы нескольких АТМ при питании от одного источника из-за плохого распределения нагрузок АТМ вследствие их конструктивных допусков даже при малом отклонении диаметров бандажей колёсных пар.

Большой разброс нагрузок АТМ при их питании от общего источника напряжения подтверждают и отечественные исследования.

Нереальность предполагаемого улучшения тяговых свойств ЭПС с АТМ подтверждается и опубликованными данными эксплуатации электровозов и тепловозов с АТМ на Датских государственных железных дорогах [8]. В этой публикации говорится, что тепловоз с АТМ массой 116 тс имеет такие же тяговые свойства, как и тепловоз с ТМ ПТ но с большей на 11 тс массой, а электровоз с АТМ массой 80 тс имеет пусковую силу тяги 260 кН. Из этих данных следует, что тепло-

воз с АТМ реализует коэффициент сцепления выше, чем тепловоз с ТМ ПТ только на 9,5%, а электровоз реализует при пуске коэффициент сцепления 0,325 против 0,351 по правилам тяговых расчётов для отечественных электровозов переменного тока при последовательном возбуждении ТМ.

Таким образом, нет оснований ожидать, что применение АТМ позволит увеличить расчётное значение коэффициента сцепления до величины, большей, чем она может быть реализована при использовании независимого возбуждения ТМ ПТ. Больше оснований предположить обратное соотношение, то есть предположить, что ЭПС с НВ ТМ будет иметь лучшие тяговые свойства, чем ЭПС с АТМ.

### **Выводы**

Многолетняя история развития ТЭП ЭПС всегда происходила на фоне конкуренции между двумя системами – приводом на постоянном токе (с ТМ ПТ) и переменном (с АТМ).

Сторонников и противников той или иной системы ТЭП немало, и каждого найдутся свои веские основания в защиту своей идеи. Конечно, в каждой системе есть свои плюсы и минусы, но тем и менее приведенные в выполненном анализе сведения и соображения подтверждают, что:

- реальные в технико-экономические показатели электроподвижного состава с АТМ много уже прогнозировавшихся при обосновании его высокой эффективности и необходимости повсеместного применения;

- резервы улучшения технико-экономических показателей ЭПС с ТМ ПТ далеко не исчерпаны и при их использовании применение ЭПС с ТМ ПТ экономически более целесообразно;

- применение ЭПС с АТМ целесообразно, если ЭПС с ТМ ПТ не может обеспечить требуемые технические характеристики, в частности – при скорости движения на магистральном транспорте более 200 км/ч;

- тяговые свойства ЭПС с ТМ ПТ могут быть существенно улучшены при замене последовательного возбуждения тяговых машин независимым. Это техническое решение не требует больших затрат и может быть реализовано при модернизации эксплуатируемого парка;

- энергетические показатели ЭПС с ТМ ПТ могут быть повышены за счет более эффективного применения рекуперативного торможения в случае замены в схеме силовых цепей контакторов тиристорными ключами [9];

– ЭПС с ТМ ПТ при его оборудовании автоматически регулируемым независимым возбуждением тяговых машин в зоне скоростей движения до 200 км/ч может реализовать силы тяги не меньше, чем ЭПС с АТМ;

– энергетические показатели ЭПС с КТМ выше, чем у ЭПС с АТМ, особенно при оборудовании первого эффективным рекуперативным тормозом;

– ЭПС с АТМ по отношению к ЭПС с ТМ ПТ при оборудовании последнего независимым возбуждением тяговых машин и тиристорными коммутаторами вместо контакторных аппаратов не будет иметь лучших показателей надежности.

#### **Список использованных источников:**

1. Ротанов Н.А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н.А.Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.

2. Nouvion F.F. Considerations on the use of d.c and three-phase traction motors and transmission system in the context of motive power development / F.F. Nouvion // Proc. Inst. Mech. Engrs. - 1987, Vol.201. - № 2. - P. 99-113.

3. Nouvion F.F. Into the second century / F.F. Nouvion // Railway Gazette International. - April 1979, - P. 296-300.

4. Экспресс-информация: Городской транспорт. – 1978. - № 25.

5. РЖ Электротехника, 21Л. – 1986. - № 3.

6. Солодунов А.М. Асинхронный привод электропоездов / А.М. Солодунов, Ю.М. Иньков, Ф.И. Сеничев и др. // Железнодорожный транспорт. – 1987. - № 1. - С. 43-46.

7. Kasperek F. Die elektrische Ausrüstung der neuen Wiener U-Bahn-Wagen / F. Kasperek // Eisenbahntechnik. – 1985. - № 4.

8. Электротехника. Электрооборудование транспорта, 21Л. - 1988. - №1.

9. Тулупов В.Д. Энергетические показатели новой системы тягового привода вагонов метрополитена / В. Д. Тулупов, Н.Д. Ляпунова, С.И. Кабанец // Тр МЭИ. - 1983, Вып. 608. - С. 36-42.

***Реквизиты для справок:** 111116, Россия, г. Москва, ул. Энергетическая, дом 14, корп. 4, ком. 329, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», кафедра «Электрический транспорт», аспирант Ле Суан Хонг – e-mail: tenbigstar1209@yahoo.com.*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫБОРА КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ЩИТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

А. А. Лебедева, А. А. Грибанов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрен способ выбора автоматических выключателей в щитах собственных нужд 0,4 кВ и присоединяемым к ним кабелям. Описаны требования к защите кабельных линий автоматическими выключателями и приведена последовательность выполнения расчётных проверок.*

*Ключевые слова: щит собственных нужд, автоматический выключатель, тепловой расцепитель, электромагнитный расцепитель, уставка.*

Установки собственных нужд являются важным элементом электростанций и подстанций. Повреждение в системе собственных нужд неоднократно приводило к нарушению работы электростанций и к аварийному состоянию энергосистем. Питание, защита и резервирование потребителей собственных нужд напряжением 380 В и частотой 50 Гц производится с помощью щита переменного тока или щита собственных нужд (далее ЩСН). ЩСН обеспечивает селективную защиту от однофазных, межфазных замыканий, перегрузки [1].

В настоящее время выбор коммутационных аппаратов для ЩСН 0,4 кВ энергетических предприятий заключается в выборе автомата с номинальным током, соответствующим данной нагрузке и в определении уставки тока и времени срабатывания (в порядке возрастания по направлению к источнику питания). Однако, в некоторых случаях выполнение этих условий не является достаточным, что влечёт за собой несрабатывание защиты или не правильная её работа. Причинами сбоя могут быть:

- неселективная работа устройств защиты
- их недостаточная чувствительность
- ложное срабатывание при максимальном пусковом токе [2].

Последствия неправильной работы защиты могут быть значительными, одним из которых является перегрев кабеля, ведущий к его возгоранию.

Для решения описанной выше проблемы был выполнен комплекс исследований, целью которого являлось повышение надёжности работы щита переменного тока. В результате был разработан метод расчёта, включающий в себя комплексный подход к выбору коммутационных аппаратов и кабелей в ЩСН 0,4 кВ. Были учтены все возможные факторы, влияющие на неправильную работу защит.

Основа метода заключается в нахождении максимальных и минимальных токов короткого замыкания (далее КЗ). Токи КЗ необходимы для проверки выбранного автоматического выключателя на отключающую способность и на чувствительность.

Далее каждый элемент выключателя (расцепитель и электромагнит отключения) рассматривается отдельно.

Уставку теплового расцепителя – защиту от перегрузки – необходимо проверить по следующим параметрам:

- максимальный рабочий ток

$$I_{уст} > K_n \cdot I_{раб.макс.}$$

где  $I_{уст}$  – уставка по току;

$K_n = 1,2 \div 1,4$  – коэффициент надёжности;

$I_{раб.макс.}$  – максимальный рабочий ток.

- длительно допустимый ток кабеля (в случае выбора автомата для двигательной или осветительной нагрузки)

$$I_{н.р.} < I_{доп.}$$

где  $I_{н.р.}$  – номинальный ток расцепителя;

$I_{доп.}$  – длительно допустимый ток кабеля.

- чувствительность в конце защищаемого участка

$$k_q = \frac{I_{кз.мин}^{(1)}}{I_{н.р.}} > 3,$$

где  $k_q$  – коэффициент чувствительности;

$I_{кз.мин}^{(1)}$  – минимальный ток однофазного короткого замыкания;

$I_{н.р.}$  – номинальный ток расцепителя;

- селективность:

с вышестоящими автоматическими выключателями

$$I_{уст} < \frac{I_{уст.выш.АВ}}{K_{согл}},$$

а с нижестоящими автоматическими выключателями –

$$I_{уст} > K_{согл} \cdot I_{уст.ниж.АВ},$$

где  $K_{согл} = 1,25$  – коэффициент согласования;

$I_{уст.выш.АВ}$  – уставка по току вышестоящего автоматического выключателя;

$I_{уст.ниж.АВ}$  – уставка по току нижестоящего выключателя.

Уставку электромагнитного расцепителя – защиту от коротких замыканий – необходимо проверить по следующим параметрам:

- максимальный рабочий ток

$$I_{уст} > K_n \cdot I_{раб.макс.},$$

где  $I_{уст}$  – ток уставки;

$K_n = 1,2 \div 1,4$  – коэффициент надёжности;

$I_{раб.макс.}$  – максимальный рабочий ток.

- несрабатывание при пусковом токе (в случае выбора автомата для двигательной нагрузки)

$$I_{уст} > I_{с.з.},$$

$$I_{с.з.} = (4 \div 6) I_{раб.макс.},$$

где  $I_{с.з.}$  – ток самозапуска двигателя.

- чувствительность в конце защищаемого участка

$$I_{уст} < \frac{I_{КЗ.мин}^{(1)}}{1,1 \cdot K_p},$$

где  $K_p$  – коэффициент разброса срабатывания отсечки;

$I_{КЗ.мин}^{(1)}$  – однофазный минимальный ток КЗ.

Также селективность проверяется по время-токовым характеристикам методом составления карт селективности. На рисунке 1 представлена карта селективности двух выключателей: NSX400F с номинальным током 4800А, токами теплового и электромагнитного расцепителей 4800 А и 1600 А и АВМ10С с номинальным током 1000 А, токами теплового и электромагнитного расцепителей 1000 А и 6000 А. Выключатель типа NSX400F является нижестоящим. Срабатывание данного выключателя при КЗ на линии должно происходить с меньшим временем, соответственно его характеристика должна распола-

гаться ниже характеристики выключателя типа АВМ10С в пределах максимальных и минимальных токов КЗ. [3].

В результате выполнения всех вышеперечисленных условий можно сделать вывод, что все параметры выбранного автоматического выключателя удовлетворяют требованиям, что обеспечивает более эффективную защиту шин и отходящих линий от ненормальных режимов и повреждений.

Надёжность защиты достигается с помощью её резервирования. В случае отказа основной защиты срабатывает вышестоящий выключатель. Однако, следует отметить, что время срабатывания резервной защиты больше времени срабатывания основной защиты на ступень селективности. На протяжении этого времени по кабелю протекает ток КЗ, который вызывает нагрев жилы. Температура нагрева может достигнуть высокого значения, провоцирующего возгорание. Так как кабели проложены плотно друг к другу, то может возникнуть крупный пожар, который приведет к выгоранию всех кабелей в пределах кабельного сооружения. Чтобы избежать таких серьезных повреждений, несущих за собой не только финансовые убытки, но и угрозу для жизни персонала, при выборе оборудования необходимо проверять все кабели на невозгорание [2].

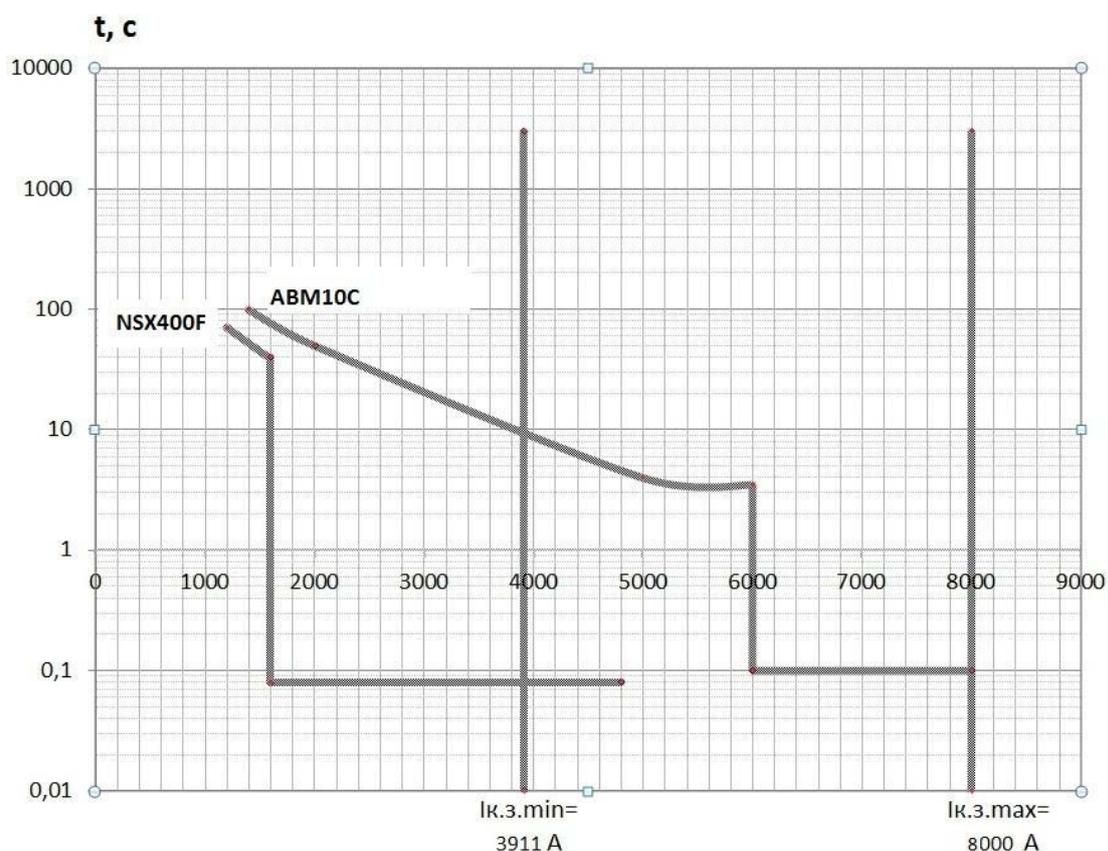


Рисунок 1 – Карта селективности автоматических выключателей

При проверке проводников на термическую стойкость в качестве расчётной продолжительности короткого замыкания следует принимать сумму двух времён: времени действия основной защиты (с учётом действия АПВ), воздействующей на ближайший к месту короткого замыкания выключатель, и полного времени отключения этого выключателя [4]. Температура нагрева кабеля при протекании тока КЗ за время действия резервной защиты не должна превышать длительно допустимое значение тока для существующего кабеля [5].

Практическое использование изложенного метода показало необходимость совершенствования существующих методов расчёта параметров защитных коммутационных аппаратов. Данное мероприятие влечёт за собой финансовую выгоду, а также повышение уровня надёжности и качества работы оборудования в сети 0,4 кВ.

#### **Список использованных источников:**

1. Чернобровов, Н. В. Релейная защита энергетических систем : учеб. пособие для техникумов [Текст] / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 800 с. : ил.
2. Шабад, М. А. Расчёты релейной защиты и автоматики распределительных сетей [Текст] / М. А. Шабад. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1985. – 296 с. : ил.
3. Голубев, М. Л. Защита вторичных цепей от коротких замыканий [Текст] / М. Л. Голубев. – М. : Энергоиздат, 1982. – 80 с.: ил.
4. Циркуляр Ц-02-98(э) О проверке кабеля на возгорание при воздействии тока короткого замыкания [Текст] / РАО «ЕЭС России». – 7 с.
5. Правила устройства электроустановок [Текст]. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2003.-928 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7(385-2) 29-07-76, магистрант Алиса Андреевна Лебедева – e-mail: [alisa0892@mail.ru](mailto:alisa0892@mail.ru);; к.т.н., доцент Алексей Александрович Грибанов – e-mail: [diread@mail.ru](mailto:diread@mail.ru).*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ  
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ДЛЯ РАЗНЫХ СХЕМ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК.  
СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ «ТРЕУГОЛЬНИК»**

Н. А. Лебедев, Д. В. Кокорин  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье показана разработка математических моделей, описывающих процессы, протекающие в обмотках силовых трансформаторов при тестировании их импульсами напряжения. Показана разработанная математическая модель переходного процесса в обмотках силового трансформатора при их тестировании прямоугольным импульсом напряжения при схеме соединения обмоток «треугольник».*

*Ключевые слова: математическая модель, диагностирование, переходной процесс, силовой трансформатор, прогнозирование, метод низковольтных импульсов*

Силовые трансформаторы являются важнейшей электротехнической установкой электропитающих систем, от надёжности и качества функционирования которых зависит надёжность и качество распределяемой электрической энергии [1].

В настоящее время в эксплуатации на энергетических предприятиях России находится значительное число силовых трансформаторов 6-10/0,4 кВ, имеющих срок наработки 25 лет и более [2].

В связи с этим всё более актуальной становится задача prolongation срока службы и оценка возможности дальнейшей эксплуатации такого оборудования. Опыт эксплуатации силовых трансформаторов показывает, что и после отработки установленного срока службы значительная часть существующего парка сохраняет работоспособность и его замена нецелесообразна [3].

Одним из наиболее эффективных методов выявления дефектов в трансформаторном оборудовании является метод низковольтных импульсов, который позволяет определять не только наличие дефекта, но и место его возникновения, а также выявлять дефекты, находящиеся на ранней стадии развития, следить за состоянием изоляции обмоток и объективно оценивать процесс эксплуатации силового трансформатора.

Суть метода состоит в том, что на один вывод первичной обмотки подаётся тестовый сигнал прямоугольной формы, а с другого вывода фиксируется диагностический сигнал. Полученный сигнал подвергается разложению в спектр, а также сравнению с эталонным спектром для данной марки трансформатора для условно-идеального технического состояния.

Подача и снятия тестового сигнала осуществлялись генератором-осциллографом АК ИП – 4107, с программным обеспечением PicoScore6, позволяющим раскладывать полученные сигналы в спектр и сравнивать их.

В процессе исследования были разработаны несколько схем замещения трансформатора и на основании наиболее правильного учета всех параметров выбрана схема, более точно отображающая процессы, происходящие в обмотках силового трансформатора. После чего были обоснованы все элементы схемы замещения. Наличие как можно больше обоснованных элементов в схеме замещения приблизит математическую модель к реальному трансформатору и даст наиболее точный результат моделирования процесса. При изменении какого-либо параметра схемы замещения будет изменяться процесс, протекающий в обмотках и изоляции трансформатора. Характер этого процесса позволит объективно оценить работу оборудования и принять необходимые меры по его отключению, выводу в ремонт, устранению неполадок и предотвращению аварий.

На рисунке 1 изображена схема замещения обмотки силового трансформатора по схеме «треугольник». В данной схеме диагностический сигнал проходит по всем трем обмоткам, две из которых подключены последовательно, а третья им параллельно.

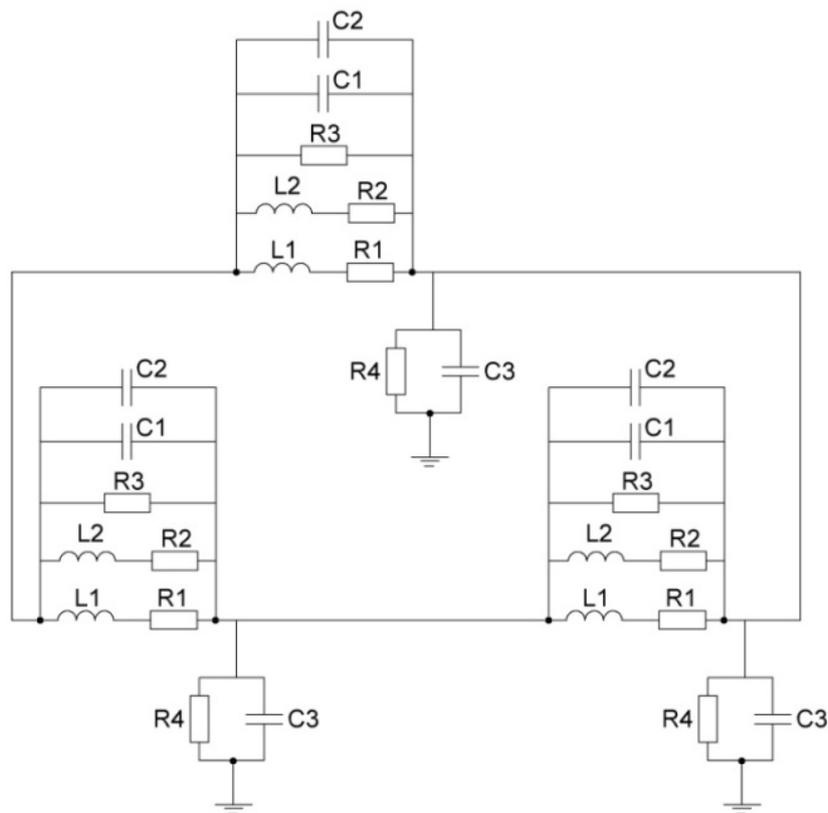


Рисунок 1 – Схема замещения обмотки силового трансформатора по схеме «треугольник»

Для данной схемы выведена формула полного сопротивления (1) и составлено характеристическое уравнение (2).

$$Z_{\Delta} = \frac{2}{3 \cdot p \cdot C_{\Sigma} + \frac{3}{R_3} + \frac{3}{(p \cdot L_1 + R_1)} + \frac{3}{(p \cdot L_2 + R_2)}} + \frac{1}{\frac{3}{R_4} + 3 \cdot p \cdot C_3}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & 3 \cdot p^4 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} \cdot C_3 \cdot R_4 + p^3 \cdot (2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + L_1 \cdot L_2 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} \cdot R_4 + 3 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} + \\ & + 3 \cdot L_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot L_2 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot C_3 \cdot R_4) + p^2 \cdot (2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot R_3 + \\ & + 2 \cdot L_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + 2 \cdot L_2 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + L_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} \cdot R_4 + L_2 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} \cdot R_4 + \\ & + L_1 \cdot L_2 \cdot R_4 + 3 \cdot L_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} + 3 \cdot L_2 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_{\Sigma} + 3 \cdot L_1 \cdot L_2 + 3 \cdot C_{\Sigma} \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + \\ & + 3 \cdot L_1 \cdot R_2 \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot L_2 \cdot R_1 \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot L_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot L_1 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4) + p \cdot (2 \cdot L_1 \cdot R_2 \cdot R_3 + \\ & + 2 \cdot L_2 \cdot R_1 \cdot R_3 + 2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + C_{\Sigma} \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 + L_1 \cdot R_2 \cdot R_4 + L_2 \cdot R_1 \cdot R_4 + \\ & + L_2 \cdot R_3 \cdot R_4 + L_1 \cdot R_3 \cdot R_4 + 3 \cdot C_{\Sigma} \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 + 3 \cdot L_1 \cdot R_2 + 3 \cdot L_2 \cdot R_1 + 3 \cdot L_2 \cdot R_3 + 3 \cdot L_1 \cdot R_3 + \\ & + 3 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4 + 3 \cdot R_1 \cdot R_3 \cdot C_3 \cdot R_4) + 2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2 \cdot R_4 + \\ & + R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 + R_1 \cdot R_3 \cdot R_4 + 3 \cdot R_1 \cdot R_2 + 3 \cdot R_2 \cdot R_3 + 3 \cdot R_1 \cdot R_3 = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Наличие коэффициентов «2/3» в формуле (1) объясняется последовательным соединением двух продольных ветвей и одной параллельной им, коэффициент «1/3» объясняется соединением поперечных ветвей трех обмоток схемы замещения силового трансформатора.

Составленная схема замещения позволит смоделировать параметры силовых трансформаторов для различного технического состояния.

Моделирование переходных процессов предусматривает получение решения характеристического уравнения, описывающего переходный процесс, т.е. получение всех переменных в виде функций от времени, а затем проведение анализа этих функций.

Для получения корней характеристического уравнения подставляем в него значения RLC-элементов экспериментально снятые с реального трансформатора. После нахождения корней характеристического уравнения составляем уравнения переходного процесса для схемы замещения силового трансформатора со схемой соединения обмоток «треугольник»:

$$U(t) = 1 + A_1 \cdot e^{-4,941 \cdot 10^7 \cdot t} + A_2 \cdot e^{-3,596 \cdot 10^{11} \cdot t} + A_3 \cdot \sin(3,255 \cdot 10^7 \cdot t + \varphi_3) \cdot e^{-1,946 \cdot 10^4 \cdot t} \quad (3)$$

Так как уравнения содержат по четыре неизвестных:  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $\varphi_3$ , то нахождение их производим с помощью решения системы уравнений. Когда будут найдены неизвестные, то уравнение переходного процесса для схемы соединения обмоток по схеме «треугольник» записывается как:

$$U(t) = 1 + -0,303 \cdot e^{-4,941 \cdot 10^7 \cdot t} + 1,126 \cdot 10^{-12} \cdot e^{-3,596 \cdot 10^{11} \cdot t} - 0,835 \cdot \sin(3,255 \cdot 10^7 \cdot t - 0,987) \cdot e^{-1,946 \cdot 10^4 \cdot t} \quad (4)$$

Полученные уравнения обрабатываются с помощью программы MathCad, которая наглядно отображает переходной процесс в обмотках силового трансформатора и программы AutoSignal v1.6 позволяющей разложить в спектр кривую переходного процесса.

На рисунке 2 и 3 изображена кривая переходного процесса для схемы соединения обмоток «треугольник».

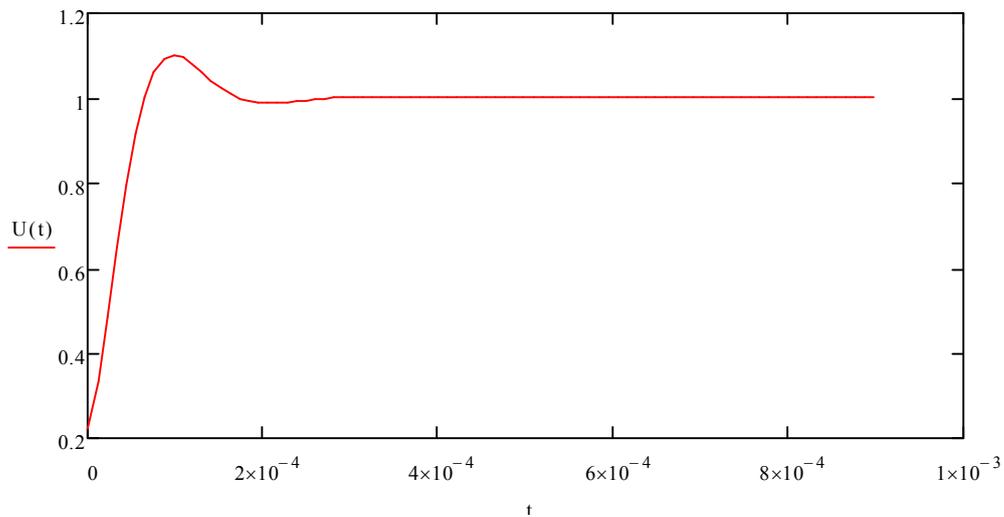


Рисунок 2 – Кривая переходного процесса для схемы соединения обмоток «треугольник»

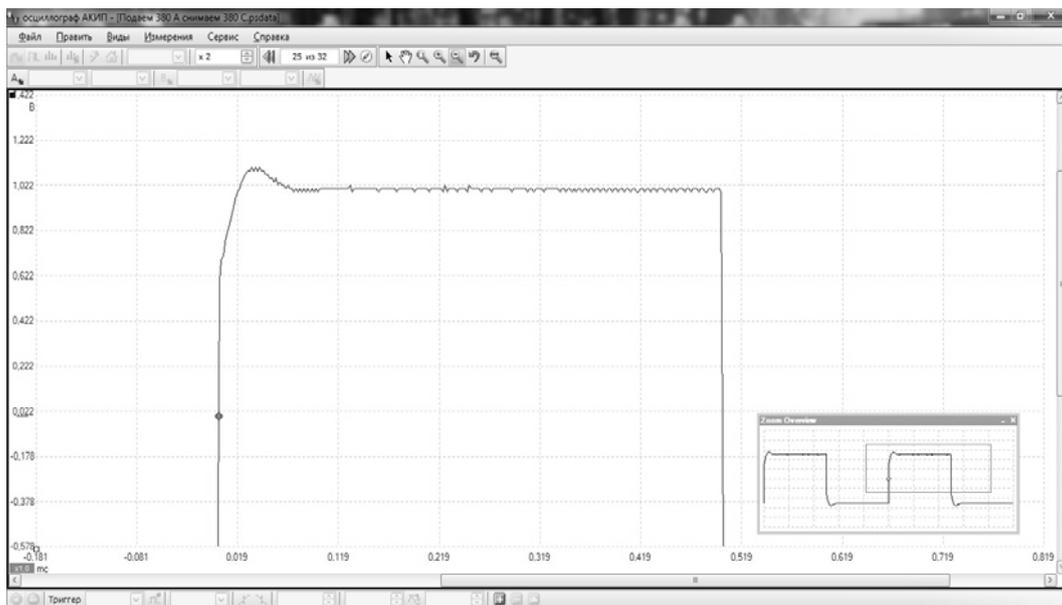


Рисунок 3 – Кривая переходного процесса экспериментально снятая для схемы соединения обмоток «треугольник»

На рисунках 4 и 5 показаны экспериментальные и расчетные спектрограммы для схемы соединения обмоток «треугольник».

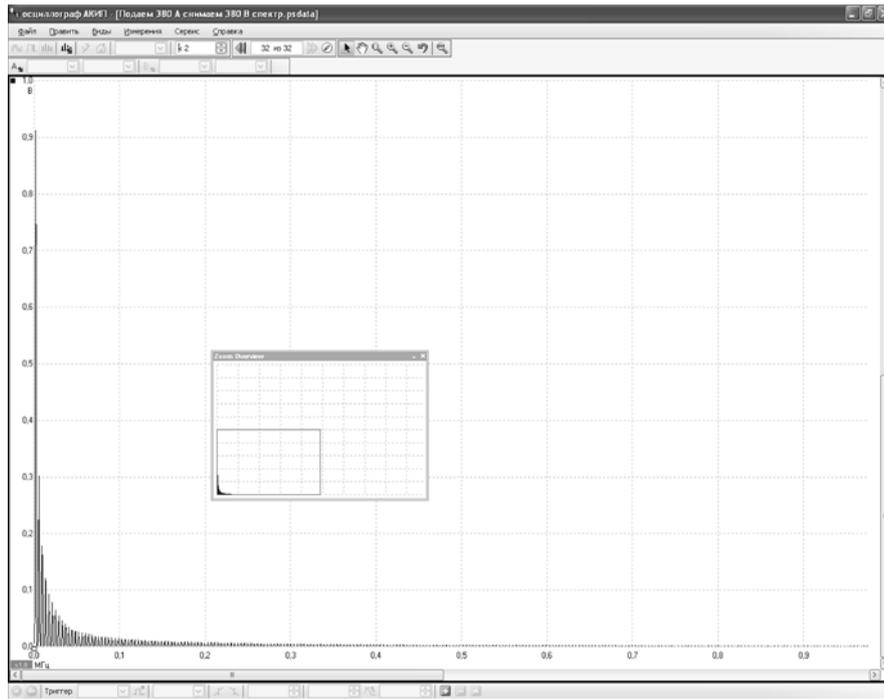


Рисунок 4 – Спектрограмма экспериментально снятая для схемы соединения обмоток «треугольник»

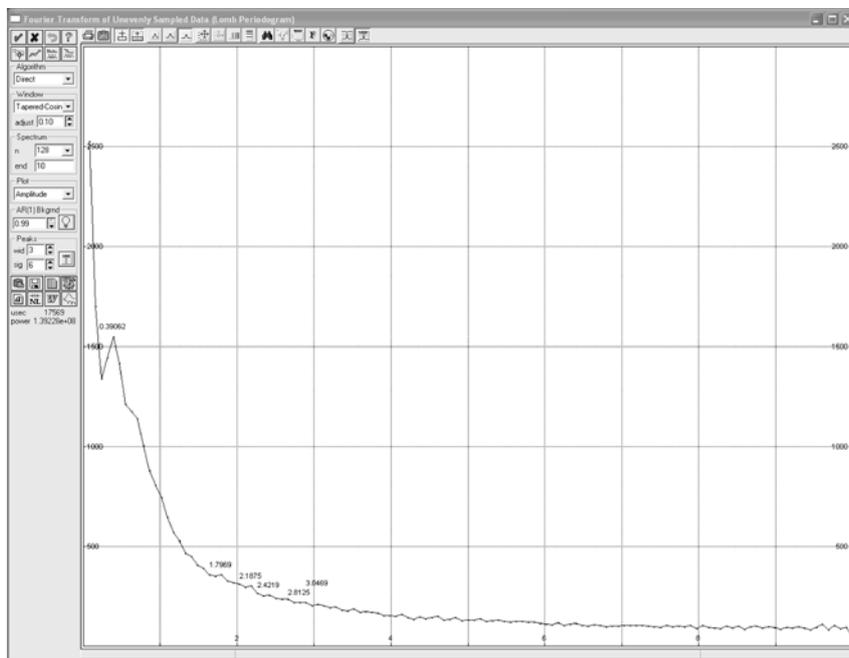


Рисунок 5 – Спектрограмма расчетная для схемы соединения обмоток «треугольник»

Результатом проделанной работы является получение спектрограмм для условно идеального состояния трансформатора. Под этим состоянием подразумевается трансформатор, который изготовлен без нарушений технологических норм, то есть дефекты, обусловленные процессом его изготовления, отсутствуют. В дальнейшем, планируется разработка методики обработки спектрограмм, после чего можно будет установить зависимость спектрального состава волнового затухающего процесса от вида и степени развития дефектов в обмотках трансформатора. Получение требуемых результатов работы позволит решить проблему диагностирования механического состояния обмоток силовых трансформаторов и предотвратить внезапный отказ электрооборудования, что повысит качество и уровень надежности электрооборудования.

#### **Список использованных источников:**

1. Тимонин, Ю. Н. Обоснование рациональных параметров энергосберегающих электромеханических систем охлаждения силовых трансформаторов для повышения надежности их работы [Текст] : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.09.03 / Тимонин Юрий Николаевич. – Тула, 2012. – 135 с.

2. Рощупкин, М. Д. Разработка методики акустической диагностики электрических разрядов в силовых и измерительных трансформаторах [Текст] : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.14.12 / Рощупкин Михаил Дмитриевич. – Москва, 2011. – 158 с.

3. Чупак, Т. М. Прогнозирование технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов [Текст] : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 05.14.02 / Чупак Татьяна Михайловна. – Красноярск, 2007. – 128 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», магистрант Никита Андреевич Лебедев – e-mail: nikita1190@mail.ru; магистрант Дмитрий Владимирович Кокорин – e-mail: koksik\_25@mail.ru.*

## ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА КОНТАКТАХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

О. Ю. Люлина, А. Х. Мусин  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*Оцениваются потери электроэнергии на контактах автоматических выключателей 0.4 кВ. Показано, что данные потери могут достигать существенных значений.*

*Ключевые слова: энергосбережение, потери электроэнергии, сопротивление контактных систем, автоматические выключатели.*

Высокий уровень приоритетности энергосберегающей политики в современной России обусловлен целым рядом факторов. В некоторых отраслях промышленности доля суммарных энергозатрат в себестоимости отдельных видов продукции составляет более 55 %. В современных условиях наблюдается тенденция снижения производства энергоресурсов, в связи с чем происходит постоянное повышение значимости проблемы энергосбережения. При этом экономия электроэнергии может быть представлена как источник дополнительной энергии, и поэтому она должна осуществляться в тех случаях, где затраты на энергосберегающие технологии будут меньше, чем затраты на добычу первичных топливно-энергетических ресурсов.

Данная статья посвящена оценке величины потерь электроэнергии на контактах автоматических выключателей. Пример такого выключателя приведен на рисунке 1, а его кинематическая схема – на рисунке 2.



Рисунок 1 – Автоматический выключатель

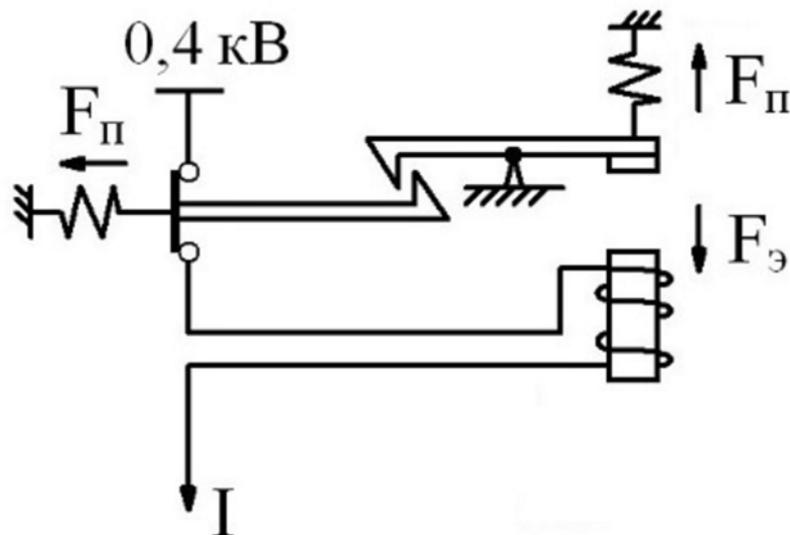


Рисунок 2 - Кинематическая схема автоматического выключателя

Понятие «электрический контакт» означает надежное соединение двух проводников, позволяющее проводить ток. Исследователей всегда интересовали процессы, которые происходят на поверхности контактирования при коммутации электрической цепи [1].

Наука об электрическом контакте основывается на изучении механических, химических, тепловых и электрических процессов, протекающих на соприкасающихся поверхностях. Механические свойства контактных материалов обуславливают в первую очередь структуру поверхностей и ее влияние на площадь контактирования. Химические свойства выражены тем, что на поверхности контактов могут образовываться окисные, сульфидные или другие защитные пленки. Тепловые и электрофизические процессы на контактах вызваны прохождением тока от одного вида проводника к другому и могут проявляться в виде различных эффектов (Ленца-Джоуля, Томсона, Пельтье, Колера и др.) [1].

Одной из главных характеристик металлических поверхностей является шероховатость. Независимо от способа изготовления на поверхности металлов всегда имеются неровности. Природа контакта двух твердых тел в значительной степени зависит от шероховатости соприкасающихся поверхностей, которые, прежде всего, коснутся друг друга в тех местах, где микровыступ одной поверхности встретит соответствующий микровыступ другой. Интенсивное местное давление вызовет деформацию металла в этих микрообластях контактных точек. При дальнейшем сближении поверхностей площади контактных точек будут увеличиваться и создавать новые контактные пятна по мере соприкосновения других неровностей. Весь процесс происходит до тех

пор, пока силы сопротивления смятию не сравняются с внешней приложенной силой. Но даже тогда, когда процесс закончен и уже произошла значительная деформация металла, большая часть соприкасающихся поверхностей все же отделена друг от друга расстояниями, во много раз превосходящими расстояния, на которых начинают действовать межатомные силы. Лишь небольшая площадка обеспечивает настоящий металлический контакт за счет имеющихся микронеровностей [1].

При размыкании контактов площадь поверхности соприкосновения начинает уменьшаться, вследствие чего плотность тока в области стягивания растет по мере расхождения контактов. Джоулево тепло, выделяющееся в этой области, столь быстро растет, что микронеровности успевают расплавиться и образовать между контактами жидкий металлический токопроводящий мостик. Под действием сил поверхностного натяжения мостик сначала имеет бочкообразную форму, которая, по мере расхождения контактов, превращается в гиперболоидальную с седловиной примерно в середине мостика. Эти формы мостика были рассмотрены Левелином Джонсоном при медленном разведении контактов. Джонс экспериментально подтвердил для многих металлов справедливость формулы Хольма, выведенной из закона Видемана – Франца – Лоренца [1]:

$$\alpha \cdot (T_p^2 - T_0^2) = \frac{U^2}{4}, \quad (1)$$

где  $T_p$  – температура мостика перед его разрушением, °К;

$T_0$  – температура противоположного конца контакта;

$U$  – падение напряжения на мостике, В;

$\alpha = 2,4 \cdot 10^{-8}$  В/град<sup>2</sup> – постоянная Лоренца.

той формулой выражена зависимость между температурой и падением напряжения на каком-либо участке жидкого металла, в нашем случае на расплавленном мостике.

Известно, что электрическая износостойчивость и работоспособность контактов аппаратов зависят от многих факторов: материала контактов; условий работы, в том числе, частоты циклов (включений - отключений), величин тока и напряжения; от параметров аппаратов, в том числе, скорости расхождения контактов при отключении, времени и амплитуды вибрации контактов при включении; среды, в которой происходит коммутация тока контактами и т.д. [3].

Автоматические выключатели должны длительно находиться в замкнутом состоянии при различных внешних условиях. Это обуславливает жесткие требования к стабильности и уровню переходного сопротивления контактного соединения. Из-за большой протяженности и

разветвленности цеховых сетей низкого напряжения с множеством последовательных узлов с контактными соединениями доля сопротивлений последних в общем сопротивлении цеховой сети достаточно высока. Поэтому при определении потерь электроэнергии в цеховых сетях напряжением до 1000 В следует учитывать сопротивление контактных соединений автоматических выключателей [2].

Считается, что контактное сопротивление состоит из двух составляющих [1]:

$$R_K = R_T + R_{II}, \quad (2)$$

где  $R_T$  – сопротивление тела контактов;

$R_{II}$  – переходное сопротивление мест контактирования.

Сопротивление  $R_{II}$  в отличие от  $R_T$  имеет значительные вариации по абсолютной величине и способно вызвать неприятные явления, связанные с отказом контактов. Детальное исследование показывает, что переходное сопротивление, в свою очередь, состоит из двух составляющих:

$$R_{II} = R_{IIЛ} + R_C \quad (3)$$

где  $R_{IIЛ}$  – сопротивление поверхности пленок;

$R_C$  – сопротивление стягивания.

Ранее указывалось, что поверхностные пленки, образующиеся на контактных поверхностях, могут препятствовать протеканию тока и тем самым определять величину  $R_{IIЛ}$ .

Составляющая  $R_C$  вызвана тем, что соединенные встык контакты соприкасаются не по всей кажущейся поверхности, а лишь в отдельных точках.

Расчет сопротивления стягивания 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 [1]

$$R_C = \rho / 4\pi C, \quad (4)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника.

При длинной области стягивания

$$C = f/\pi.$$

Тогда полное сопротивление стягивания двух контактирующих электродов

$$R_C = \frac{\rho}{2f} \quad (5)$$

Ниже приведены результаты расчета сопротивлений стягивания для некоторых типов автоматических выключателей по выражению (5).

Для автомата серии АЕ2040 на номинальный ток 63 А, для которого  $f = 0,067$  мм,  $\rho = 0,033$  мОм·мм,  $R_c = 0,25$  мОм.

Для автомата серии ВА 57-35 на номинальный ток 250 А, для которого  $f = 0,12$  мм,  $\rho = 0,028$  мОм·мм,  $R_c = 0,12$  мОм.

Для автомата серии ВА 57-39 на номинальный ток 400 А, для которого  $f = 0,16$  мм,  $\rho = 0,021$  мОм·мм,  $R_c = 0,07$  мОм.

Таким образом, полученные результаты позволяют оценить величину сопротивления стягивания автоматических выключателей некоторых типов в общем сопротивлении контактных соединений аппарата. Так, например, для автоматического выключателя ВА 57-35 с  $I_{ном} = 250$  А, сопротивление силовой цепи составляет 1,2 мОм, а сопротивление стягивания – 0,12 мОм[3].

Оценим зависимость величины потерь мощности автоматических выключателей от пропускаемой мощности через аппарат. Мощность, передаваемая одним полюсом автомата, определяется по выражению [1]

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi . \quad (6)$$

где  $U$  – напряжение сети, кВ;

$I$  – ток, проходящий через автомат, А;

при неизвестном  $\cos\varphi$  нагрузки будем использовать значение его, равное 0,8.

Потери мощности в одном полюсе автомата определяются как

$$\Delta P = I_{ав}^2 \cdot k_3^2 \cdot R_{ав} \quad (7)$$

где  $I_{ав}$  – ток, проходящий через автомат;

$k_3^2$  – квадрат коэффициента загрузки автомата;

$R_{ав}$  – сопротивление силовой цепи автомата [2].

На основе характеристик для различных автоматических выключателей построим среднюю кривую зависимости потерь мощности в автоматических выключателях от пропускаемой мощности приведенную на рисунке 3.

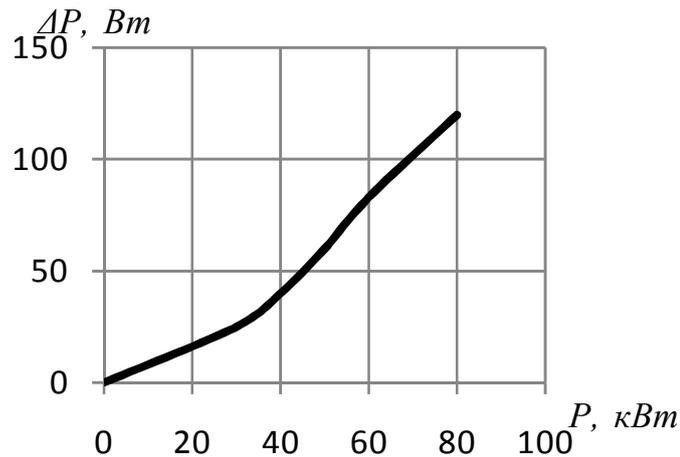


Рисунок 3 – Средняя кривая зависимости потерь мощности от пропускаемой мощности в автоматических выключателях

Таким образом, полученная зависимость показывает, что при пропускаемой мощности равной, к примеру, 60 кВт потери в активном сопротивлении автоматических выключателей составят 60 Вт, что равнозначно мощности соответствующей лампы накаливания. Такие потери электроэнергии являются существенными, поэтому при разработке энергосберегающих мер потери в автоматических выключателях необходимо учитывать.

#### Список использованных источников:

1. Хольм, Р. Электрические контакты [Текст] / Пер. с англ.: под ред. Д. Э. Брускина. – М.: Энергия, 1978. – 456 с.
2. Шевченко, В. В. Определение сопротивлений контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов [Текст] / В. В. Шевченко, Е. И. Грачева // Промышленная энергетика. – 2002. – №1. – С. 42 – 43.
3. Грачева, Е. И. Оценка величины потерь электроэнергии в низковольтных коммутационных аппаратах [Текст] / Е. И. Грачева // Проблемы энергетики. – 2009. – № 7–8. – С. 74–81.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификации производства и сбыта», студент Ольга Юрьевна Люлина – e-mail: [olga.lyulina.92@mail.ru](mailto:olga.lyulina.92@mail.ru); д.т.н., профессор Агзам Хамитович Мусин – e-mail: [agzam45@mail.ru](mailto:agzam45@mail.ru), тел. +7(385-2)29-07-75.

## **ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ТРЕХФАЗНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЕ С АКТИВНЫМ СИЛОВЫМ ФИЛЬТРОМ**

Е. Ю. Малявко

Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск,  
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический  
университет»

*Рассмотрены методы управления активным силовым фильтром, описаны недостатки существующих способов математического разделения уравнения баланса мгновенных мощностей трехфазного потребителя произвольного вида и предложен новый подход, основанный на использовании некоммутативной алгебры гиперкомплексных чисел (кватернионов).*

*Ключевые слова: активный силовой фильтр, баланс мгновенных мощностей, кватернионный базис, алгоритмы компенсации.*

### **Введение**

Значительный рост разнообразных промышленных и бытовых устройств с полупроводниковыми элементами в силовых цепях приводит к ухудшению энергетических характеристик трехфазных систем. Практически все реальные мощные потребители электроэнергии работают в режимах пофазной асимметрии при больших величинах высших гармоник тока вследствие нелинейности их характеристик. По этой причине повышаются активные потери и возникают значительные искажения мгновенной формы сигналов, ухудшающие условия работы других нагрузок. Несимметрия токов характеризуется наличием в трехфазной электрической сети токов обратной или нулевой последовательностей, значительно меньших по величине соответствующих составляющих прямой последовательности, что приводит к изменениям абсолютных значений фазных переменных.

Помимо этого, в общепромышленных сетях может возникать несимметрия от наложения на систему прямой последовательности токов нулевой последовательности, в результате возникает несимметрия фазных токов при сохранении симметричной системы междуфазных токов. При наличии нулевой или обратной последовательностей в трехфазных сетях возникает сдвиг тока по фазам - несимметрия гармоник тока.

## 1 Алгоритмы управления активным силовым фильтром

Сложные законы изменения токов нелинейных потребителей редко имеют одинаковую форму в каждой из трех фаз. В первую очередь это относится к техническим средствам силовой электроники, которые отличаются друг от друга мощностью, числом фаз, размещением, схемой соединения, условиями работы и др. Таким образом, возникающая несимметрия высших гармоник приводит к ухудшению качества электроэнергии в результате совместного воздействия несимметрии и несинусоидальности токов соответствующих потребителей. Применение активных силовых фильтров (АСФ) исключает вышеперечисленные недостатки и повышает энергоэффективность трехфазных систем передачи, распределения и преобразования электрической энергии переменного тока. АСФ используются не только для подавления высокочастотных гармоник, но и также для симметрирования фазных токов в случае нелинейной нагрузки, компенсации активных потерь от мощности сдвига и демпфирования резонансных явлений.

При анализе энергопроцессов в общепромышленных сетях за последние годы предпочтение отдается не интегральным, а мгновенным теориям мощности, которые позволяют в полной мере избежать последствий от несимметрии независимо от исходного характера цепей нагрузки. Наиболее перспективной в плане качества решения поставленной задачи является *pqr*-теория мощности. В отличие от остальных теорий мгновенной мощности, вследствие перехода от трехфазной системы *abc* к вращающейся пространственной системе *pqr* с последующим пересчетом значений токов по фазам по алгоритму *pqr*-преобразования появляется возможность получить качественно новые результаты, соотношения и алгоритмы автоматического управления компенсацией. Основой данной теории является значительное уменьшение высших гармонических токов, что является обязательным условием для устранения несимметрии. Согласно базовым положениям теории, из сигнала мгновенной мощности выделяют такие составляющие, как мгновенная реактивная мощность  $q$ , которая состоит из мгновенной реактивной мощности по оси  $q$  ( $q_q$ ) и мгновенной реактивной мощности по оси  $r$  ( $q_r$ ) и характеризует мгновенную скорость обмена энергией между сетью и реактивной нагрузкой, мгновенная активная мощность  $p$  и мгновенная полная мощность  $s$  [4].

Компенсация высших гармоник согласно *pqr*-теории позволяет одновременно исключить токи нейтрали путем компенсации мгновенной реактивной мощности  $q_q$  и токи обратной последовательности путем компенсации переменных составляющих мгновенной активной  $p$  и

реактивной  $q_r$  мощности. Таким образом, при симметричном и синусоидальном напряжении сети автоматически обеспечивается возможность поддержания токов сети также симметричными и синусоидальными. Исходя из выше изложенного, можно утверждать, что, при условии стабильности напряжения питания, отклонение напряжения и размах его колебаний будут минимальны, а использование положений *pqr-теории* позволит получить удовлетворительные значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения.

К сожалению, данный метод математического описания потоков электрической энергии в единицу времени не позволяет достаточно ясно объяснить физический смысл протекающих процессов для случая нелинейной нагрузки произвольного вида, а также имеют ряд теоретических противоречий. Помимо этого, техническая реализация алгоритмов управления выходом АСФ, синтезированных на базе вышеупомянутой теории, требует наличия высокоскоростной микропроцессорной элементной базы из-за необходимости выполнения двукратного линейного преобразования, перемножения координат трехмерных пространственных векторов и хранения 9-ти элементов квадратных матриц.

Данные недостатки можно исключить путем перехода к анализу энергетических процессов с использованием некоммутативной алгебры гиперкомплексных чисел (кватернионов). В этом случае представляется возможным в рамках единого математического аппарата выделить в уравнении баланса мгновенных мощностей вещественную и мнимую составляющие, что позволяет наглядно представить физическую интерпретацию “полезных” и неэффективных потоков электрической энергии в единицу времени. Помимо этого, четырехмерное гиперкомплексное пространство, в отличие от классического подхода, позволяет выполнять анализ режимов работы трехфазных систем переменного тока по мгновенным значениям, а не по среднеквадратичным величинам в установившемся процессе.

## 2 Выражение мгновенной мощности

Кватернион представляет собой специальный математический объект, состоящий из одной действительной 1 и трех мнимых единиц  $\mathbf{q}_1, \mathbf{q}_2, \mathbf{q}_3$  с вещественными коэффициентами  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  [2]:

$$\mathbf{L} = \lambda_0 \circ 1 + \lambda_1 \circ \mathbf{q}_1 + \lambda_2 \circ \mathbf{q}_2 + \lambda_3 \circ \mathbf{q}_3, \quad (1)$$

для которых постулируются 16 правил умножения [2]:

$$1 \circ 1 = 1, \quad 1 \circ \mathbf{q}_k = \mathbf{q}_k \circ 1 = \mathbf{q}_k, \quad \mathbf{q}_k \circ \mathbf{q}_l = -\delta_{kl} + \varepsilon_{klm} \circ \mathbf{q}_m, \quad (2)$$

где  $\circ$  – символ умножения в алгебре кватернионов;

$k, l, m = 1, 2, 3$  – нижний индекс, показывающий порядковый номер мнимой единицы;

$\delta_{kl}$  – трехмерный символ Кронекера, симметричный по своим индексам  $\delta_{kl} = \delta_{lk}$

$$\delta_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{при } k = l, \\ 0, & \text{при } k \neq l; \end{cases}$$

$\varepsilon_{klm}$  – антисимметричный по индексам трехмерный символ Леви-Чивиты, который удовлетворяет следующим равенствам

$$\varepsilon_{123} = \varepsilon_{231} = \varepsilon_{312} = 1,$$

$$\varepsilon_{213} = \varepsilon_{321} = \varepsilon_{132} = -1;$$

и равен нулю, если два или три индекса равны друг другу.

Множитель перед единицей носит название скалярной (действительной) части кватерниона  $\lambda_0 = \mathbf{scal} \mathbf{L}$ , а линейная комбинация с мнимыми единицами относится к векторной составляющей

$$\mathbf{vect} \mathbf{L} = \lambda_1 \circ \mathbf{q}_1 + \lambda_2 \circ \mathbf{q}_2 + \lambda_3 \circ \mathbf{q}_3.$$

В данной ассоциативной алгебре также используются определения сопряженного кватерниона [2, 3]

$$\overline{\mathbf{L}} = \mathbf{scal} \mathbf{L} - \mathbf{vect} \mathbf{L} = \lambda_0 \circ 1 - \lambda_1 \circ \mathbf{q}_1 - \lambda_2 \circ \mathbf{q}_2 - \lambda_3 \circ \mathbf{q}_3,$$

нормы

$$\|\mathbf{L}\| = \mathbf{L} \circ \overline{\mathbf{L}} = \overline{\mathbf{L}} \circ \mathbf{L} = \sum_{k=1}^4 \lambda_k^2,$$

а также обратного кватерниона

$$\mathbf{L}^{-1} = \frac{\overline{\mathbf{L}}}{\|\mathbf{L}\|}.$$

Если фазные переменные представить в Гамильтоновой форме (1) как

$$\mathbf{u} = u_a \circ \mathbf{q}_1 + u_b \circ \mathbf{q}_2 + u_c \circ \mathbf{q}_3, \quad \mathbf{i} = i_a \circ \mathbf{q}_1 + i_b \circ \mathbf{q}_2 + i_c \circ \mathbf{q}_3,$$

здесь  $u_a, u_b, u_c$  и  $i_a, i_b, i_c$  – мгновенные значения фазных напряжений и токов соответственно, то кватернион мгновенной мощности будет определяться как результат произведения

$$\mathbf{p} = \mathbf{u} \circ \mathbf{i} = \mathbf{scal} \mathbf{p} + \mathbf{vect} \mathbf{p},$$

который в соответствии с выше рассмотренными правилами произведения (2) имеет следующие составляющие:

- скалярная составляющая кватерниона мощности **scal p** :

$$p \circ 1 = -(u_a i_a + u_b i_b + u_c i_c) \circ 1;$$

- векторная составляющая  $\mathbf{vectp} = q_a \circ \mathbf{q}_1 + q_b \circ \mathbf{q}_2 + q_c \circ \mathbf{q}_3$ , в которой вещественные коэффициенты при мнимых единицах находятся как:

$$\begin{aligned} q_a &= (u_b i_c - u_c i_b), \\ q_b &= (u_c i_a - u_a i_c), \\ q_c &= (u_a i_b - u_b i_a). \end{aligned}$$

В этом случае алгоритм компенсации формируется при помощи обратного кватерниона напряжения  $\mathbf{u}^{-1}$  и кватерниона компенсируемой мгновенной неэффективной мощности

$$\mathbf{p}^* = -\tilde{p} \circ 1 - q_a \circ \mathbf{q}_1 - q_b \circ \mathbf{q}_2 - q_c \circ \mathbf{q}_3:$$

$$\mathbf{i}^* = \mathbf{u}^{-1} \circ \mathbf{p}^*, \quad (3)$$

где  $\tilde{p}$  – переменная составляющая скалярной части, отвечающая за влияние гармоник и несимметрии.

В соответствии с требованиями стабилизации напряжения звена постоянного тока АСФ  $u_{dc}$  на заданном уровне  $u_{dc}^*$ , полный алгоритм формирования компенсационных воздействий в гиперкомплексном пространстве принимает вид

$$\mathbf{i}^* = \mathbf{u}^{-1} \circ (\mathbf{p}^* + \Delta\bar{p}) \quad (4)$$

где  $\Delta\bar{p}$  – средняя за период  $T$  мощность активных потерь в силовых цепях АСФ, отвечающая за стабилизацию напряжения  $u_{dc}$  [3], который можно представить в виде функциональной схемы, изображенной на рисунке 1.

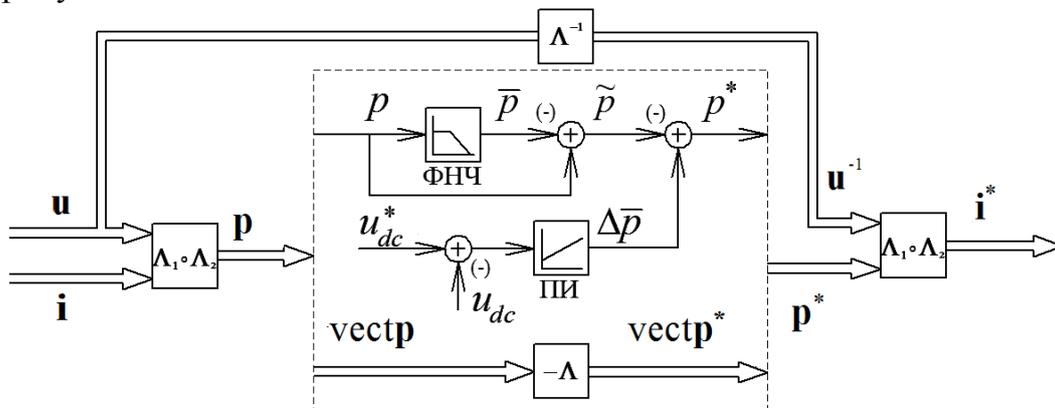


Рисунок 1 – Функциональная схема алгоритма формирования компенсационных воздействий с использованием кватернионов

На рисунке 1 используются следующие обозначения: ФНЧ – фильтр низких частот для выделения  $\tilde{p}$ ; ПИ – пропорционально-интегральный регулятор  $u_{dc}$ .

### 3 Результаты экспериментов

Исследование алгоритма управления с параметрами трехфазной нелинейной несимметричной нагрузки и активного силового фильтра, представленными на рисунке 2, производилось в программной среде “MatLab Simulink”. Исследовался активный силовой фильтр, работающий в режиме быстродействующего регулируемого источника тока, реализованного на базе контура регулирования скорости с частотой среза в разомкнутом состоянии 700 с-1. Как видно из рисунка 3 и рисунка 4, формы фазных токов до компенсации характерны для случая нелинейной нагрузки с коэффициентом гармоник 37.45%.

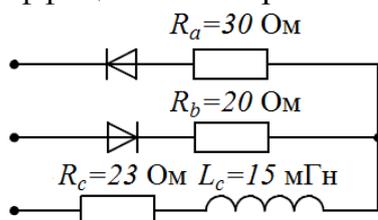


Рисунок 2 – Трехфазная несимметричная нелинейная нагрузка

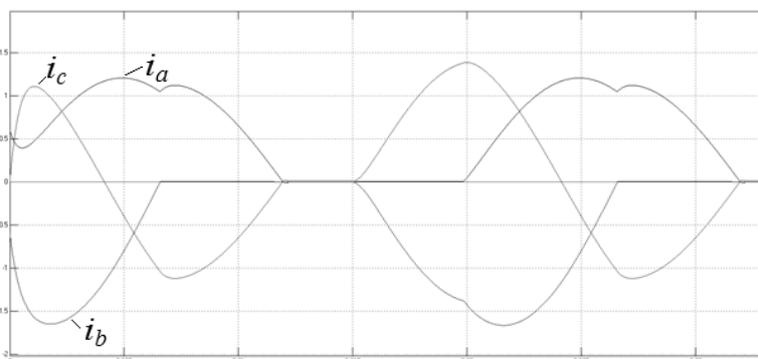


Рисунок 3 – Потребляемые токи до компенсации

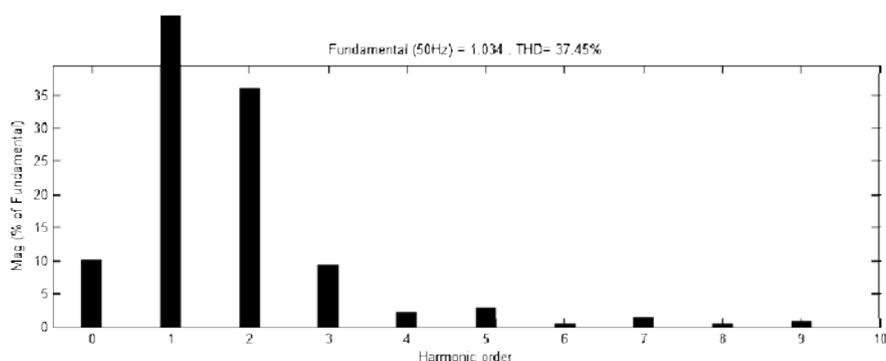


Рисунок 4 – Спектральный анализ тока фазы  $c$  до компенсации

После включения алгоритма компенсации кватерниона мгновенной неэффективной мощности фазные токи источника принимают вид представленный на рисунке 5 с соответствующим спектром гармоник для тока фазы  $c$  (рисунок 6).

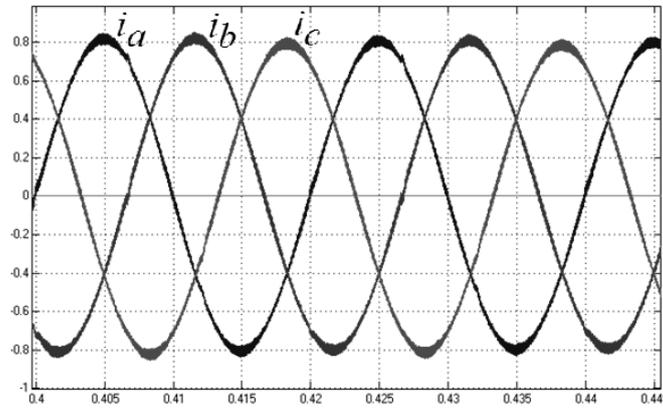


Рисунок 5 – Токи источника после компенсации

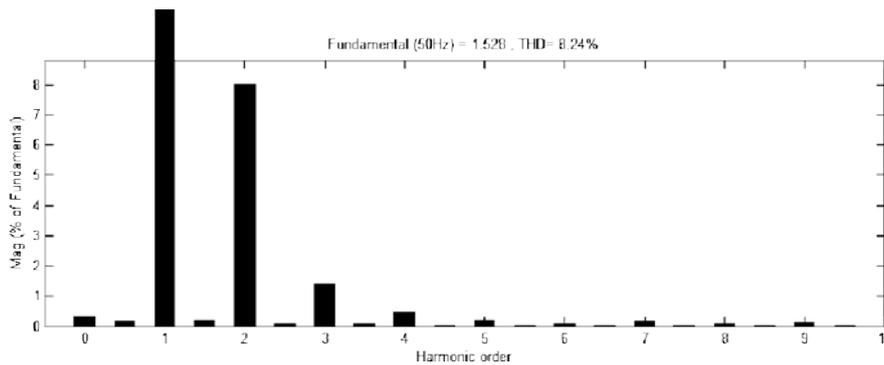


Рисунок 6 – Спектральный анализ тока фазы  $c$  после компенсации

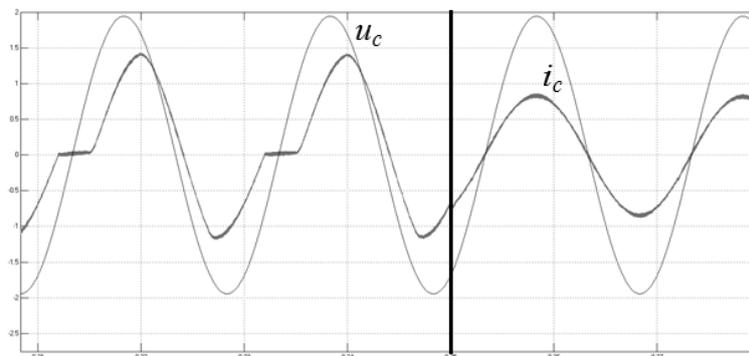


Рисунок 7 – Ток и напряжение фазы  $c$  до и после включения алгоритма компенсации

Как видно из представленных временных зависимостей, после включения в работу активного силового фильтра все три фазных тока

имеют одинаковую амплитуду со сдвигом  $120^\circ$ , а угол между напряжением и током практически равен  $0^\circ$ , что иллюстрирует рисунок 7, на котором начало процесса компенсации обозначено вертикальной линией. При этом также необходимо отметить, что коэффициент гармоник уменьшился с 37.45% до 8.24% (рисунок 6).

### **Заключение**

Как показывают результаты экспериментальных исследований [2], практическое применение АСФ позволят значительно улучшить форму потребляемых от сети токов и, как следствие, повысить энергоэффективность различных электротехнических комплексов и промышленных установок. При этом техническая реализация алгоритма управления вида (3) не требует наличия высокопроизводительных программно-аппаратных средств, что объясняется простотой структуры системы управления АСФ [2].

### **Список использованных источников:**

1. Нос, О. В. Анализ трехфазных систем компенсации мгновенной неэффективной мощности в кватернионном базисе / О. В. Нос, В. В. Панкратов // Изв. вузов. Электромеханика. – 2013. – №6. – С. 3–8.
2. Шалыгин, К. А. Активные силовые фильтры в задачах повышения качества электрической энергии / К. А. Шалыгин, О. В. Нос // Научный вестник НГТУ. – 2013. – №4 (53). – С. 191–202.
3. Нос, О. В. Алгоритм управления напряжением звена постоянного тока активного силового фильтра / О. В. Нос, В. В. Панкратов, К. А. Шалыгин // Электротехника. – 2013. – №12. – С. 36–40.
4. Akagi H., Kanazawa Y., Nabae A. Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components // IEEE Trans. IndApplicat, vol. 20, pp. 625-630, May/June, 1984.
5. Kim H.S., Akagi H. The instantaneous power theory on the rotating p-q-r reference frames. in Proc. IEEE/PEDS'99 Conf, Hong Kong, July, 1999. p.p. 422-427.

*Реквизиты для справок: 630073, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», механико-технологический факультет, кафедра «Проектирование технологических машин», аспирант Екатерина Юрьевна Малякко – e-mail: arteb@smc.nstu.ru, тел. +7(383)346-04-46.*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДО ОТПРАВКИ НА РЕМОНТ

Е. О. Мартко

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье приведены факторы, оказывающие негативное влияние на работу электрооборудования, в частности электродвигателя, и сформулирована проблемная ситуация, предложены пути ее решения. Внедрение методов математического моделирования на вероятностной основе позволит решить поставленные задачи. Основным результатом проведенного исследования является созданная математическая модель, позволяющая осуществить прогноз времени работы электродвигателя до отправки в ремонт. Приведены результаты апробации модели.*

*Ключевые слова: электродвигатель, факторы, математическая модель, прогнозирование, сопротивление изоляции, экспериментальные данные.*

В условиях ускоренного развития и модернизации сельскохозяйственного производства особенно остро встает вопрос: как в одну и ту же единицу времени выполнить бóльший объем работ, связанных с определением сроков проведения профилактических мероприятий, а также осуществить диагностику состояния электрооборудования (ЭО) в агропромышленном комплексе (АПК).

Президент России Владимир Владимирович Путин в ходе последней «прямой линии» с гражданами страны специально подчеркнул: «Как бы я ни любил армию, сельское хозяйство всегда было важнее, чем пушки: хлеб – всему голова. Мы как уделяли, так и будем уделять должное внимание развитию сельского хозяйства» (Деловая газета «Взгляд» от 17.04.2014). Эту же мысль подчеркивает в своем выступлении и премьер-министр Дмитрий Анатольевич Медведев. Он также считает, что сельское хозяйство за последние годы «превратилось в один из драйверов экономического развития нашей страны» (Деловая газета «Взгляд» от 22.04.2014).

В свете вышесказанного внедрение метода математического моделирования для определения дефектов электрооборудования, позволит интенсифицировать процессы восстановления сельского хозяйства

нашей страны. Под математическим моделированием подразумевается создание и исследование системы объектов путем построения и изучения их моделей на основе фонда собранных статистических данных. С помощью этих моделей создана модель, которая позволит прогнозировать время работы ЭД до отправки на ремонт с заранее заданной вероятностью.

В связи с тем, что в сельском хозяйстве значительно расширилась сфера применения электродвигателей (ЭД), в том числе асинхронных, особое внимание было уделено сбору и анализу статистических данных, касающихся превентивного определения их ремонтпригодности. На этой основе создана математическая модель, позволяющая упростить процесс диагностики ЭО. Особенностью использования ЭО в АПК является его эксплуатация в агрессивных средах: в пыльных помещениях сырых, особо сырых, особо сырых с химически активной средой, а так же в наружных установках. На надежность ЭО этих предприятий оказывает влияние также его эксплуатация и режимы работы, характерная особенность которых заключается в их сезонном использовании.

Ситуация, сложившаяся в настоящий момент, усугубляется следующими факторами:

- высокая изношенность основных производственных фондов ЭО;
- низкий уровень культуры обслуживания;
- недостаток или отсутствие современных устройств автоматического защитного отключения ЭО (УЗО);
- отсутствие качественной ремонтной базы;
- низкое качество ремонта;
- несвоевременное проведение профилактики ЭО;
- хранение и эксплуатация ЭО в закрытых, не отапливаемых помещениях или под навесом (около 90%), под открытым небом или в помещениях, только частично защищенных от воздействия окружающей среды (около 10%).

Стратегия развития сельского хозяйства призвана сформировать в АПК инфраструктуру инноваций, обеспечивающих целый ряд следующих приоритетов:

- стимулирование внедрения инновационных технологий, в частности математического моделирования;
- повышение энергоэффективности и энергосбережения вследствие экономии средств на диагностику и последующий ремонт ЭО;
- широкое тиражирование новых методов прогнозирования состояния ЭО, каковым является именно математическое моделирование.

Математический аппарат методов, необходимых для создания вероятностной математической модели технического состояния ЭД, уже были проанализированы и приведены в работах автора. Рассматривались методы оценки параметров функций распределения случайных величин: температуры, влажности, теплопроводности, режимов работы ЭД, долговечности, тока ЭД. Кроме того, выбран метод смешанного оценивания корреляционно-спектральных характеристик для определения данных, которые необходимы при аппроксимировании по методам Пирсона и Джонсона. При моделировании временных рядов применен метод анализа сингулярного спектра.

Поскольку описанные характеристики изменяются во времени и носят случайный характер, представляя собой временные ряды случайных чисел, основной задачей являлся выбор метода их прогнозирования с минимальной потерей достоверности полученных данных.

Аппроксимативные методы позволили найти подходящие аналитические выражения с неизвестными параметрами. Эти параметры полностью удовлетворяют поставленным задачам и описывают найденные экспериментальные результаты. Для таких характеристик как температура окружающей среды и влажность воздуха – в различных районах Алтайского края (для конкретных предприятий) получены статистические модели распределения. В качестве функций аппроксимации семейство распределений Пирсона использовалось для распределения температуры и влажности – бета-распределение.

Все эти характеристики имеют решение с помощью аппроксимации семейства распределений  $S_B$ -Джонсона. В качестве одной из баз данных в программное обеспечение заложены полученные результаты.

На изоляцию ЭД оказывают влияние нагрузка и режим его работы. В связи с тем, что они зависят от времени, т.е. имеют явный характер временного ряда, наилучшим является метод анализа сингулярного спектра.

В основу модели положены сопротивления, полученные в зависимости от показаний агрессивности среды (влажности, температуры), а также с учетом изменения параметров от времени и аналитических зависимостей. Общая функциональная зависимость (1):

$$R (T_{cl}, m, n, \varphi, C, R_0) = f (T_{cl} (t, \varphi)), \quad (1)$$

была получена следующим образом:

- срок службы ЭД выражается как  $T_{cl} = f (t, \varphi)$ ;
- в свою очередь, относительная влажность определяется как  $\varphi = f (C_0, \phi)$ ;

– сопротивление изоляции –  $R_0 = f(\alpha, t_{\text{экспл}})$ , где  $t_{\text{экспл}}^0 = f(t_{\text{о.с.}}^0, \tau_y)$ ;

– температура окружающей среды является средней годовой температурой  $t_{\text{о.с.}}^0 = T^0$ , зависимость которой такова:  $T^0 = f(\bar{T}^0, \psi)$ ;

– функции  $\psi(t)$  и  $\phi(t)$ , параметры  $m, n, C$  являются постоянными справочными данными.

Таким образом, можно записать общую функциональную зависимость:

$$R \left[ f(t, f(C_0, \phi)), m, n, f(C_0, \phi), C, f(\alpha, f(f(\bar{T}^0, \psi), \tau_y)) \right] = f(T_{\text{ср}}(t, \varphi))$$

Для получения частного вида модели (1) на основании вышеописанной цепочки зависимостей произведен ряд необходимых подстановок, вследствие чего получена математическая модели, которая имеет вид (2):

$$R = R_{20} \left[ 1 + \alpha \left( A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) + \psi(t) + \tau_y \right) \right] \cdot \exp \left( -t \cdot \left[ A \cdot \exp \left( E_a \cdot C^{-m} \cdot \left( C_0 + \sum_{j=1}^n (C_j \cos \omega_j t + D_j \sin \omega_j t) + \phi(t) \right)^{-n} \cdot \left[ R_2 \cdot \left( A_0 + \sum_{i=1}^n (A_i \cos \omega_i t + B_i \sin \omega_i t) + \psi(t) \right) \right]^{-1} \right] \right)^{-1} \right], \quad (2)$$

где  $R_{20}$  – начальное сопротивление изоляции ЭД, замеренное непосредственно перед вводом в эксплуатацию ЭД при температуре 20°C;

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления;

$A_0$  – коэффициент, численно равный математическому ожиданию средней годовой температуры, °C;

$A_i, B_i$  – амплитуды колебаний математического ожидания температуры, соответствующие частоте  $\omega_i$ ;

$\psi(t)$  – случайная составляющая температуры, соответствующая времени  $t$ , °C;

$\tau_y$  – установившееся превышение температуры;

$C$  – концентрация агрессивного агента, г/м<sup>3</sup> или %;

$A, m, n$  – постоянные коэффициенты, зависящие от природы материала и условий применения;

$E_a$  – эффективная энергия активации процесса, вызывающего отказ, определяемая для конкретного материала, Дж/моль;

$R_2 = 8,32$  Дж/град·моль – универсальная газовая постоянная;

$C_0$  – коэффициент, численно равный математическому ожиданию средней годовой относительной влажности, %;

$C_j, D_j$  – амплитуды колебаний математического ожидания влажности, соответствующие частоте  $\omega_j$ ;

$\phi(t)$  – случайная составляющая относительной влажности, соответствующая времени  $t - ^\circ C$ .

Для проверки разработанной математической модели (2) и на основании экспериментальных данных построены зависимости  $R(t)$ , изображенные на рисунке 1.

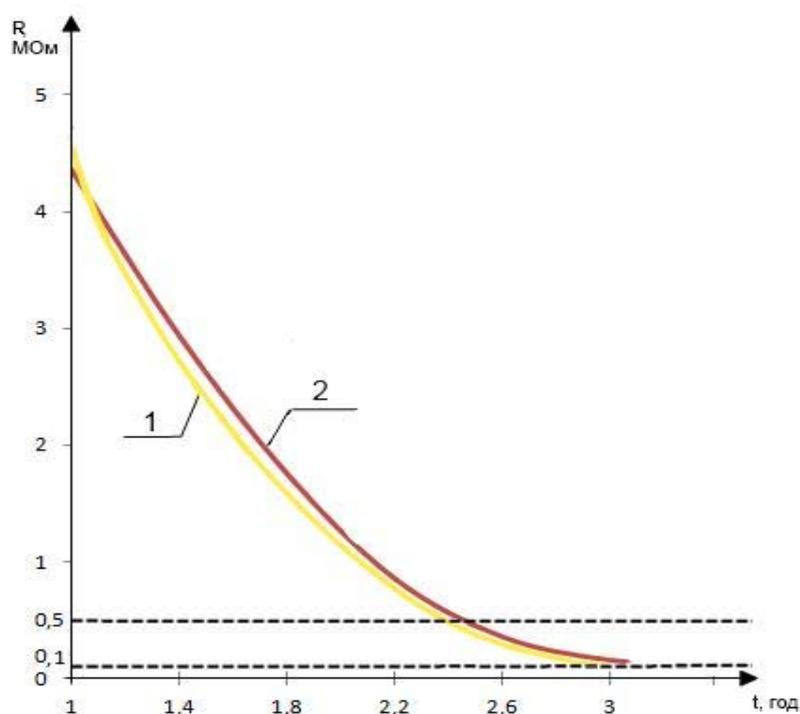


Рисунок 1 – Зависимости сопротивления изоляции ЭД

График 1 – экспериментальная зависимость сопротивления изоляции обмоток ЭД от времени его работы для двигателей мощностью 5,5кВт. График 2 – зависимость сопротивления изоляции обмоток ЭД от времени его работы, построенная по полученной математической модели (2).

Расчеты относительной погрешности расхождения между экспериментальной и полученной на основе математической модели зависимостями на рисунке 2 приведены в таблице 1, по которой построен график на рисунке 2.

Таблица 1 – Относительная погрешность расхождения зависимостей

<b><math>\epsilon_{12}</math></b>
0,06
0,04
0,04
0,10
0,06
0,08
0,13
0,10
0,10
0,10
<b>Средняя относительная погрешность расхождения</b>
<b>0,08</b>

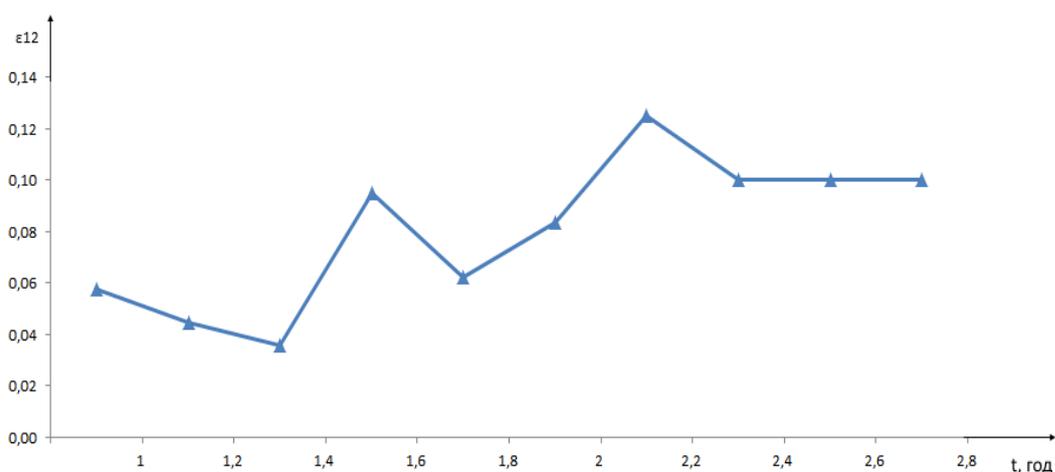


Рисунок 2 – Относительная погрешность 1 и 2 зависимостей

Рисунок 2 и таблица 2 наглядно демонстрирует величину относительной погрешности между графиками экспериментально полученной зависимости и зависимостей, полученных путем математического моделирования. Средняя величина относительной погрешности расхождения кривой 2 по (2) относительно 1 (экспериментальные данные) составляет 8%, что находится в допустимом диапазоне и позволяет считать модель точной, следовательно, позволяет прогнозировать время ЭД до отправки на ремонт.

Таким образом, аппроксимативные методы позволили найти подходящие аналитические выражения с неизвестными параметрами, удовлетворяющими поставленным задачам. С помощью математиче-

ских аппаратов данных методов создана модель, которая позволит прогнозировать время работы ЭД до отправки на ремонт с заранее заданной вероятностью. Внедрение разработанной математической модели позволит повысить эксплуатационную надежность ЭД и спрогнозировать оставшееся время его работы до отправки в ремонт. В ходе испытаний установлено, что предложенный вероятностный подход для определения выходных параметров является универсальным для любых типов ЭД.

#### **Список использованных источников:**

1. Калачев, Ю. Н. Управляемый асинхронный электропривод [Текст] / Ю. Н. Калачев [Электронный ресурс]. – Заглавие с экрана. Режим доступа : [http://www.privod.ru/stat\\_kalchev.htm](http://www.privod.ru/stat_kalchev.htm).

2. Соркин, М. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы [Текст] / М. Соркин // Журнал «Новости Электротехники» №2(32) 2005 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/32/12.php>. – Заглавие с экрана.

3. Гольдберг, О. Д. Теоретическая и экспериментальная разработка методов расчета показателей надежности, ускоренных испытаний и контроля качества асинхронных двигателей : дис.... доктора технических наук / О. Д. Гольдберг. – Всесоюз. заочный политехн. ин-т. – 1971 . – 292 с.

4. Мартко, Е. О. Моделирование электрической нагрузки методом сингулярного спектрального анализа [Текст] // Ползуновский вестник. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – № 4. – С. 86 – 96.

5. Мартко, Е. О. Вероятностный анализ факторов, влияющих на изоляцию электродвигателей [Текст] // Ползуновский вестник. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – № 2/1. – С. 147-153.

6. Мартко, Е. О. Модели надежности и технического состояния изоляции электродвигателей, используемые для прогнозирования выхода их из строя [Текст] // Ползуновский вестник. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – №4/2. – С. 138-142.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7 (385-2) 29-07-76, старший преподаватель, Екатерина Олеговна Мартко, e-mail: martnight@mail.ru.*

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ БЕЗУЧЕТНОГО  
ПОТРЕБЛЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АСКУЭ  
С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИМЕНЕЕ ЗАТРАТНЫХ  
СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ХИЩЕНИЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И  
БОЛЕЕ ТОЧНОГО ФОРМИРОВАНИЯ БАЛАНСОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

А. М. Мельников

Россия, Алтайский край, с. Алексеевка

Филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго»

*В статье рассмотрены способы выявления хищений, проведен анализ технических и экономических показателей различных систем АСКУЭ, рассмотрены пути сокращения издержек при транспорте и учете электроэнергии, и предложена перспективная модель развития учета электроэнергии.*

*Ключевые слова: сокращение издержек, анализ технических и экономических показателей, способы выявления хищений, перспективная модель развития.*

Хищения электроэнергии в сетях наносят экономический ущерб который в некоторых регионах страны достиг миллиардных значений и привлек внимание президента РФ. Выявить факты энергохищения становится все тяжелее, так как способы становятся все изощреннее. На практике хороший результат показывает работа с измерительной штангой (е 115 ш, аист). Производятся ночные либо дневные замеры на отходящих от КТП ВЛ 0.4. Ночью с 00 до 4 часов, днем с 9 до 12. Этот способ позволяет точно локализовать абонентов с большой нагрузкой. И проанализировав данные замера с его оплатой и среднемесячным потреблением, произвести адресные тщательные осмотры и инструментальные проверки. Конечно же многое зависит от профессионализма и степени подготовки персонала УТЭЭ. Не все способны выявить хищение даже при адресных проверках, поэтому для проведения рейдов должен быть выбран и обучен персонал, который имеет высокие навыки отыскания хищений электроэнергии. Данный способ позволяет точно, не распыляя материально-технические и людские ресурсы, выявить и пресечь воровство. Нецелесообразно закрывать всю улицу выносными приборами учета, если на ней 1-2 абонента являются проблемными. К тому же после выявления хищения и состав-

ления акта безучетного потребления электроэнергии вручается предписание на вынос щита учета за счет собственника. В случае несогласия дом отключается с опоры со снятием перекидки ( статья 115, пункт В , ПП РФ № 354 ).

Конечно же, АСКУЭ может помочь в этом вопросе, не являясь, к сожалению, панацеей.

В настоящее время, для обеспечения съема показаний с электрических счетчиков и проверок систем учета, у абонента выполняется ряд технических мероприятий, перечень и порядок которых регламентируется законодательными актами ( ПП РФ № 442, ПП РФ № 354) и договором между сетевой компанией и гарантирующим поставщиком. По факту РЭСы ежемесячно пытаются совершить как можно больше обходов для съема показаний у абонента. Для этого максимально используется человеческий ресурс. Для доставки персонала в отдаленные населенные пункты ежемесячно расходуется большое количество ГСМ, а так же сами транспортные средства вырабатывая ресурс, требуют ремонта. Однако изменившиеся экономические условия ставят под сомнение эффективность выполнения мероприятий, регламентируемых этой системой. Внедрение систем АСКУЭ решает эту проблему блестяще, тут и снятие показаний с заданным интервалом (хоть 4 раза в сутки, хоть 24), и применение тарифных зон, и токовые пики, и профиль мощности.

Ограничение мощности, отключение и подключение абонента по заявке гарантирующего поставщика-так же могут быть реализованы в АСКУЭ ( реализуется аппаратно, т.е. зависит от модели счетчика).

Конечно на первых этапах развития АСКУЭ в России и странах СНГ выявлено много «подводных камней». Большое количество скруток на ВЛ и большая ее протяженность, отрицательно влияли на качество связи, в результате сводя на нет все достоинства АСКУЭ.

Данная проблематика решена с внедрением в производство PLC модемов и УСПД второго поколения. Оно позволит разнести счетчик от счетчика на 300 метров и собрать 15 счетчиков на линию без дополнительного УСПД. Теперь данная система возможна к применению не только на новых линиях, но и на протяженных сельских ВЛ 0,4.

Цена внедрения АСКУЭ немаленькая, и пока ее внедряют на линиях с очень большими потерями. И технические потери порой оказываются ниже расчетных. А экономические стремятся к нулю, ведь хищения становятся почти невозможными.

Остается два вопроса. Кто и когда оплатит внедрение АСКУЭ повсеместно? И какую же систему выбрать?

В настоящее время на просторах нашей необъятной Родины, конкурируя между собой, развивается более десятка различных АСКУЭ (матрица, аист, микрон, и др.). Конечно на начальном этапе конкуренция заставляла совершенствовать техническую часть вопроса. Производители вложили немало средств в НИОКР и разработку программного обеспечения. Возможно, этим объясняются, заоблачные цены на оборудование и внедрение. Иначе как объяснить разницу в цене на УСПД Матрица и Энергомера (40 000 на три фазы и 6 000 на каждую, т.е. 18000 за аналог) при приблизительно равнозначных ценах на счетчики. К тому же разница в ценах у различных поставщиков на один и тот же счетчик Энергомера 203.2т LBO существенна- от 2700 до 9200.

Лично для меня, неясно: почему трехфазный счетчик энергомера стоит 1500-2500, а с GPRS модемом стоит 14000. Это модем стоимостью от 0,5 до 2 американских долларов или инсталляция его в счетчик привела к такому удорожанию? Зачем счетчик комплектуется сразу двумя модемами, RS-485/ PLC и портом (оптическим или IR-порт) Ведь это удорожает само изделие.

Анализируя имеющуюся информацию пришел к следующим выводам:

- экономическая целесообразность – использование систем АСКУЭ сомнений не вызывает, поскольку Сетевые организации и гарантирующие поставщики заинтересованы в сокращении затрат на транспортировку и учет электроэнергии, а так же в обеспечении максимально быстрой и гибкой системы( многотарифный учет, отключение и подключение за неуплату) .

- обученный персонал -- так как есть решения в АСКУЭ где для функционирования не требуется привязка счетчика, и монтаж прибора учета ничем не отличается от монтажа простого счетчика.

- приборная база разнообразна, но она подходит только для своей АСКУЭ и неспособна интегрироваться в другую АСКУЭ.

- в программное обеспечение различных АСКУЭ не заложена функция взаимодействия с «чуждыми» АСКУЭ

- производители АСКУЭ предлагают комплексное решение и продают свою систему и кооперироваться для создания лучшей не спешат

Выводы неутешительны, так как, несмотря на все прелести АСКУЭ, ее внедрение в России откладывается на необозримое будущее из чисто экономических соображений. Высокая стоимость не позволяет ее внедрять повсеместно, так как в сетях с небольшой загруженностью срок окупаемости больше срока эксплуатации. Высокая стоимость оборудования при ремонтах увеличивает и без того нема-

ленький срок окупаемости проектов внедрения. Увы, вечного не бывает, и сгорают матрицы так же, как и обычные счетчики.

Решение из создавшейся дилеммы есть. Сетевым компаниям и гарантирующим поставщикам достаточно выдать техническое задание на счетчик недалекого будущего. И принимать через пять лет в качестве расчетного только такие. Так через 16-20 лет повсеместно будет реализована АСКУЭ. При этом производители выпуская один и тот же товар начнут конкурировать в цене. Затраты на сами счетчики, как основной элемент АСКУЭ, лягут на плечи потребителя (честный потребитель будет только в плюсе-практика показывает, двухтарифный счетчик окупает себя за год). Сетевой компании останется вложить средства в УСПД и центры обработки информации.

Так же необходимо поступить и с УСПД и ПО, АСКУЭ должна быть едина и не конфликтовать, несмотря на производителя счетчиков и УСПД.

Что же требуется от счетчика будущего?

1. GSM/GPRS (объем передаваемых данных мизерный, нет необходимости в дорогих и скоростных) или PLC не менее второго поколения. Совмещение возможно лишь при незначительном удорожании.

2. Для съема данных с не перезаписываемой памяти в случае отказа счетчика проводным способом. Только под клемной крышкой. Желательно распространенным разъемом USB/microUSB..

3. ЖК дисплей, так как многотарифному счетчику без него не обойтись

4. Датчики магнитного поля, вскрытия крышки счетчика и клемной крышки.

5. Реле включения\отключения потребителя.

Если же данное решение будет реализовано на одной плате и поставлено на поток, то цена будет ничем не отличаться от нынешних счетчиков. Примером могут служить компьютеры собираемые на одной печатной плате стоимостью 20 долларов. Планшеты за 30 долларов. Или схемы управления беспилотников, где все датчики смонтированы на маленькой печатной плате, и в массовом производстве появились недорогие модели квадрокоптеров, детские игрушки с недетскими возможностями.

Несмотря на разделение РАО ЕЭС России, на множество филиалов МРСК и ЭнергоСбыта основные собственники не поменялись и для улучшения эффективности обеих структурных подразделений им надо проявить твердую волю и совместно пролоббировать свои интересы. Считаю что без внесения изменений в постановления правительства №442, №354, данная модель может оказаться нежизнеспособной.

Юридические аспекты УТЭЭ настолько проблематичны, что заслуживают отдельного изыскания.

**Список использованных источников:**

1. Постановление Правительства РФ №354 «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (вместе с «Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов») от 6 мая 2011 г. (в ред. от 24.09.2014) [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Москва., 2014. – Режим доступа: [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/).

*Реквизиты для справок: 659666, Россия, Алтайский край, Петропавловский район, село Алексеевка, ул. Целинная, 22 , филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго», Петропавловский район электрических сетей, производственное отделение Белокурихинские электрические сети, начальник участка транспорта электроэнергетики, Александр Михайлович Мельников, e-mail: [sceen@yandex.ru](mailto:sceen@yandex.ru)*

## ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ОТ ИНТЕГРАЛА ДЖОУЛЯ

В. И. Минаев, И. В. Белицын  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена зависимость сопротивления заземляющего устройства от протекания тока короткого замыкания. Приведены экспериментальные данные, зависимости, выводы.*

*Ключевые слова: сопротивление заземляющего устройства, ток короткого замыкания, интеграл Джоуля, климатические условия.*

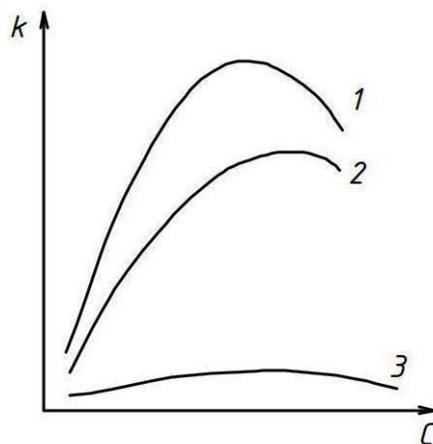
Изучение зависимости сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) от протекания тока короткого замыкания (ТКЗ) связано с электробезопасностью и защитой человека от поражения электрическим током. Заземляющие устройства (ЗУ) - это простое и эффективное средство обеспечения электробезопасности людей и животных. Способность заземляющего устройства обеспечивать электробезопасность обусловила его широкое распространение и применение.

Обеспечение правильной и надежной работы ЗУ связано с разработкой и внедрением с одной стороны эффективных средств его диагностики, контроля и измерения его параметров, с другой, теоретических основ зависимости сопротивления ЗУ от различных факторов, в частности, протекания ТКЗ, величины интеграла Джоуля.

Человек чаще всего сталкивается с «бытовым» напряжением, величина которого 220-380 В. Сети такого напряжения согласно правилам устройства электроустановок относятся к электроустановкам напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью (ГЗН), сопротивление ЗУ для которых должно быть не более 4 Ом [2,3].

На сопротивление ЗУ в процессе эксплуатации влияет множество факторов: коррозионное воздействие среды, материал, из которого изготовлены заземлители, качество монтажа, сопротивление земли (грунта), в которой располагается ЗУ. Сопротивление ЗУ значительно зависит от электрического сопротивления среды, в которой он находится, Климатические условия оказывают воздействие на изменения таких параметров земли как влажность и температура.

Грунт, содержащий влагу, является электролитом. Величина удельной электропроводности электролита зависит от ряда факторов: природы электролита, температуры, концентрации. Зависимость удельной электропроводности от концентрации раствора представлена на рисунке 1.



1 – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 2 – KOH; 3 – CH<sub>3</sub>COOH

Рисунок 1 - Зависимость удельной электропроводности электролитов от концентрации

Как видно из рисунка, с увеличением концентрации удельная электропроводность растворов сначала возрастает, достигая некоторого максимального значения, затем начинает уменьшаться. Эта зависимость очень чётко выражена для сильных электролитов и значительно хуже для слабых. Наличие максимума на кривых объясняется тем, что в разбавленных растворах сильных электролитов скорость движения ионов мало зависит от концентрации, и к сначала растёт почти прямо пропорционально числу ионов; с ростом концентрации усиливается взаимодействие ионов, что уменьшает скорость их движения.

С увеличением влажности почвы увеличивается концентрация электролита в почве. Известно, что влажность грунта очень сильно влияет на скорость почвенной коррозии, превращая почву в электролит [6].

Максимальная скорость почвенной коррозии наблюдается при влажности грунта 15 – 25%. Это объясняется уменьшением омического сопротивления коррозионных элементов. Это позволяет предположить, что именно при этих значениях влажности омического сопротивление грунта будет минимальным, и, следовательно, электролиты почвы - сильные электролиты.

Но не только климатические условия способны изменять эти параметры, но и протекание тока КЗ по ЗУ, проходя через которое, вызывает его нагрев (интеграл Джоуля). Изменения содержания влаги и изменения температуры грунта существенно влияют на его сопротив-

ление. Грунты любого рода в абсолютно сухом состоянии обладают большим удельным сопротивлением, и, следовательно, практически не проводят электрический ток. Если же грунт увлажнить, то сопротивление его уменьшится в десятки, а то и сотни раз. Но, превышение влаги в грунте более, чем на 80 % увеличивает его сопротивление. Удельная электропроводность растворов электролитов с увеличением температуры возрастает, что вызвано увеличением скорости движения ионов за счет понижения вязкости раствора и уменьшения сольватированности ионов. Поэтому грунты обладают отрицательным температурным коэффициентом сопротивления: с ростом температуры его удельное сопротивление уменьшается. Эта закономерность сохраняется пока влага не начнет испаряться, что сопровождается резким увеличением сопротивления [5]. Протекание ТКЗ изменит температуру и содержание влаги в области переходного контактного сопротивления «Заземлитель - проводник» и в области прилегающего около заземлителей объема грунта. Все это приведет к изменению параметров ЗУ и поставит под вопрос электробезопасность людей.

Для изучения влияния протекания ТКЗ на сопротивление ЗУ был спроектирован, смонтирован и проверен контур ЗУ для частного дома по адресу: г. Барнаул, ул. Полярная, д. 38. Использовались поверенные приборы: ИС-10, MRU-101, MZC-200. Данный контур ЗУ был сделан для максимальной чистоты проведения экспериментов и исследований [1,4,5]. Сопротивление ЗУ составило 2,92 Ом, что не нарушило норму 4 Ом [2,3]. Схема проведения эксперимента изображена на рисунке 2.

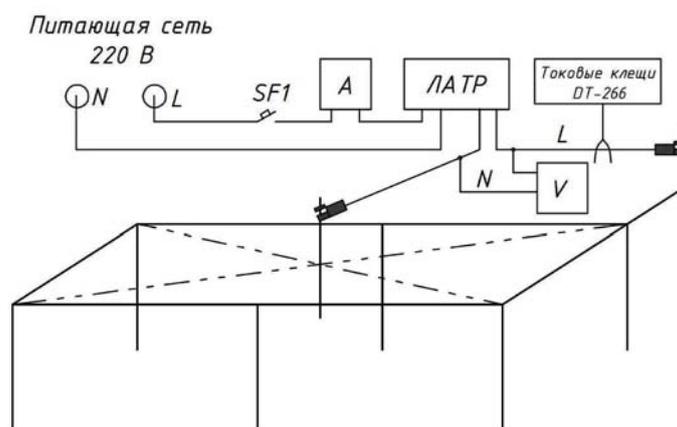


Рисунок 2 – Схема проведения эксперимента

Создавалось реальное КЗ на контур ЗУ, используя ЛАТР (лабораторный автотрансформатор), подключенный к сети 220 В через автоматический выключатель (SF1). Ток, напряжения в схеме контролировались мультиметрами: М-890 (А), измерялся ток I<sub>п</sub>; токовыми клещами

ми DT-266 измерялся ток  $I_2$ ; напряжение, подаваемое на контур заземления  $U_{вых}$ , контролировался вольтметром DT-832 (V). Фазный провод вторичной цепи подключался к выводу ЗУ, нулевой - к электроду, установленного в грунт в центре ЗУ.

Проведение опыта. После сборки схемы, включением автоматического выключателя SF1, создавалось КЗ на контур. Через 3 с выключался SF1. Сразу после отключения проводились измерения сопротивления ЗУ прибором MRU-101 (согласно его инструкции).

Через 15 с прибором MRU-101 вновь измерялось сопротивление ЗУ для того, чтобы убедиться в восстановлении его сопротивления. С увеличением времени протекания ТКЗ интервал между опытами увеличивался.

Результаты опыта приведены в таблице 2 и на графике, изображенном на рисунке 3.

Таблица 2 - Результаты опыта протекания ТКЗ величиной 7,4 – 7,8 А с разным временем его действия

№ опыта	Время протекания тока КЗ, с	$U_{вых}$ , В	$I_1$ , А	$I_2$ , А	Значение интеграла Джоуля, $V_k \cdot 10^3$ , $A^2 \cdot c$	$R_{ЗУ}$ , Ом
1	3	31,00	1,32	7,40	0,16	2,82
2	6	30,70	1,32	7,50	0,34	2,81
3	20	29,70	1,32	7,60	1,16	2,81
4	40	30,70	1,33	7,80	2,43	2,80
5	60	30,20	1,32	7,60	3,47	2,81
6	120	30,60	1,35	7,80	7,30	2,81
7	180	30,10	1,35	7,60	10,40	2,81

В предшествующие дни до проведения опытов в г. Барнауле шли дожди, влажность почвы сильно увеличилась, поэтому после протекания ТКЗ по контуру происходило некоторое снижение сопротивления ЗУ [5].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что малые значения интеграла Джоуля при данных климатических условиях не оказывают существенного влияния на сопротивление ЗУ, что может привести к нарушению нормированных параметров ЗУ и представлять опасность для человека.

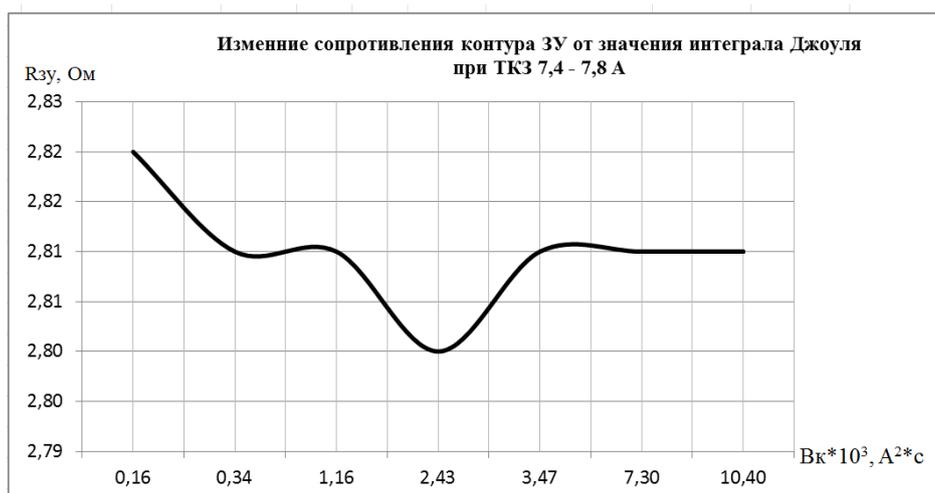


Рисунок 3 – Зависимость сопротивления ЗУ от интеграла Джоуля

Вторая серия опытов проводилась с протеканием больших ТКЗ, значения которых указаны в таблице 3 и на графике, изображенном на рисунке 3. Схема эксперимента изображена на рисунке 1.

Таблица 3 - Результаты опытов протекания ТКЗ величиной 64,1 – 67,9 А с разным временем его действия

№ опы-та	Время про-тека-ния тока КЗ, с	U, В	Iкз, А	Значения Rзу до протекания ТКЗ по контуру ЗУ и через указанное время и после отключения КЗ, с											Значе-ние интегра-ла Джоуля, Вк*1000 , А²*с	
				0	5	10	30	60	120	180	240	300	360	1200		
1	3	195	65,1	2,90	2,90	2,89	2,89	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	12,71
2	5	202	64,2	2,90	2,85	2,86	2,86	2,88	2,88	2,91	2,91	2,91	2,90	2,90	2,90	20,61
3	10	208	65,4	2,90	2,86	2,85	2,86	2,86	2,88	2,89	2,88	2,89	2,90	2,90	2,90	42,77
4	20	200	64,9	2,90	2,81	2,81	2,82	2,83	2,87	2,84	2,88	2,86	2,89	2,90	2,90	84,24
5	30	199	64,1	2,90	2,80	2,79	2,80	2,79	2,84	2,85	2,87	2,88	2,87	2,87	2,87	123,26
6	60	197	64,8	2,87	2,75	2,76	2,77	2,78	2,80	2,81	2,83	2,84	2,85	2,90	2,90	251,94
7	120	197	65,7	2,90	2,75	2,75	2,76	2,75	2,76	2,81	2,84	2,85	2,84	2,90	2,90	517,98
8	300	200	67,9	2,90	2,70	2,71	2,73	2,75	2,75	2,77	2,78	2,79	2,80	2,90	2,90	1383,12

Зависимость изменения значения сопротивления контура ЗУ от величины интеграла Джоуля до и после протекания по нему ТКЗ

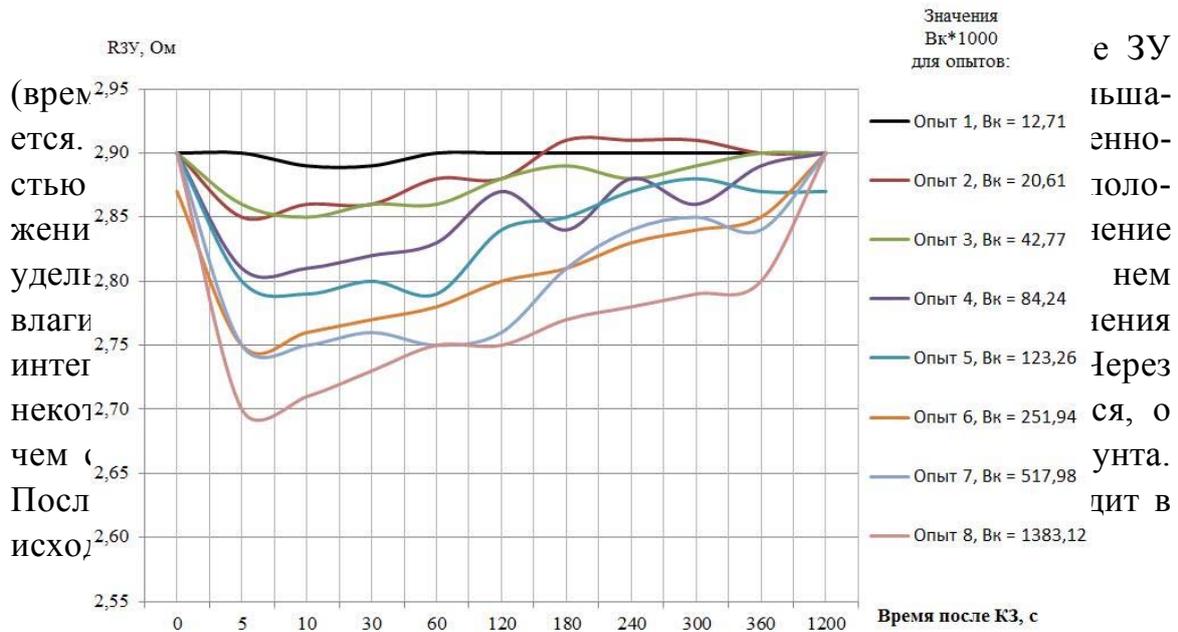


Рисунок 4 – Зависимость сопротивления ЗУ от интеграла Джоуля при ТКЗ 64,1 – 67,9 А с разным временем его действия

Из проведенной работы были сделаны выводы:

- выявлено, что электролиты почвы должны иметь минимальное удельное сопротивление при влажности грунта 15 – 25%;

- малые значения интеграла Джоуля при данных климатических условиях не оказывают существенного влияния на сопротивление ЗУ, что может привести к нарушению нормированных параметров ЗУ и представлять опасность для человека;

- значительное увеличение величины интеграла Джоуля при коротком замыкании на контур ЗУ влечет за собой большее изменение ( $\Delta z$  – 0,25%; 5, 10 с – 1,29%; 20, 30 с – 2,63%; 60, 120 с – 3,6%; 300 с – 5,4%;) сопротивления ЗУ в первые 5-10 с после устранения короткого замыкания при текущих климатических условиях.

Исходя из вышеизложенного, необходимо продолжить дальнейшие эксперименты в направлении изучения влияния интеграла Джоуля на сопротивление заземляющего устройства, его параметры с различными климатическими условиями.

#### Список использованных источников:

1. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок [Текст] : РД 153-34.0-20.525-00 : утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политике РАО

«ЕЭС России» 07.05.2000 : ввод. в действие с 01.09.2000. – М. : СПО ОРГРЭС, 2000. – 65 с. : ил.

2. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Текст] : РД 34.45-51.300-97 : утв. Начальником Департамента науки и техники РАО «ЕЭС России» 08.05.1997 : ввод. в действие с 08.05.1997. – М. : НЦ ЭНАС, 1998. – 256 с.

3. Правила устройства электроустановок [Текст] : 7 изд. : утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 08.07.2002 : ввод. в действие с 01.01.2003. – М. : НЦ ЭНАС, 2002. – 461 с.

4. Минаев, В. И. Заземляющие устройства электроустановок и измерение их параметров [Текст]: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Монтаж и эксплуатация систем электроснабжения» для студентов всех форм обучения направления 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» / В. И. Минаев, А. А. Грибанов / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – 23 с.

5. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках [Текст]: учебное пособие для вузов : / П. А. Долин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 448 с. : ил.

6. Жук, Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов [Текст] : учебное пособие для вузов / Н. П. Жук. – М. : Металлургия, 1976. – 472 с. : ил.

***Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7(385-2)29-07-76, e-mail: [erp@mail.altstu.ru](mailto:erp@mail.altstu.ru), магистрант Владимир Игоревич Минаев; к.п.н., доцент Игорь Владимирович Белицын.*

## **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОВТОРНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НА ВЛЭП НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ**

К. В. Михальцов, Р. П. Лымарев, А. Н. Попов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена диагностика состояния повторного заземления на ЛЭП 0,4 кВ. Дано описание рассматриваемого способа диагностики и его сравнение с существующими. Приведена блок-схема основных элементов устройства для контроля повторного заземления.*

*Ключевые слова: повторное заземление, заземление, ЛЭП 0,4 кВ, безопасность в электроустановках.*

В настоящее время электроснабжающие организации несут ответственность за безопасность эксплуатации ЛЭП вблизи охранной зоны. Распределительные сети 0,4 кВ являются особо опасными, т.к. практически повсеместно используются при электроснабжении частных домов и находятся в непосредственной близости от гражданского населения. В свою очередь повторное заземление является одним из элементов, который обеспечивает безопасность эксплуатации электротехнических установок. Вследствие этого остро стоит проблема контроля цепей повторного заземления в процессе эксплуатации.

В соответствии с [3] (пункты 1.7.102 и 1.7.103) на концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника.

В процессе эксплуатации в результате коррозии и под действием токов короткого замыкания на землю заземлители приходят в негодность. Под действие грозových разрядов и токов замыкания на землю грунт вблизи заземлителей высыхает, в результате чего увеличивается сопротивление грунта и заземляющего устройства. Постепенно разрушается заземляющая проводка, изменяется её схема [2].

Следовательно, в процессе эксплуатации заземляющего устройства необходимо периодически контролировать его техническое состояние. Контроль состояния заземляющего устройства осуществляется путём всесторонних испытаний.

Испытания заземляющего устройства – это комплексная работа, включающая внешний осмотр наружной и подземной его частей, измерение сопротивления отдельных элементов и др.

Объем и программа испытаний определяются режимом сети, к которой присоединена защищаемая электроустановка, и назначением заземляющего устройства. Испытания должны проводиться в полном объёме и по правильно выбранной методике, в противном случае можно прийти к ошибочным выводам [3].

Для измерения сопротивления заземления применяют приборы, использующие один из следующих методов:

- метод амперметра-вольтметра;
- компенсационный метод;
- мостовой метод.

вкратце рассмотрим принцип действия каждого метода, его плюсы и недостатки.

Метод амперметра-вольтметра основан на использовании известного из курса электротехники закона Ома. Что бы определить сопротивление заземлителя, надо пропустить через него определённый ток и измерить падение напряжения на участке растекания. После произвести расчёт по формуле на основании закона Ома.

Питание схемы постоянным током недопустимо, так как при этом у электродов в земле будут накапливаться ионы, имеющие знак, противоположный полярности электрода (это явление называется гальванической поляризацией), и образуется противо-э.д.с. В результате у электродов произойдёт местное повышение падения напряжения.

Основными недостатками метода амперметра-вольтметра являются: необходимость пользоваться одновременно двумя измерительными приборами; необходим источник питания; для получения точных результатов расчётов необходимо использование больших токов, что может быть не безопасным.

При измерении компенсационным методом, помимо основной цепи тока в земле, создаётся ещё другая цепь – на специальном калиброванном сопротивлении. При этом схема выполнена так, что по калиброванному сопротивлению протекает такой же ток, как в земле. Изменение величины калиброванного сопротивления можно добить-

ся такого положения, что падение напряжения на этом заранее известном калиброванном сопротивлении будет таким же, как и на участке растекания тока в земле.

В свою очередь индикатором может служить телефонная трубка. Необходимо добиться отсутствия шумов, только в этом случае сопротивления заземлителя и калиброванного сопротивления полностью равны. Однако на практике полностью сбалансировать схему невозможно, так как токи в заземлителе и эталонном сопротивлении не совпадают по фазе. Поэтому либо настраиваются на минимальную слышимость в телефонной трубке, что является наиболее точным значением сопротивления, либо используют специальные дополнительные устройства для компенсации углового сдвига.

Основными недостатками данного метода являются: необходимость использования источника питания; необходимость создания дополнительной электрической цепи для эталонного сопротивления.

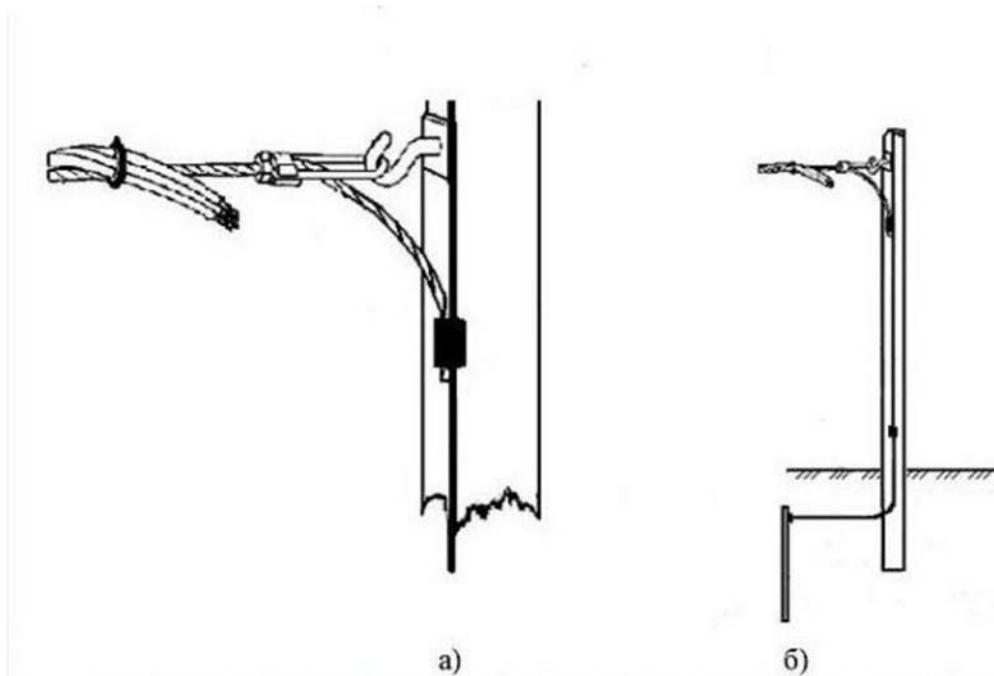
Мостовой метод для целей измерения использует линейный мост переменного тока. Необходимо произвести три измерения: цепь заземлитель-вспомогательный электрод, цепь заземлитель-зонд и цепь зонд-вспомогательный электрод. Следовательно, первое измерение даёт сумму двух сопротивлений: заземлителя  $R_x$  и вспомогательного электрода  $R_b$ , второе также  $R_x$  и сопротивление зонда  $R_z$ , а третье  $R_z$  и  $R_b$ .

Три измерения позволяют составить три уравнения с тремя неизвестными:

$$\begin{aligned}R_1 &= R_x + R_b \\R_2 &= R_x + R_z \\R_1 &= R_z + R_b\end{aligned}$$

Этот метод является, как видно, неудобным, так как необходимо производить три измерения, и недостаточно точным. Блуждающие токи в данном случае оказывают значительное влияние [3].

Изучая уже имеющиеся в производстве приборы, принцип действия которых основан на одном из трёх перечисленных методов, был сделан вывод о невозможности их использования для контроля состояния повторного заземления ЛЭП в процессе эксплуатации.



а) верхняя часть опоры;  
 б) опора с заземляющим устройством

Рисунок 1 – Схема выполнения заземления на опоре

В работе была предложена, для контроля целостности цепей заземлителей, методика, основанная на принципе электромагнитной индукции. Она позволяет в режиме реального времени контролировать состояние повторного заземления и при необходимости сигнализировать о его нарушении.

На рисунке 1 использованы следующие сокращения:

- катушка Роговского (КР) – токовосприимчивый элемент, выполненный по принципу катушки Роговского, который осуществляет преобразование рабочего тока заземлителя в кратный ему по величине уменьшенный переменный ток;
- первичный преобразователь тока (ППТ) – осуществляет преобразование, полученного от КР переменного тока в эквивалентную величину постоянного напряжения;
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – преобразует аналоговое напряжение в соответствующие ему дискретные двоичные цифровые значения;
- микроконтроллер (МК) – осуществляет вычисления действующего значения тока в заземляющем проводнике, отсчёт уставки срабатывания и формирование команды сигнализации обрыва заземляющего проводника. Таким образом, если МК в течение заданной

$t_{уст}$  реагирует на отсутствие тока в заземляющем проводнике, он формирует команду для преобразователя интерфейса о сигнализации неисправности;

– преобразователь интерфейса (ПИ) – преобразует управляющую команду из формата последовательно интерфейса МК в стандарт интерфейса USB, являющегося входным для GSM-модема;

– GSM-модем – передает команду МК в виде SMS-сообщения (на телефон дежурного персонала) о неисправности повторного заземления с указанием номера линии и номера опоры.

Структурная схема разработанного устройства для контроля повторного заземления на ВЛЭП 0,4 кВ представлена на рисунке 1.

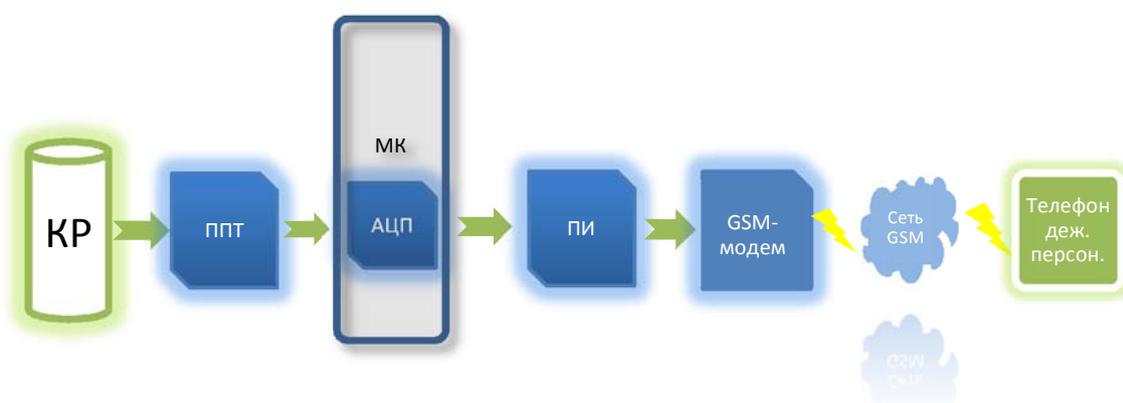


Рисунок 2 – Блок схема устройства контроля повторного заземления на ВЛЭП 0,4 кВ

Использование данного устройства (см. рисунок 3) позволит повысить безопасность эксплуатации электрических сетей за счёт своевременного обнаружения обрывов повторного заземления на ВЛЭП напряжением 0,4 кВ. В свою очередь оперативный персонал, как только будет нарушена целостность цепи повторного заземления, будет иметь информацию об участке ВЛЭП на котором произошла неполадка. Вследствие этого, электроснабжающие организации смогут автоматизировать процесс контроля состояния заземлителей, что положительно скажется на качестве предоставляемых ими услуг и времени производства ремонтных работ.

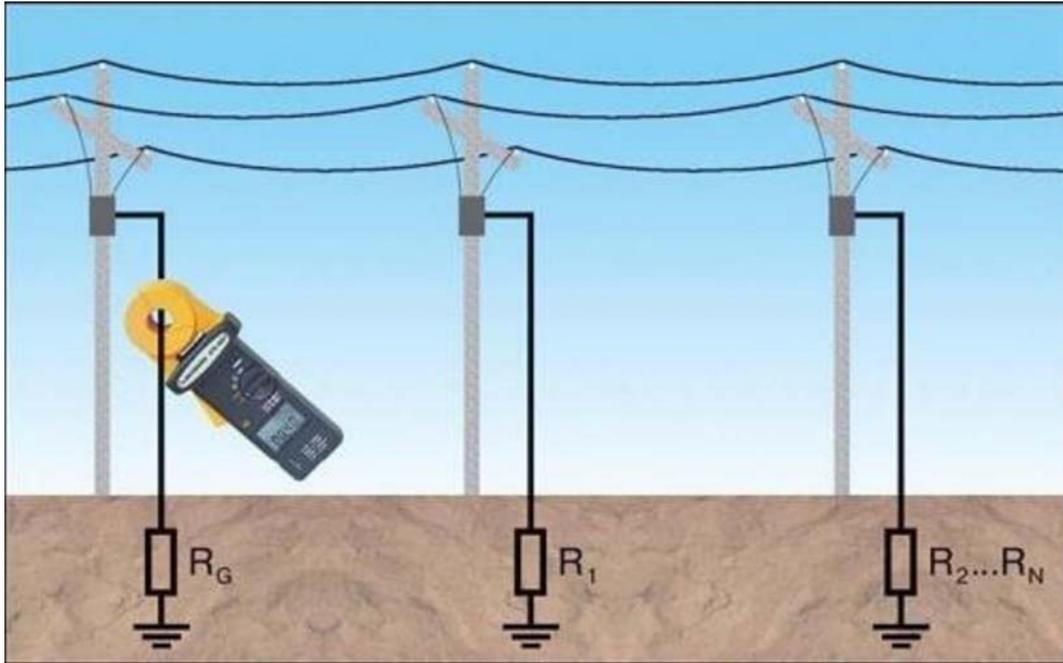


Рисунок 3 – Схематическое изображение устройства контроля повторного заземления на ВЛЭП 0,4 кВ

**Список использованных источников:**

1. Правила устройства электроустановок [Текст]. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
2. Маньков, В. Д. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок [Текст] / В. Д. Маньков, С. В. Заграничный. – Справочник. – 2005. – 400 с.
3. Карякин, Р. Н. Нормы устройства сетей заземления [Текст] / Р. Н. Карякин. – Нормы. – 2002. – 238 с.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Константин Вячеславович Михальцов – e-mail: kosten\_mix@mail.ru; студент Роман Павлович Лымарев – e-mail: lymarevroman@spartak.ru; аспирант Андрей Николаевич Попов – e-mail: oleandr78@mail.ru, тел. +7(385-2)29-07-78.

## **ДАТЧИК СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-10 КВ**

А. Х. Мусин, А. А. Зарубин  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*Предлагается устройство датчика сопротивления изоляции кабельных линий напряжением 6-10 кВ. Дано описание датчика сопротивления изоляции, а так же результаты экспериментальных исследований.*

*Ключевые слова: контроль изоляции, источник зондирующих сигналов, датчик сопротивления изоляции*

Безаварийная работа систем электроснабжения связана прежде всего с состоянием и надежностью изоляции. Распространенные в настоящее время способы контроля изоляции не могут обеспечить достаточную надежность систем электроснабжения, более того, в некоторых случаях ведут к ухудшению состояния изоляции КЛ (проверка изоляции повышенным напряжением), или даже выходу из строя. Поэтому предлагаются следующие требования к контролю изоляции

- контроль должен быть непрерывным. Непрерывность контроля позволяет свести к минимуму аварийные выходы из строя изоляции и отказаться от трудоемких и малоэффективных профилактических испытаний (иногда даже вредных);

- контроль должен осуществляться под рабочим напряжением, то есть без вывода, оборудования из работы;

- контроль должен быть селективным. Это необходимо для оперативного выявления и локализации линии с неудовлетворительной изоляцией;

- контроль должен охватывать одновременно все три фазы электроустановки.

Перечисленным требованиям в наибольшей мере удовлетворяет способ контроля, основанный на наложении на контролируемую сеть некоторого контрольного тока от постороннего источника питания. Таким источником является: источник зондирующих сигналов (ИЗС). Он предназначен для наложения на кабельную сеть 6-10 кВ контроль-

ного тока с частотой 50 Гц. Наложение контрольного тока необходимо для непрерывного селективного контроля изоляции электрической сети под рабочим напряжением [1].

Термином «источник зондирующих сигналов здесь обозначается комплекс оборудования, предназначенный для наложения на контролируемую сеть тока промышленной частоты, а также для измерения этого тока и соответствующего напряжения нулевой последовательности. Конструктивно это оборудование располагается в отдельной ячейке. В комплекс оборудования входят: выключатель нагрузки, предохранители, конденсаторы, дроссель, трансформатор Т, трансформатор тока ТТ с амперметром, трансформатор напряжения НТМИ с вольтметром в выходной обмотке.

Частота контрольного тока принята 50 Гц. Это позволяет наиболее просто выполнить источник контрольного тока.

Наиболее информативным параметром является сопротивление изоляции

Для измерения сопротивления под рабочим напряжением требуется разработка соответствующего датчика (далее – датчик сопротивления изоляции).

К датчику сопротивления изоляции (ДСИ) предъявляются следующие требования:

- датчик не должен требовать дополнительного источника питания;
- должен быть годным для массового внедрения, т.е. иметь относительно невысокую стоимость и быть технологичным в производстве;
- датчик должен работать в условиях не отапливаемого помещения в ОРУ.

В ходе предварительного исследования основой датчика был выбран нуль-индикатор. В качестве нуль-индикатора могут быть использованы:

- электронные схемы;
- герконы;
- поляризованное реле и другие.

Все они обладают теми или иными недостатками.

В качестве нуль-индикатора авторами рассматривался вариант применения геркона.

Принцип действия датчика отражен на рисунке 1, он основан на взаимодействии встречных магнитных потоков катушек L1 и L2, и геркона S.

В качестве датчика сопротивления нами рассмотрены принципы выполнения реле сопротивления по [2].

Принцип действия всех разновидностей реле сопротивления основан на сравнении по абсолютному значению или по фазе двух векторов напряжений  $\dot{U}_I$  и  $\dot{U}_{II}$  являющихся функциями тока и напряжения сети  $\dot{I}_p$  и  $\dot{U}_p$ . В общем случае:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_I &= k_1 \dot{U}_p + k_2 \dot{I}_p; \\ \dot{U}_{II} &= k_3 \dot{U}_p + k_4 \dot{I}_p. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Меняя коэффициенты  $k$  в выражениях (1), можно получать реле сопротивления с различными характеристиками.

Для дальнейшего исследования нами выбран магнитный способ сравнения напряжений  $\dot{U}_I$  и  $\dot{U}_{II}$ .

Входными сигналами датчика являются напряжение, накладываемое на сеть от ИЗС, вторым сигналом является ток утечки, подаваемый на датчик от трансформатора тока нулевой последовательности. Оба сигнала выпрямляются диодными мостами VDS1 и VDS2 и подаются на катушки L1, L2 геркона S.

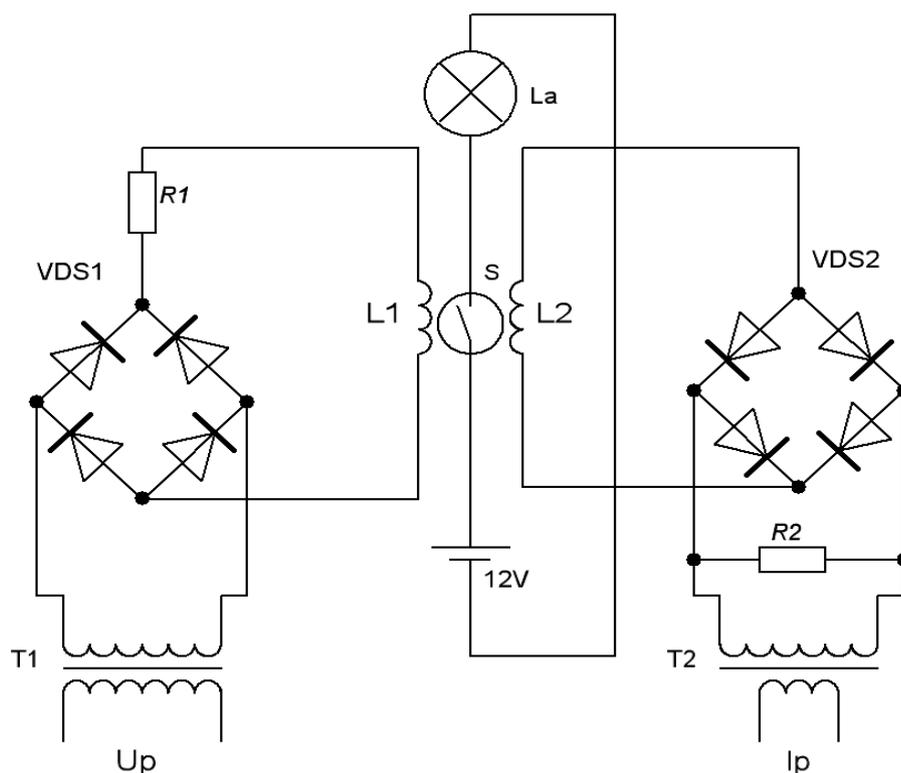


Рисунок 1 – Датчик сопротивления изоляции

Для проверки работоспособности датчика сопротивления были проведены исследования на физической модели, реализованной по схеме на рисунке 1.

Входное напряжение датчика  $U_p$  подавалось от автотрансформатора ЛАТР-1М. Входной ток  $I_p$  подавался от устройства проверки релейной защиты УПЗ. В выпрямителях использованы диоды: Д-215А (VDS1), Д-242 (VDS2). Тип использованного геркона: КЭМ-2 гр.В (МДС срабатывания 32-64 А). Для обозначения факта срабатывания геркона, через него была подключена лампа накаливания 12 В, питание которой осуществлялось от источника постоянного напряжения 12 В. Сопротивления резисторов R1 и R2 равны по 1 Ом. Измерения тока и напряжения осуществлялось измерительным прибором Ц4360. Количество витков обмоток L1 и L2 принято по 10 штук.

Нами экспериментально установлена величина тока, необходимая для срабатывания геркона, равная 4,5 А, что соответствует напряженности магнитного поля, воздействующего на геркон  $4,5 \text{ А} \cdot 10 \text{ вит} = 45 \text{ А} \cdot \text{вит}$ .

При значениях токов  $I_1$  и  $I_2$  по 4,5А геркон разомкнут (что фиксировалось погасанием лампы La). При увеличении тока  $I_1$  до значения 6А лампа загоралась вновь, т.е. геркон замыкался.

Таким образом, геркон размыкался при токах  $I_1=I_2=4,5 \text{ А}$ ; чему соответствует  $U_p=4,5 \text{ В}$ . Отсюда следует, что сопротивление срабатывания испытуемой схемы равно:  $Z_{cp}=U_p/I_p=4,5 \text{ В}/4,5 \text{ А}=1 \text{ Ом}$ .

Описанный опыт повторялся при других значениях  $U_p$  и  $I_p$ . Например, для  $U_p=10 \text{ В}$  и  $I_p=10 \text{ А}$  получено также сопротивление срабатывания:  $Z_{cp}=U_p/I_p=10 \text{ В}/10 \text{ А}=1 \text{ Ом}$ .

Таким образом, описанная выше схема может быть использована как датчик сопротивления с уставкой 1 Ом.

Изменяя соотношения витков обмоток L1 и L2 можно изменить величину сопротивления срабатывания  $Z_{cp}$ . Например, при  $W_{11}=10$  витков и  $W_{12}=20$  витков получено экспериментально:  $Z_{cp}=U_p/I_p=10 \text{ В} / 5 \text{ А}=2 \text{ Ом}$ .

Описан предлагаемый авторами датчик сопротивления изоляции с герконом в качестве нуль-индикатора.

#### **Список использованных источников:**

1. Мусин А. Х., Мусин М. А. Способ контроля изоляции в трёхфазной электрической сети с изолированной нейтралью. – Патент на изобретение № 2125271. Россия, 20.01.99г.

2. Чернобровов, Н. В. Релейная защита [Текст] : учебное пособие для техникумов / Н. В. Чернобровов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1971. - 624 с. с ил.

3. Мусин А.Х. Системы электроснабжения городов: технология ресурсосберегающего обслуживания по реальной потребности. Научно- производственное издание /Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификации производства и быта», д.т.н., профессор Агзам Хамитович Мусин – e-mail: agzam45@mail.ru, тел. +7(385-2)52-28-39; аспирант Александр Анатольевич Зарубин – e-mail: azarubin90@gmail.*

## МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА УЩЕРБОВ ОТ РИСКОВ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

О. К. Никольский, А. Ф. Костюков  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»

При оценке интегрального риска электроустановки необходимо определение не только вероятности опасных техногенных ситуаций (ОТС), но и учет всех видов потерь и издержек, т.е. оценка полного интегрального ущерба.

Рассмотрим риск как количественную меру опасности

$$R = \sum_i^n P_i Y_i, \quad (1)$$

при условии, что могут возникнуть  $n$  опасных событий  $i$  с различными вероятностями  $P_i$  и соответствующим им ущербом  $Y_i$ . Тогда выражение интегрального риска может быть представлено как

$$R_{\Sigma} = \int F(Y)P(Y)dY, \quad (2)$$

где  $F(Y)$  - весовая функция потерь, с помощью которой последствия опасностей различной природы приводится к единой (стоимостной)оценки ущерба;  $P(Y)$ -плотность распределения случайной величины  $Y$  [1]. В такой формулировке риск, как уже отмечалось выше, являющейся количественной мерой опасности, фактически определяется как математическое ожидание ущерба (потерь) [2].

Будем считать ущерб как некоторый экономический количественный показатель, являющийся составной частью вреда от происшествий, наносимых физическим и юридическим лицам. В этом случае вред можно интерпретировать как цепь последовательных взаимосвязанных негативных событий, распределенных в пространстве и во времени. Для учета наносимых электроустановкой разновидностей вреда введем понятие интегрального ущерба – комплексного показателя последствий наступивших техногенных опасностей объекта, выраженного в едином денежном эквиваленте. Этот показатель позволяет применить механизм исчисления экономической эффективности при оптимизации системы обеспечения безопасности электроустановок на этапах проектирования и эксплуатации.

Рассмотрим структуру интегрального ущерба в рамках сложной человеко-машинной системы «человек-электроустановка-среда» (Ч-Э-С) [3], представленной на рисунке 1.

В соответствии с принятой классификацией [4] полный ущерб складывается из прямого и косвенного, каждый из которых, в свою очередь, содержит социальную, материальную и экологическую составляющую ущерба. Считаем, что полный ущерб в достаточной степени отражает все издержки, являющиеся компонентом интегрального риска. Поэтому полный ущерб в определенной степени отражает интегральный ущерб электроустановки.

Условимся считать, что прямой (непосредственный ущерб) обусловлен утратой работоспособности ЭУ (выход из строя, т.е. отказ). Косвенный ущерб, являясь следствием прямого, в общем случае, определяется разрушением связей между электроустановкой и другими (сторонними) объектами, использующими электроэнергию для технологических нужд.

Рассмотрим составляющие интегрального ущерба:

- социальный ущерб  $Y_c$ . Этот вид ущерба проявляется в виде гибели людей, вызванной электрическим поражением или при пожаре из-за повреждения электроустановки, а также потерями трудоспособности, обеспечения услугами здравоохранения, социальными льготами и другими компенсационными затратами. Согласно статистическим данным [5] доля аварий и пожаров в зданиях и на коммунальных системах жизнеобеспечения составляет почти 50% всех ЧС, произошедших на локальных объектах. Отмеченный социальный ущерб не ограничивается только немедленным воздействием рискообразующего фактора. Необходимо также учитывать и отдаленные последствия негативного проявления электромагнитного поля электроустановки, выражающиеся ухудшением здоровья населения из-за экологического загрязнения среды обитания;

- материальный ущерб  $Y_m$ . Объектом материального ущерба, вызванного отказами (авариями) электроустановки, являются производственные, общественные и жилые здания, готовая продукция или недоотпуск ее, убытки, вызванные перерывами электроснабжения, снижения качества электроэнергии, подаваемой потребителю. Последствия этого вида ущерба могут привести к снижению эффективности объектов энергетики, вызванной нарушением режимов работы электроустановок, преждевременному выбытию основных производственных фондов и мощностей;

- экологический ущерб  $Y_e$ . Этот вид ущерба обусловлен возникновением пожаров от электроустановок и опасными электромагнитными излучениями и проявляется в виде ухудшения характеристик природных ресурсов, животного и растительного мира и т.д.

Несмотря на имеющуюся условность и нечеткость отдельных компонентов структуры интегрального ущерба, предложенная классификация позволяет изучить многогранность проявления техногенного ущерба и его зависимость от большого числа перечисленных выше факторов. Все это свидетельствует о необходимости одновременного учета как вероятности возникновения аварий и несчастных случаев в электроустановках, так и издержек и потерь, являющихся следствием проявления этих опасных событий.

Таким образом, угрозы жизнедеятельности человека, сельскохозяйственных животных, отказов и аварий, чрезвычайных ситуаций (пожаров) и др. реализуются в виде опасных техногенных ситуаций, оказывающих поражающее, вредное и деструктивное воздействия

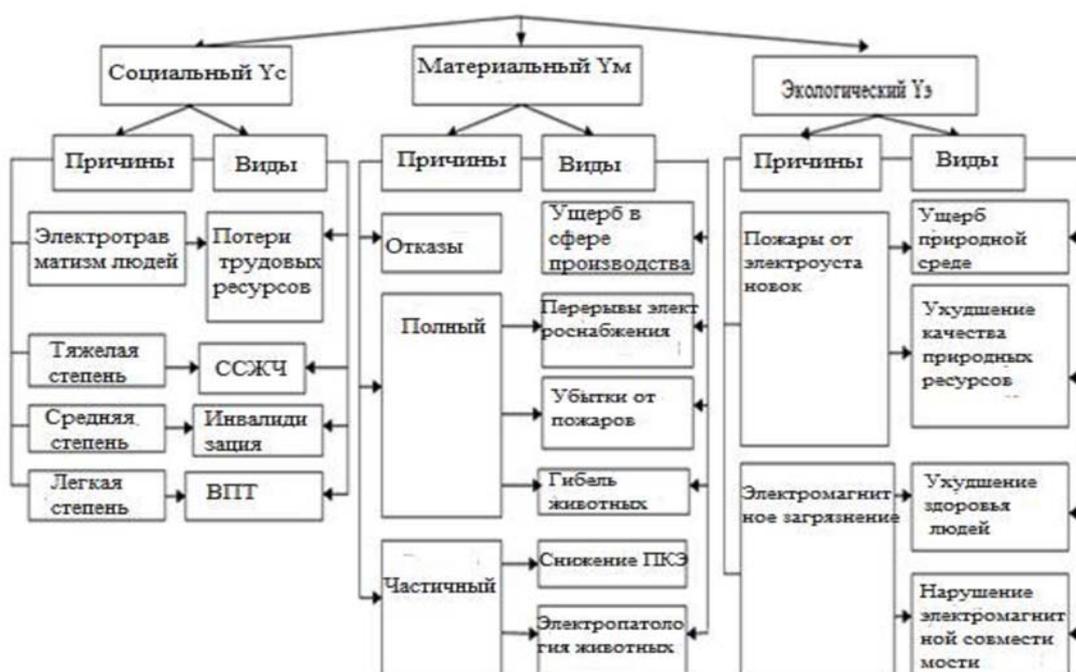


Рисунок 1 – Структура интегрального ущерба в системах сельского электроснабжения (СЭС), возникающие в системе (Ч-СЭС-С).

Результатом этих воздействий является изменение объектов и среды, выражающиеся в нарушении их целостности, ухудшении режимов функционирования и т.д. Поэтому следует различать понятие последствий от техногенных опасностей, носящий обобщенный неэкономический характер, и понятие ущерба, представляющего количественную величину, т.е. экономическую категорию.

В контексте сказанного ущерб трактуется как оцененные последствия.

Будем рассматривать интегральный ущерб  $Y_{\Sigma}$  от ОТС, вызванных

электроустановками объектов АПК и инфраструктуры сельских поселений, как сумму базовых составляющих:

$$Y_{\Sigma} = Y_u + Y_o + Y_c, \quad (3)$$

где  $Y_u$ - ущербы человеку (населению, персоналу) - медико-биологического характера(утрата здоровья и жизни);

$Y_o$  - ущербы объектам техносферы, определяются суммированием от повреждения и разрушения основных фондов инфраструктуры объектов электроэнергетики (электрические сети, электроустановки, технологическое оборудование и т.д.);

$Y_c$  - ущербы окружающей среде определяется суммированием ущербов, включая упущенную выгоду и дополнительные затраты на ликвидацию неблагоприятных последствий для жизнедеятельности человека, животного и растительного мира.

Отметим, что составляющие интегрального ущерба  $Y_u, Y_o$  и  $Y_c$  выражают соответственно социальный, материальный и экологический виды ущербов.

В свою очередь каждый вид ущерба по классификации [5] можно представить:

$$\text{- прямой } Y^n = Y_u' + Y_o' + Y_c', \quad (4)$$

$$\text{- косвенный } Y^k = Y_u'' + Y_o'' + Y_c'', \quad (5)$$

$$\text{- полный } Y^{пол} = Y_u''' + Y_o''' + Y_c''', \quad (6)$$

Введенные индексы (4, 5, 6) позволяют учитывать долю определенного вида ущерба в общей многоуровневой его структуре. Такая структура интегрального ущерба дает возможность, с одной стороны, учесть все разнообразие последствий ОТС в электроустановках, а с другой - исключить двойной учет последствий, который может возникнуть, если выбранные виды последствий (ущербов) будут перекрывать друг друга. В этом случае интегральный ущерб от ОТС может быть получен путем сложения ущербов различных видов.

Рассмотренная структура интегрального ущерба электроустановки позволяет представить многокомпонентные ущербы в виде вектора ущербов, который будет соответствовать  $i$ -му состоянию человеко-машинной системы (Ч-ЭУ-С):

$$Y_i = \{[Y^n, Y_c]; [Y^n, Y_m]; [Y^n, Y_g]; [Y^k, Y_c]; [Y^k, Y_m]; [Y^k, Y_g]\}. \quad (7)$$

Учитывая, что универсальная шкала для измерения (оценки) ущерба отсутствует, на практике используется три шкалы:

а) естественная, где применяются натуральные количественные значения величин;

б) экономическая, показатели представляются в денежном выражении;

в) субъективная (качественная) шкала создается в тех случаях, когда отсутствует возможность получения численных значений по естественной шкале.

Для расчета ущербов от техногенных опасностей в РФ используется действующая законодательная и нормативно-техническая база. Эта база служит основанием для правового регулирования в сфере оценки экономических ущербов от воздействия аварий, чрезвычайных ситуаций и т.д.

При риске, связанном с неблагоприятными условиями труда, нанесения ущерба здоровью, профессиональными заболеваниями, сокращением продолжительности жизни человека, электротравмой и гибели работника, последствия (потери, ущербы) могут быть частично оценены количественно в таких категориях, как простой в работе, расходы на оплату больничных листов, страховые выплаты и т.д.

При риске, связанном с электротравмой с летальным исходом, количественные оценки последствий отсутствуют. Отсутствует также и соответствующая нормативная база.

Рассмотрим концепцию стоимости жизни человека в контексте оценки ущерба от электротравматизма с летальным исходом.

Вопрос об экономическом подходе к оценке риска жизни и здоровья человека впервые был поставлен В. А. Легасовым [1] при анализе проблемы безопасности ядерной энергетики. Им было введено понятие «стоимость среднестатистической жизни человека» (ССЖЧ). Позднее, в [7] были сформулированы основные подходы к управлению техногенными рисками, в основе которых был положен принцип равновесия между качеством жизни и безопасностью человека. Признавая этот принцип в определенной мере субъективным, нельзя не сбрасывать со счетов, что в обществе всегда существовала, и, очевидно, будет существовать дилемма между стремлением улучшить качество жизни и снизить уровень безопасности. Другими словами, увеличение качества жизни в ряде случаев приводит к росту рисков преждевременной смерти, сокращению продолжительности жизни, болезни и т.д. Примерами этому могут быть занятия экстремальными видами спорта, трудовая деятельность на опасных производствах с компенсационными выплатами и др. Отметим, что понятие «качество жизни» является комплексным показателем, составной частью которого, по нашему мнению, должна быть и безопасность. Поэтому здесь уместно сравнивать безопасность не с качеством жизни, а с ее продолжительностью. Эти два понятия положительно коррелируют между собой и могут

быть количественно оценены. Они не содержат субъективной оценки и могут быть положены в основу целевой функции при проведении оптимизационных мероприятий. Такая целевая функция должна отражать объективные ценности человеческой жизни, которые можно выразить в количественных показателях - продолжительность жизни и безопасность (в терминах теории риска).

Признавая приоритет жизни и здоровья отдельного человека, нельзя игнорировать тот факт, что многочисленные случаи электротравм, гибель людей в ДТП приносят огромные материальные потери обществу, выражающиеся недокладом среднедушевого дохода в ВВП. Возникшее противоречие между абсурдной оценкой жизни индивидуума в денежном выражении и потерями при гибели людей, выраженными монетарно, устраняются, если разграничить два понятия, жизнь индивидуума (конкретного человека) и среднестатистическая жизнь человека (СЖЧ). Если конкретному человеку грозит реальная опасность погибнуть, то ценность его жизни не должна определяться некой денежной суммой, ибо не существует таких финансовых средств, которыми можно было бы оценить его жизнь. В то же время следует понимать, что далеко не все затраты, направленные на снижение риска, возможны или экономически оправданы. Нельзя требовать снижения риска любыми средствами, как и невозможно добиться абсолютной безопасности с нулевым риском. Очевидно, должен существовать некоторый предел финансовых средств и материальных ресурсов, выше которых их расходование становится нецелесообразным и в ряде случаев невозможным при определенном уровне развития общества. Вместе с тем общество должно стремиться к установлению высокой ССЖЧ. Необходимость ее оценки в денежном эквиваленте вызвана тем, что повышение безопасности во всех сферах жизнедеятельности человека требует выделения адекватных средств на нейтрализацию опасных факторов и минимизацию рисков.

Методические подходы к оценке ССЖЧ.

Впервые стоимостной подход к оценке жизни человека был сформулирован в Великобритании в середине XX века, и строился на том, что стоимость жизни приравнивалась к стоимости продукции и услуг, недополученных из-за гибели или потери трудоспособности граждан в результате ДТП. Такой подход является утилитарным, поскольку стоимость жизни становится эквивалентной величине «человеческого капитала», определяемого добавленной стоимостью, которую человек производит за всю свою жизнь. Признаем, что профессиональная деятельность, являясь не главной составляющей жизни человека, не может служить мерилем ССЖЧ.

В настоящее время используются объективный и субъективный подходы к оценке ССЖЧ. В основе первого лежит экономическая оценка рисков жизни и здоровья людей. Субъективный подход базируется на том факте, что ценность сохраненной жизни позволяет определить в стоимостном выражении количество средств, которые люди были бы готовы заплатить за уменьшение риска потери жизни или трудоспособности, например, при электротравме. При этом величину ущерба соотносят с реальными экономическими показателями страны.

Согласно социологическим исследованиям компании РОСГОССТРАХ по мнению респондентов стоимость желаемой компенсации в связи с гибелью человека в ДТП колеблется в диапазоне 3,4 – 4,3 млн. руб., в то время как в США условная оценка стоимости жизни человека составляет 3 млн. долл. Следствием низкой оценки стоимости жизни российского гражданина является существенное занижение бюджетных средств, направляемых на реализацию мер по снижению аварийности на дорогах.

Отметим, что при субъективном подходе к оценке ССЖЧ доминирующим фактором является личное восприятие человеком риска его гибели. Согласно работе [63], в которой была предпринята попытка (см. таблицу 1) экспериментальным путем провести ранжирование риска смертельноопасных технологий, было установлено, что испытуемые полагаются (в отличие от экспертов) не на статистические данные, а на свой жизненный опыт и интуицию. Результаты экспериментов показали переоценку опасности технологий с низкой смертностью и недооценку технологий с высокой смертностью. Ниже приведена таблица основных факторов, влияющих на субъективные представления людей о снижении риска смертности и ССЖЧ.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что суждение людей о вероятностях опасных событий и потенциальном ущербе основаны на личном восприятии риска и существенно отличаются от объективных данных.

Люди достаточно субъективно подходят к оценке степени опасности, игнорируя при этом частоту смертельных исходов. Так, при оценкесравнительной опасности ядерной энергетики и бытовых электроприборов, подавляющее большинство считает наиболее опасным ядерную энергетику, хотя показатель смертности от нее значительно ниже, чем от бытовых электроприборов. Отсюда можно сделать вывод, что при ранжировании используемых опасных технологий по степени связанного с ними риска, общество, как правило, ру-

ководствуется не объективными показателями смертности, а каким-то другим субъективным критерием. Подтверждением этому выводу является выборочная таблица 2 [9], представляющая коллективное результирующее ранжирование по степени уменьшения опасности и сравнительную оценку согласованности при вынесении суждений о риске.

Таблица 1 - Личное восприятие факторов, влияющих на субъективные представления людей о снижении риска

Факторы опасности	Субъективные представления людей об опасностях	Лингвистические оценки опасности
Значимость последствий (исходов)	Наиболее значимые последствия, ставящие под угрозу жизнь человека	Очень высокая
Неконтролируемость ситуации	Отсутствие контроля над развитием события резко снижает готовность людей идти на риск	Высокая
Частота угроз	Люди терпимее к частым и незначительным опасностям, чем к редким чрезвычайным ситуациям с большим числом жертв, даже если суммарные потери в первом случае гораздо выше, чем во втором	Менее высокая
Новизна технологий и оборудования	Общество проявляет большее доверие к старым, хорошо известным технологиям, чем к новым.	Средняя
Добровольность	Возможность свободного выбора при выполнении опасных работ	Низкая

Таким образом, субъективный подход к оценке риска смертельного исхода и стоимости статистической жизни человека определяются на основании социологических опросов населения. (Здесь под «стоимостью жизни» понимается размер денежного возмещения семье погибшего, который общество считает справедливым.)

Таблица 2 - Ранжирование рисков

Вид риска	Субъективная оценка риска людьми	Объективная оценка риска (по статистическим данным)
Стихийные бедствия	1	11
Атомные электростанции	2	10
Загрязнение среды	3	2
Потребление алкоголя	4	3
Автотранспорт	6	4
Курение	8	1
Полеты на самолетах	10	13
Активный отдых	13	5

В таблице 3 на основании литературных источников приведена характеристика объективных подходов (методов) к оценке стоимости среднестатистической жизни человека.

На основании изложенного можно сделать вывод, что в мировом сообществе в настоящее время существуют различные точки зрения, касающиеся оценки стоимости жизни человека (см. таблицу 4).

Гуманитарный – господствующий в России (в принципе недостижим).

Экономический, учитывающий только экономическую оценку жизни, приводит к абсурду (безвременная смерть неработающего человека-пенсионера приносит обществу экономический эффект из-за прекращения социальных выплат).

Комплексный, в основе которого лежит существующая за рубежом (в развитых странах) практика социального страхования: эконо-

мический эффект от предотвращения преждевременной смерти человека в результате несчастного случая рассчитывается с помощью социальных методик, учитывающих только хозяйственную компоненту человеческой жизни; духовная составляющая оценивается на порядок выше хозяйственной.

Таблица 3 - Методы оценки стоимости жизни человека

Метод оценки ССЖЧ на основе определения:	Характеристика метода
совокупного пожизненного дохода	Стоимость жизни человека определяется на основании его доходов. Экономический эквивалент ССЖЧ равен отношению среднего душевого денежного годового дохода к средней вероятности смерти в течение года
среднего ВВП на душу населения	Считается, что преждевременная смерть работающего означает потерю общественной полезности - валового внутреннего продукта на душу населения. Поэтому недополученный ВВП в результате преждевременной смерти человека - есть стоимость его жизни
актуарных расчетов	Оценка производится на основании среднедушевых доходов и ВВП, исходя из случайного времени наступления смерти. Актуарные расчеты применяются в долгосрочном страховании, т.е. в страховании жизни. Тарифные ставки страхования определяют ССЖЧ
общественных издержек	ССЖЧ определяется как сумма затрат на образование, здравоохранения, подготовку трудовых ресурсов и иных расходов, необходимых для воспроизводства человеческого капитала
демографического баланса	ССЖЧ определяется на основе баланса материальных благ, производственных и потребляемых человеком, к некоторому возрасту, т.е. определяется рентабельность возрастной группы населения, ее способность накопить средства для воспроизводства будущих поколений

Принимая во внимание отсутствие в настоящее время методики расчета стоимости СЖЧ и соответствующих нормативов, считаем целесообразным введение качественных (лингвистических) оценок при менеджменте риска электротравмы.

Таблица 4 - Классификация подходов и методов к оценке ССЖЧ

Подход	Характеристика
Гуманитарный	Постулат бесценности человеческой жизни, предполагает создание системы безопасности с нулевым риском (недостижимая цель)
Экономический	Монетарная оценка риска жизни и здоровья: человек рассматривается как орудие труда (абсурдный вывод)
Комплексный	Система долгосрочного страхования жизни предполагает оценивать ССЖЧ, отделяя хозяйственную составляющую от духовной (люди живут не для того, чтобы производить материальные блага)

Таблица 5 - Шкала базовых оценок риска жизни и здоровья человека

Лингвистическая оценка параметра		Балл	Численная характеристика
Вероятность события	Последствия (мера тяжести)		
Совершенно невозможно	Очень низкая	5	0,0
Практически невозможно	Низкая		0,2
Маловероятно	Средняя	4	0,4
Возможно	Выше среднего	3	0,6
Практически возможно	Высокая	2	0,8
Определенно достоверно	Очень высокая		1,0

В основе таблицы 5 лежит метод FMEA (PotentialFailureModeEffectsAnalysis), с помощью которого представляется возможным экспертно определить оптимальный риск на основании баллов вероятности возникновения опасностей и их последствий [10].

Выводы.

Для учета наносимых электроустановкой разновидностей вреда вводится понятие интегрального ущерба – комплексного показателя последствий наступивших техногенных опасностей объекта, выраженного в едином денежном эквиваленте.

Учитывая, что универсальная шкала для измерения (оценки) ущерба отсутствует, на практике используется три шкалы:

а) естественная, где применяются натуральные количественные значения величин;

б) экономическая, показатели представляются в денежном выражении;

в) субъективная (качественная) шкала создается в тех случаях, когда отсутствует возможность получения численных значений по естественной шкале.

При риске, связанном с электротравмой с летальным исходом, количественные оценки последствий отсутствуют. Отсутствует также и соответствующая нормативная база.

Следствием низкой оценки стоимости жизни российского гражданина является существенное занижение бюджетных средств, направляемых на реализацию мер по снижению аварийности.

Принимая во внимание отсутствие в настоящее время методики расчета стоимости СЖЧ и соответствующих нормативов, считаем целесообразным введение качественных (лингвистических) оценок при менеджменте риска электротравм.

#### **Список использованных источников:**

1. Куликова Л. В. Основы электромагнитной совместимости. Уч. для ВУЗов под ред. Р. Н. Карякина/ Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников и др., АлтГТУ - Барнаул, Алтайский полиграфический комбинат, 2007. – 480с.

2. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах. РД03-496-02. 2002г.

3. Техническая диагностика и остаточный ресурс электроустановок: монография / О. К. Никольский, Н. П. Воробьев, А. Ф. Костюков и др. – Барнаул: Изд. АлтГТУ, 2014. – 207 с.

4. Акимов В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сфере. Ч. 1 / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. И. Радаев. - М.: ФИД Деловой экспресс, 2004.

5. Акимов В. А. Основы анализа и управления риском в природ-

ной и техногенной сфере ч. 2 / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. И. Радаев. М.: ФИД Деловой экспресс, 2004.

6. Легасов В. А. Дисконтирование и компромисс между поколениями./ В. А. Легасов, В. Ф. Демин, Я. В. Шевелев // Проблемы анализа риска. – 2005. - Т. 2. - №2.

7. Кузьмин Н. И. Принцип управления риском. // Проблемы анализа риска. – 2005. - Т. 2. - №2.

8. Slovic P. Kating the Mists Environment / Slovic P. В. Fischhof, S. Liechtenstein. 1979. V. 21. № 3.

9. Ларичев О. И. Анализ риска и проблемы безопасности / О. И. Ларичев, А. И. Мечитов, Е. Б. Ребрак.- М.: Препринт, 1990. (ВНИИСИ)

10. Крюков И. Э. Внедрение стандартов по системам менеджмента в практику организаций. Все о качестве. // Отечественные разработки – 2005. - №3 (36). - С. 4 – 46.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификации производства и быта», тел. +7 (385-2) 29-08-82, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Олег Константинович Никольский – e-mail: Elnis@inbox.ru; Elnis@inbox.ru; 656049, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет», инженерный факультет, кафедра «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», к.т.н., ст. преподаватель, докторант Анатолий Федорович Костюков – тел. +7(385-2) 62-84-49.*

## **ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ОТ ОТКЛОНЕНИЙ И ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

И. А. Новосёлов, А. Н. Попов

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрено разрабатываемое реле контроля напряжения, предназначенное для защиты низковольтных электроприемников от выхода из строя в следствие отклонений и провалов напряжения в сети электроснабжения. Приведена статистика нарушений показателей качества электроэнергии в распределительных электрических сетях напряжением 0,4 кВ. Дано описание существующих на сегодняшний день устройств контроля напряжения.*

*Ключевые слова:* реле, отклонение напряжения, электрооборудование.

На сегодняшний момент существует огромное количество самых разнообразных бытовых приборов, которые с каждым годом оснащаются все более умной электроникой, уменьшаются в размерах, изменяют свой дизайн, форму и цвет. Но все же, несмотря на это, одно остается неизменным уже на протяжении многих лет: сегодня, как и десять, и двадцать лет назад, стабильная работа электрооборудования полностью зависит от качества электроэнергии.

Сколько бед натворили в быту и на производстве резкие провалы и пиковые всплески сетевого напряжения. Поэтому одной из главных причин по которой напряжение может не соответствовать требованиям ГОСТ, по которой выходит из строя оборудования, аппаратура и бытовая техника, является отклонение напряжения.

Отклонением напряжения называется отличие фактического напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения от его номинального значения [1].

Данный факт подтверждает статистика нарушений показателей качества электроэнергии по данным филиала ОАО «МРСК Сибири» «Алтайэнерго», приведенная на рисунке 1 [2].

Количество отказов бытовой техники и оборудования из-за нестабильного напряжения можно свести к минимуму, достаточно толь-

ко в цепи нагрузок выполнить монтаж реле напряжения. Это устройство защиты способно в доли секунды обесточить электросеть при любом скачке или падении напряжения.

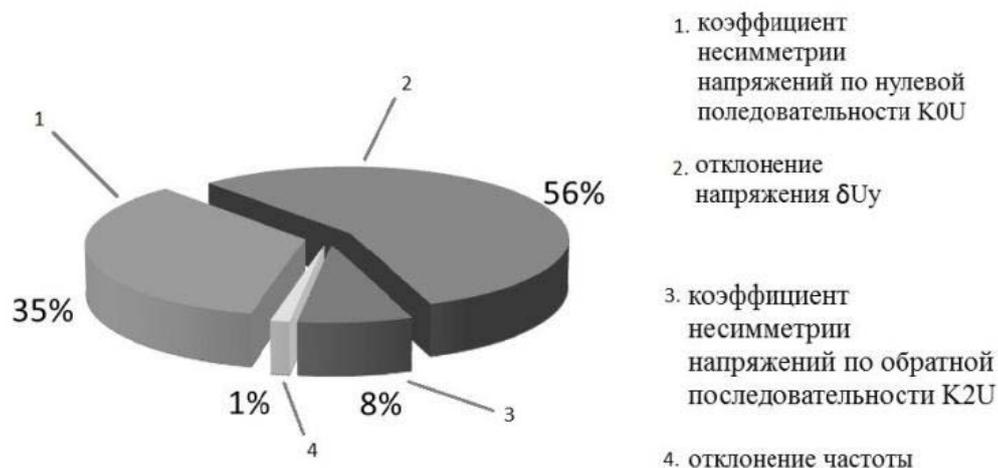


Рисунок 1 – Статистика нарушений показателей качества электроэнергии в сетях 0,4 кВ

Реле напряжения – это прибор, представляющий собой совокупность электронного устройства контроля напряжения и силовой части разъединителя нагрузки, собранные в одном корпусе. Оно играет роль своеобразного предохранителя, который отключает оборудование в случае критичных перепадов напряжения. «Сердце» реле напряжения может быть изготовлено на базе микропроцессора или простого компаратора. При этом микропроцессорные реле напряжения отличаются более плавной регулировкой верхнего и нижнего порога срабатывания.

Главным параметром реле напряжения является быстрдействие. При этом время срабатывания некоторых реле составляет всего лишь десятки наносекунд. Установка порога срабатывания осуществляется потенциометром по градуированной шкале [1].

Принцип действия реле заключается в следующем: реле мгновенно отключает защищаемый участок при повышении или понижении напряжения и автоматически включает его при стабилизации напряжения в сети. Поэтому оно весьма эффективно при аварийных ситуациях, которые возникают в результате обрыва нейтрали, перегрузки, перекоса фаз и т. п.

Как показывает практика, сегодня все большее количество покупателей решают приобрести реле. Это можно объяснить тем, что устройство позволяет экономить немалые деньги, которые тратились бы на ремонт техники [3].

В наше время на рынке электротехнических изделий уже имеются различные виды реле напряжения, одним из самых распространен-

ных является однофазное реле напряжения «РН-113», внешний вид которого представлен на рисунке 2. Данное реле предназначено для отключения бытовой и промышленной однофазной нагрузки любой мощности при недопустимых колебаниях напряжения в сети.



Рисунок 2 – Внешний вид однофазного реле напряжения «РН-113»

Схема электрическая принципиальная однофазного реле напряжения «РН-113», дающая представление о принципе его работы, приведена на рисунке 3 [4].

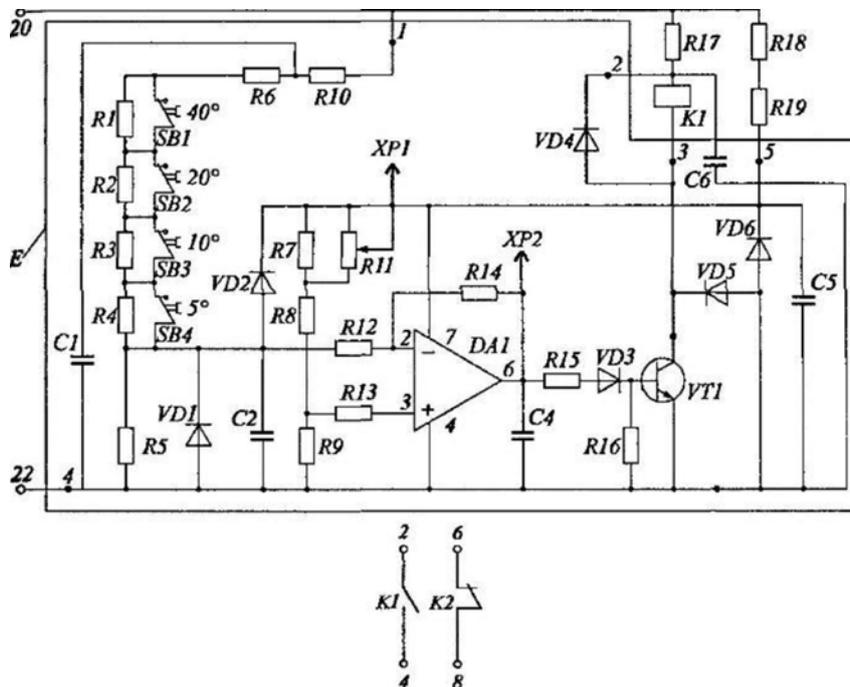


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная однофазного реле напряжения «РН-113»

Данное реле выполнено на современных элементах, позволяющих обеспечить высокую точность работы, имеет регулировку уставки

и цифровой дисплей для наблюдения за напряжением сети, но имеет очень высокую цену. Эту проблему можно решить с помощью разработки нового реле контроля напряжения, которое будет иметь низкую стоимость за счет применения современной элементной базы с использованием микроконтроллеров, и при этом сохранять все функции, которые присущи более дорогим аналогам.

Таким образом, разрабатываемое в данной работе микропроцессорное реле контроля напряжения, учитывая недостатки существующих на рынке аналогов, будет иметь широкий функционал и низкую стоимость, и тем самым удовлетворит потребности покупателей на рынке электроэнергетической продукции.

#### **Список использованных источников:**

1. Реле **напряжения**: какие бывают, как выбрать и подключить? [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://elektrik.info/main/sekrety/388-rele-napryazheniya-kakie-byvayut-kak-ego-i-vybrat-i-podklyuchit.html>

2. Дубинин В. В. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях [Электронный ресурс] / В. В. Дубинин, А. Н. Попов – Загл. с экрана. – Режим доступа: [http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2013\\_04\\_2/pdf/066dubinin.pdf](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/pv2013_04_2/pdf/066dubinin.pdf)

3. Как работает реле контроля напряжения? [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://electric-tolk.ru/rele-kontrolya-napryazheniya/>

4. Реле напряжения РН-113 [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://electroforum.su/index.php?topic=1299.0>

***Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Игорь Анатольевич Новосёлов – e-mail: [cskaforever-09@bk.ru](mailto:cskaforever-09@bk.ru); к.т.н., доцент Андрей Николаевич Попов – e-mail: [oleandr78@mail.ru](mailto:oleandr78@mail.ru), тел. +7(385-2)29-07-76.*

## **МЕТОДЫ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

И. В. Овсянников, С. О. Хомутов, А. О. Жигалин

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

Филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго»

*В статье рассмотрены проблемы энергосбережения и повышения энергоэффективности. Дано описание рассматриваемого подхода к снижению потерь при транспортировке электроэнергии. Приведены ожидаемые результаты от осуществления выбранных методов, сделаны выводы.*

*Ключевые слова: электроэнергия, энергоэффективность, энергосбережение, технологические потери, коммерческие потери, поставщик электроэнергии, транспортировка электроэнергии.*

В современном мире прослеживается тенденция постоянного роста потребности в энергии. Чем больше развивается общество, тем сильнее возрастает его энергопотребление. Но в силу того, что энергетические ресурсы, которые использует человечество на данном этапе развития, ограничены, этот рост потребления ведет к повышению цен на энергоресурсы. В конечном же счете все это отражается в увеличении стоимости энергии. В связи с этим в настоящее время остро встает вопрос о повышении энергоэффективности оборудования, чтобы получать больше полезной работы на единицу затраченной энергии и о снижении потерь энергии на всем ее жизненном цикле: от производства, транспорта до ее потребления. Эта проблема очень актуальна сейчас, общество стремится удовлетворить темпы роста энергопотребления за счет более рационального, более бережного использования уже полученной энергии, взамен того, чтобы вводить новые мощности в эксплуатацию для генерации больших объемов энергии, требующие колоссальных затрат.

Сейчас Россия занимает 4-е место в мире по объему потребления энергии, по показателю энергоемкости она превосходит многие экономики, сравнимые по другим параметрам. Энергоемкость российской промышленности по сравнению с лидерами европейской экономики в 3 раза выше [1]. Вопросы энергосбережения являются очень сложны-

ми и вместе с тем важными, требующими решений на государственном уровне. Так 23 ноября 2009 года в Российской Федерации вступил в силу федеральный закон № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2]. Для крупных энергоемких предприятий и организаций закон прописывает обязательное проведение энергетических обследований, наличие программ по энергосбережению. А чтобы все это претворялось в жизнь, государство делает ставку на появление в стране многочисленных энергосервисных компаний, которые позволят предприятиям реализовывать инвестиционные проекты, а сэкономленные на потреблении электроэнергии средства делить между собой [3].

Поскольку сейчас потребители производят оплату по показаниям приборов учета электроэнергии, т.е. платят только за тот объем электрической энергии, который они действительно потребили, то все потери электроэнергии, возникающие в процессе ее транспортировки, «ложатся на плечи» поставщиков. Энергоснабжающие компании несут финансовые издержки, так как не весь запланированный объем электроэнергии, купленный у генерирующих компаний, в конечном счете, они продают потребителям. Это стимулирует поставщиков электроэнергии разрабатывать и внедрять реальные программы и отдельные мероприятия по снижению потерь.

Для анализа и нормирования потерь их разделяют на следующие составляющие исходя из их физической природы:

- технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей;
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала;
- потери электроэнергии, обусловленные погрешностями ее измерения (недоучет электроэнергии, метрологические потери);
- коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате электроэнергии бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии [4].

Сумма первых трех составляющих потерь описывается термином технологические потери.

Одной из компаний, осуществляющих политику энергосбережения и активно применяющих энергосберегающие технологии, является

филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго». Анализируя структуру потребления энергоресурсов филиала за 2013 год, представленную на рисунке 1, можно увидеть, что из всего объема потребленных ресурсов большая часть приходится на потери электроэнергии при технологическом процессе ее транспорта.



Рисунок 1 – Структура потребления энергоресурсов филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго» за 2013 год.

Поэтому в электросетевом комплексе филиала ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго» особое внимание уделяется снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям. Основной целью мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях является доведение потерь электроэнергии до их оптимального уровня 9,16%. В идеальном случае коммерческие потери электроэнергии в электрической сети, определяемые расчетным путем, должны быть равны нулю. В реальных условиях отпуск в сеть, полезный отпуск и технические потери определяются с погрешностями. Их разности фактически и являются структурными составляющими коммерческих потерь. Они должны быть по возможности сведены к минимуму за счет выполнения соответствующих мероприятий по их снижению [5].

С этой целью авторами статьи проведен анализ данных о величине технологических и коммерческих потерь в сетях 0,4 – 10 кВ в фи-

лиале ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго» и сделан выбор потенциального объекта обследования – участка с наибольшими показателями коммерческих и технологических потерь.

В настоящее время производится расчет технологических потерь на выбранном объекте в соответствии с приказом № 326 Министерства энергетики Российской Федерации от 30 декабря 2008 г. «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» [6].

Затем будут выполнены анализ и сравнение результатов расчета величины технологических потерь с имеющимися данными о потерях на исследуемом участке электрической сети. Будут разработаны организационные и технические мероприятия по снижению уровня коммерческих и технологических потерь на рассматриваемом участке сети. Кроме того, будет произведен расчет прогнозируемого уровня технологических потерь на объекте исследования с учетом выполнения мероприятий по снижению величины потерь в соответствии с [6].

В завершении будут обработаны результаты проведенных расчетов, сформированы выводы об эффективности предложенных мероприятий по снижению технологических и коммерческих потерь на выбранных объектах исследования, оценена прибыль, получаемая в результате проведения мероприятий по снижению потерь, и спрогнозирован срок их окупаемости.

Потери электроэнергии являются важнейшим показателем рентабельности и эффективности работы электрооборудования и электрических сетей. Планомерное уменьшение потерь и более бережное использование электроэнергии обеспечивают покрытие объемов электропотребления силами действующих генерирующих станций без сооружения новых мощностей. Модернизация энергообъектов обходится гораздо дешевле, чем создание совершенно новых и окупается быстрее. Следовательно, разумнее и выгоднее снижать технологические потери электроэнергии до нормативных значений и стремиться исключить коммерческие, чем покрывать их за счет строительства новых мощностей.

#### **Список использованных источников:**

1. Внедрение «умной» энергетики повысит конкурентоспособность бизнеса [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://altay-energohelp.ru/news/main/7536/#>

2. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_169445](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169445).

3. До и после лампочки [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://www.rg.ru/2009/11/27/lamp.html>.

4. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов [Текст] / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456с. : ил.

5. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : [http://esco-ecosys.narod.ru/2005\\_5/art44.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2005_5/art44.htm).

6. Приказ от 30 декабря 2008 г. №326 «Об организации в министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=98060>.

***Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Илья Владимирович Овсянников – e-mail: [ovsyannikov-iv@mail.ru](mailto:ovsyannikov-iv@mail.ru); д.т.н., профессор Станислав Олегович Хомутов – e-mail: [homutov.so@yandex.ru](mailto:homutov.so@yandex.ru), тел. +7(3852) 29-07-76. 656002, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Кулагина, 16, филиал ОАО «МРСК Сибири» – «Алтайэнерго», служба учета электроэнергии департамента учета электроэнергии и энергосбережения, главный специалист Андрей Олегович Жигалин – e-mail: [Zhigalin\\_AO@mail.ru](mailto:Zhigalin_AO@mail.ru).*

## УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ В СЕТЯХ ДО 1000 В

К. Г. Ольферт, Н. В. Стеклов, А. Н. Попов  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрен метод диагностики в реальном времени технического состояния полимерных изоляторов в электрических сетях 0,4 кВ. Представлено описание разрабатываемого прибора.*

*Ключевые слова: полимерный изолятор, прибор, диагностика, ток утечки.*

Современное общество практически полностью зависит от электроэнергии. Комфорт быта невозможен без электроприборов. Высокая производительность труда невозможна без электронных устройств. Промышленный комплекс не может функционировать без электроэнергии.

Сети напряжение 0,4 кВ выбраны не случайно. Они имеют наибольшее распространение в частном секторе, где важно обеспечить безопасное и надежное электроснабжение. Данные сети наиболее запущенные в ремонт. Метод контроля должен быть не только быстрым и оперативным, но и простым в применении на месте работ, чтобы не создавать неудобства для населения [1].

Для надежного электроснабжения необходимо постоянно контролировать состояние линии электропередачи, в частности не поврежден ли изолятор на опоре. Несвоевременное обнаружение пробоя изолятора может привести не только к повреждению линии электропередачи, следствием чего является сбой в электроснабжение, но и даже к созданию опасности для жизни человека.

В связи с названными фактами, необходимо обеспечить эффективный контроль технического состояния изолятора в сетях. На особое внимание к электрическим сетям низкого напряжения указывают специалисты многих энергосетевых и сбытовых компаний, анализируя потери при перетоках электрической энергии. Так, например в [3] приведено процентное соотношение потерь электроэнергии от общих по АО «Ленэнерго» для сетей различного напряжения:

- сети напряжением 110 кВ и выше — 3,68%;

- сети напряжением 6(10) — 35 кВ — 23,89%;
- сети напряжением 0,4 кВ — 72,43%.

На сегодняшний день существует несколько способов контроля пробоя изолятора. Но не все они легко реализуемы, а созданные по ним приборы не везде применимы и не всегда обеспечивают эффективный контроль [2].

Методы контроля состояния изолятора:

– разрушающие (в результате проверки изолятор полностью или частично разрушается, исключается его дальнейшая эксплуатация);

– неразрушающие:

а) метод проведения измерений тока сквозной проводимости. Преимущество данного метода в непосредственном определении работоспособности изолятора, относительная простота и дешевизна. Недостатком является возможность применения только на изоляторе находящемся под напряжением.

б) метод проведения измерения угла диэлектрических потерь. Преимуществом является возможность определения работоспособности большого числа изоляторов на линии. Недостаток состоит в необходимости подключения к рабочей сети под напряжением.

в) метод основанный на измерении ёмкости. Преимущество данного метода в простоте оборудования для измерения ёмкости. Недостаток - большое влияние внешних факторов, либо же проведение измерений только в лабораторных условиях.

г) метод измерения распределения напряжения. Применим только для гирлянд составных изоляторов.

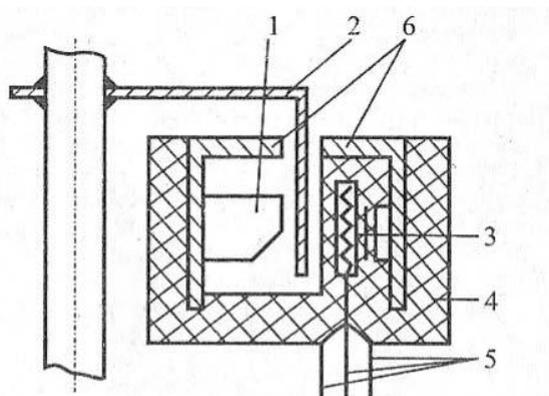
д) метод измерения частичных разрядов в изоляции. Основным недостатком данного метода является сложность отстройки от помех, при измерении непосредственно на рабочем изоляторе под напряжением.

е) метод основанный на использовании ультразвука или рентгеновских лучей для просвечивания. Данный метод неприменим для изоляторов находящихся на опоре ЛЭП под напряжением.

В разрабатываемом устройстве для контроля будет использоваться метод проведения измерений тока сквозной проводимости, основанный на эффекте Холла.

Сущность эффекта состоит в следующем. Если через проводящую пластинку пропускать ток, а перпендикулярно пластинке направить магнитное поле, то в направлении поперечном току (и направлению магнитного поля) на пластинке появится напряжение. Данное напряжение с помощью аналого-цифрового преобразователя используется как контрольный параметр.

Устройство датчика Холла изображено на рисунке 1.

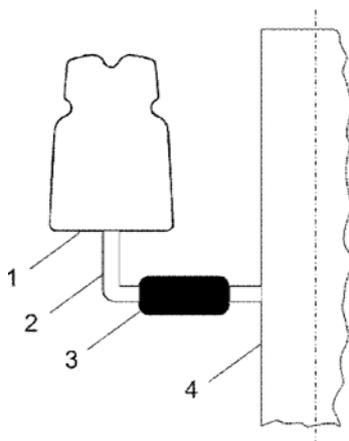


- 1) постоянный магнит; 2) ротор;
- 3) микросхема; 4) пластмассовый корпус;
- 5) выводы; 6) магнитопроводы

Рисунок 1 – Устройство датчика Холла

Измерительная часть прибора устанавливается на креплении изолятора, для замера тока утечки через изолятор. Данное место установки в случае пробоя изолятора позволит быть уверенным в правильности показания прибора, а также исключит внешнее влияние параметров сети на точность показаний прибора.

Схема установки измерительной части прибора изображена на рисунке 2.



- 1) изолятор; 2) крепеж изолятора;
- 3) измерительная часть датчика Холла; 4) опора

Рисунок 2 – Схема установки измерительной части прибора

Выбранный метод имеет существенные преимущества перед другими методами контроля:

- возможность создания как стационарной системы контроля, установленной непосредственно на опоре ЛЭП, так и переносного варианта;

- относительная дешевизна оборудования;
- компактность прибора;
- простота технической реализации;
- проведение контроля непосредственно на рабочем изоляторе, находящимся под напряжением;

- собственный источник питания;
- возможность отстройки помех;
- точность измерения;
- высокая чувствительность;
- применим для любых полимерных изоляторов;
- отсутствие внешнего влияния на прибор;
- отсутствие влияния на рабочие качества изолятора;
- безопасность установки;
- отсутствие частей, находящихся под высоким напряжением.

На основе выбранного метода разработаны структурные схемы прибора и его внешние виды для двух типов прибора:

- переносного, имеющего компактные размеры и применимого в любых условиях;

- стационарного, устанавливаемого на опоре ЛЭП, передающего данные через GSM.

Структурная схема переносного прибора изображена на рисунке 3, где:

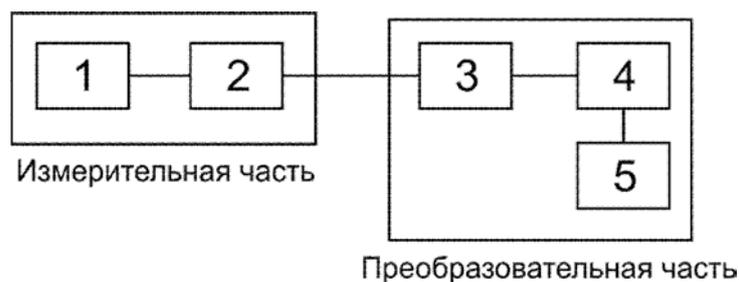
- датчик Холла – элемент измерения магнитного поля, создаваемого током утечки. По величине магнитного поля от тока утечки, можно сделать вывод о состоянии изолятора;

- усилитель – необходим для увеличения чувствительности прибора, так как измеряемая величина магнитного поля довольно мала;

- АЦП – преобразует аналоговый сигнал с усилителя (величину напряжения) в цифровой сигнал для последующей его обработки;

- устройство обработки сигнала – состоит из схемы - компаратора для сравнения измеренных значений, их обработки, отсечки помех, калибровки прибора;

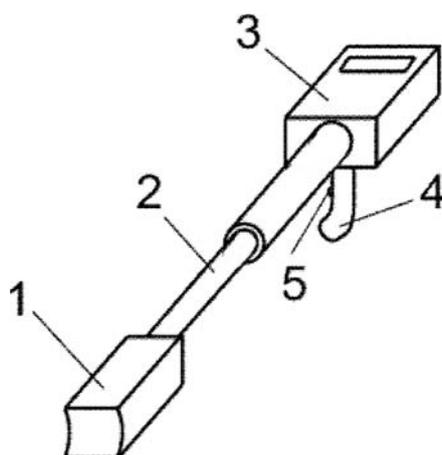
- дисплей прибора – служит для визуального отображения показаний прибора.



- 1) датчик тока Холла; 2) усилитель;  
 3) АЦП; 4) устройство обработки сигнала;  
 5) устройство отображения сигнала (дисплей, индикатор)

Рисунок 3 – Структурная схема переносного прибора

Внешний вид переносного прибора изображен на рисунке 4.



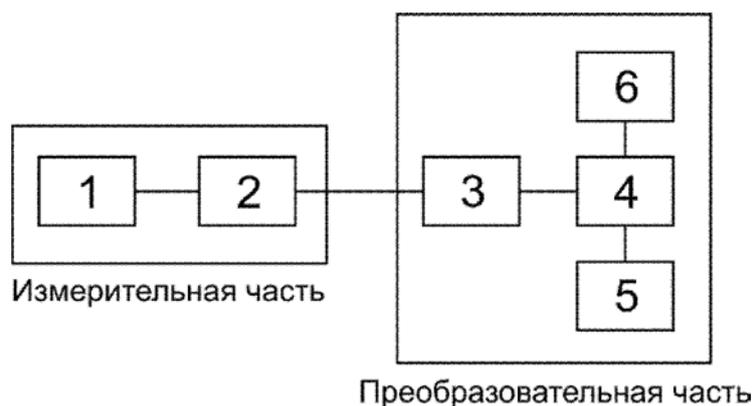
- 1) измерительная часть; 2) телескопическая трубка;  
 3) преобразовательная часть; 4) ручка; 5) кнопка

Рисунок 4 – Внешний вид переносного прибора

Структурная схема стационарного прибора изображена на рисунке 5, где:

- датчик Холла – элемент измерения магнитного поля, создаваемого током утечки. По величине магнитного поля от тока утечки, можно сделать вывод о состоянии изолятора;
- усилитель – необходим для увеличения чувствительности прибора, так как измеряемая величина магнитного поля довольно мала;
- АЦП – преобразует аналоговый сигнал с усилителя (величину напряжения) в цифровой сигнал для последующей его обработки;

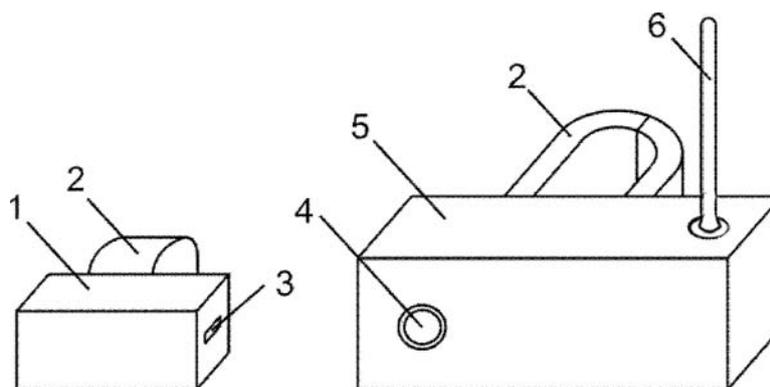
- устройство обработки сигнала – состоит из схемы - компаратора для сравнения измеренных значений, их обработки, отсечки помех, калибровки прибора;
- GSM-модем – передает сигнал о неисправности изолятора;
- порт – предназначен для считывания данных непосредственно с прибора, если GSM связь не работает.



- 1) датчик тока Холла; 2) усилитель;  
 3) АЦП; 4) устройство обработки сигнала;  
 5) GSM – модем; 6) порт для считывания данных

Рисунок 5 – Структурная схема стационарного прибора

Внешний вид стационарного прибора изображен на рисунке 6.



- 1) измерительный блок; 2) крепеж;  
 3) порт для соединения с основным блоком;  
 4) порт для считывания данных;  
 5) основной блок; 6) антенна

Рисунок 6 – Внешний вид стационарного прибора

При всем разнообразии методов развитие области контроля изоляторов оставляет желать лучшего. Наибольшую запущенность имеют сети напряжением 0,4 кВ, им меньше всего уделяется внимание, несмотря на их значимость. Поэтому крайне важно использовать устройство для контроля состояния изолятора. Это обеспечит безопасное и надежное электроснабжение для населения.

#### **Список использованных источников:**

1. Рынок полимерных изоляторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.energyland.info/analitic-show-9575>
2. Голенищев-Кутузов, А. В. Диагностическая система контроля рабочего состояния полимерных изоляторов [Текст] / А. В. Голенищев-Кутузов, А. Ю. Черномашенцев, Л. И. Евдокимов. – СПб. : Изд-во СПб. политехн. ун-та, 2010. – Т. 1. – С. 162.
3. Бондаренко, А. Н. Для успешной борьбы с потерями электроэнергии необходимо их оценить и проанализировать [Текст] / А. Н. Бондаренко // Новости электротехники. – 2002. - №4. – С.16-17.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент К. Г. Ольферт – e-mail: ol.kost5@yandex.ru; студент Н. В. Стеклов – e-mail: nktsteklov@gmail.com; к.т.н., доцент А. Н. Попов – e-mail: oleandr78@mail.ru.*

## **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОБЛАСТЬ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЙ**

И. А. Поляков

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
Филиал ОАО «СО ЕЭС» Алтайское РДУ  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им.  
И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена зависимость области допустимых режимов энергосистемы по токовому ограничению сетевых элементов в контролируемом сечении в зависимости от загрузки внешних связей.*

*Ключевые слова: энергосистема, устойчивость, токовая нагрузка, сечение, возмущение, область устойчивости.*

Для ЕЭС России характерно наличие протяженных электрических связей, соединяющих между собой отдельные энергетические районы. Географическая удаленность энергетических районов друг от друга, различная структура и соотношение их нагрузки и генерации обуславливают наличие системных перетоков мощности между частями ЕЭС. При этом очевидно, что такой обмен мощностью влияет на режим работы шунтирующих электрических связей.

Для качественной оценки влияния внешних перетоков мощности на режим работы энергорайонов рассмотрена модель энергосистемы (Рисунок 1), имеющей ключевую особенность – наличие в составе энергорайона электрических связей, потокораспределение по которым может изменяться в зависимости от загрузки сети вне энергорайона при неизменном перетоке активной мощности в рассматриваемый энергорайон.

Модель состоит из группы с балансирующим узлом (Восток), моделирующих правую часть энергосистемы, группы узлов с нагрузкой и генерацией (Запад), моделирующих левую часть энергосистемы и узел «Энергорайон» с питающей ПС 500 кВ, имеющий свою нагрузку и генерацию. Энергорайон полностью входит в состав рассматриваемого контролируемого сечения «Энергорайон».

В данной модели имеется 2 узла с генерацией и нагрузкой, определяющих режим работы энергосистемы – Запад и Энергорайон. Режим работы базового узла Восток (значения  $P$  и  $Q$ ) полностью определяется нагрузками и генерацией в узлах Запад и Энергорайон. При этом разность между нагрузкой и генерацией в этих узлах есть переток активной мощности в соответствующих сечениях. Так, разность величины нагрузки и

генерации для Энергорайона есть переток активной мощности в сечении «Энергорайон», для Запада - переток активной мощности в сечении «Запад».

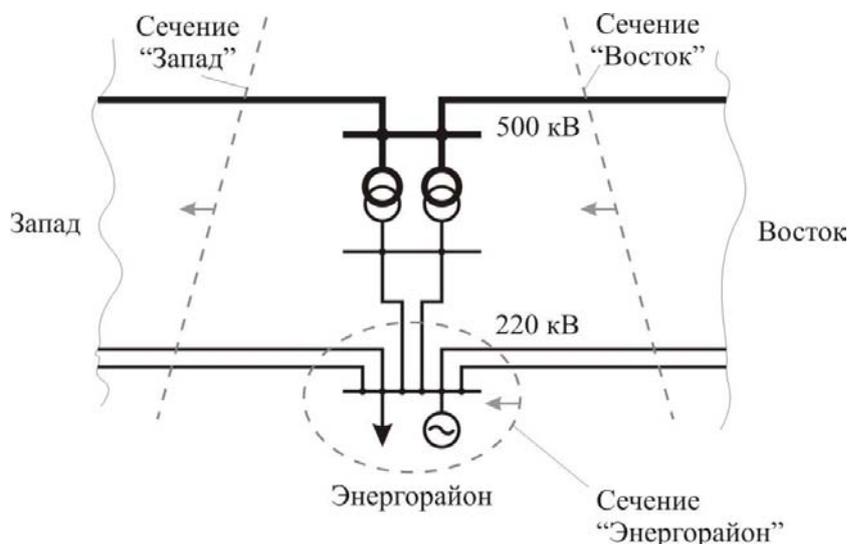


Рисунок 1. Модель энергосистемы

Если к величине перетока активной мощности в сечении «Запад» добавить величину перетока активной мощности в сечении «Энергорайон» и потери активной мощности в электрической сети, то получим переток активной мощности в сечении «Восток».

Таким образом, режим работы энергосистемы можно описать перетоками активной мощности по двум сечениям, например, «Энергорайон» и «Запад».

Для описанной выше модели были произведены расчеты токовой загрузки сетевого элемента – ВЛ Восток – Энергорайон I цепь. Расчеты производились для нормальной (полной) и ремонтной (отключена II цепь ВЛ) схем при изменении величин перетоков активной мощности в сечениях «Энергорайон» и «Запад» в диапазонах от -1000 до +1000 МВт для каждого сечения. В качестве допустимых режимов работы рассматривались режимы без перегрузки сетевых элементов (ВЛ) по току [1].

При проведении расчетов был выставлен широкий диапазон регулирования по реактивной мощности в узлах генерации, позволяющий принять напряжение в этих узлах как фиксированное. Расчетные значения генерации реактивной мощности в этом случае характеризуют границы диапазонов регулирования, необходимых для поддержания требуемых уровней напряжения в энергорайонах при различных величинах и направлениях перетоков активной мощности в контролируемых сечениях в нормальной и ремонтных схемах.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2. В ремонтной схеме наблюдается увеличение токовой загрузки ВЛ I цепи при отключенной II

цепи относительно токовой загрузки ВЛ I цепи в нормальной схеме. Если отсечь часть поверхности плоскостью, соответствующей выбранному току по ВЛ (плоскость, перпендикулярная вертикальной оси), то проекция оставшейся части поверхности на горизонтальную плоскость будет представлять собой допустимую область режимов по току рассматриваемой ВЛ. На рисунке 3 представлены проекции частей поверхностей токовой загрузки для нормальной и ремонтной схемы при фиксированной величине токового ограничения 300 А.

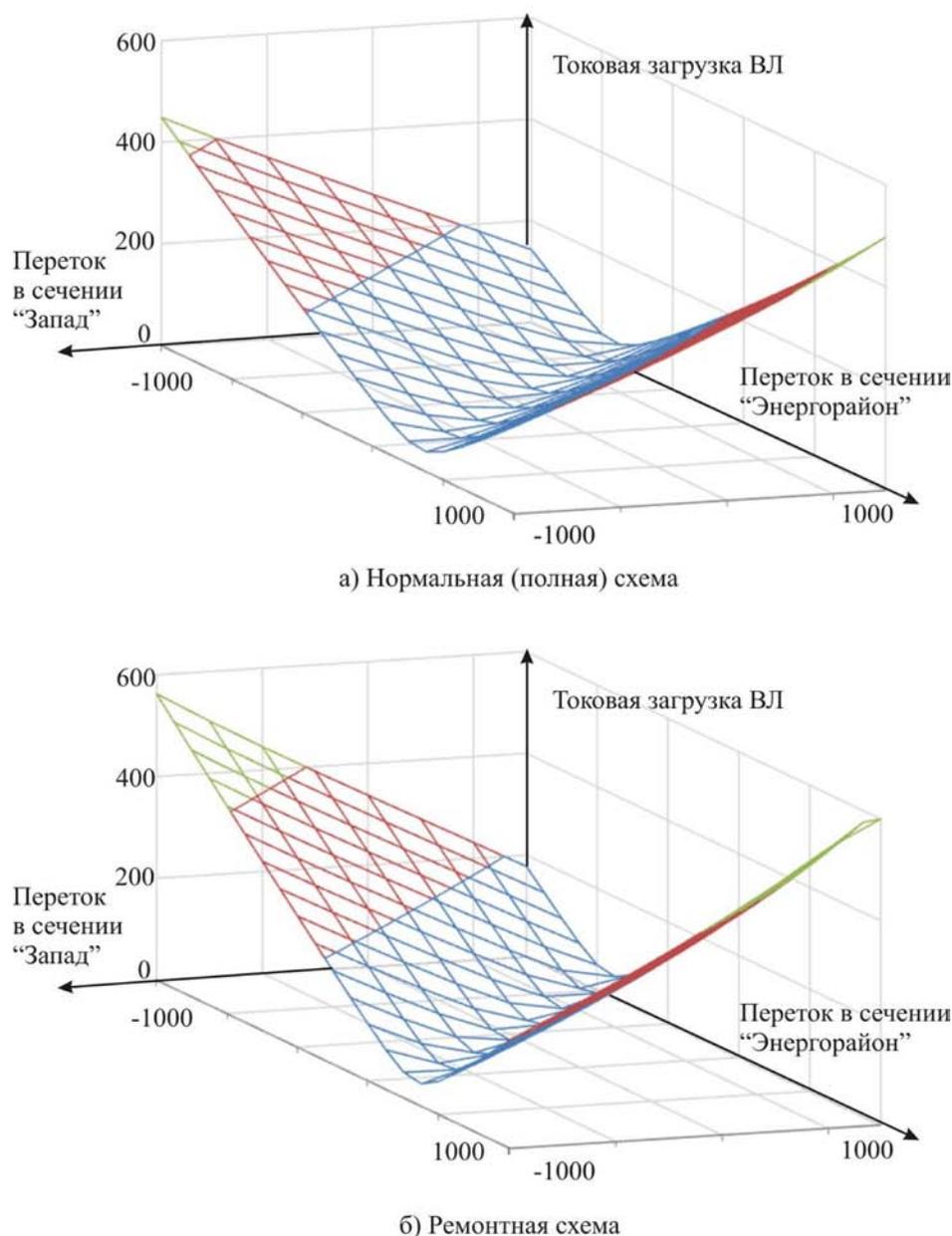


Рисунок 2 – Загрузка ВЛ Восток – Энергорайон I цепь в зависимости от перетоков активной мощности в сечениях «Энергорайон» и «Запад»

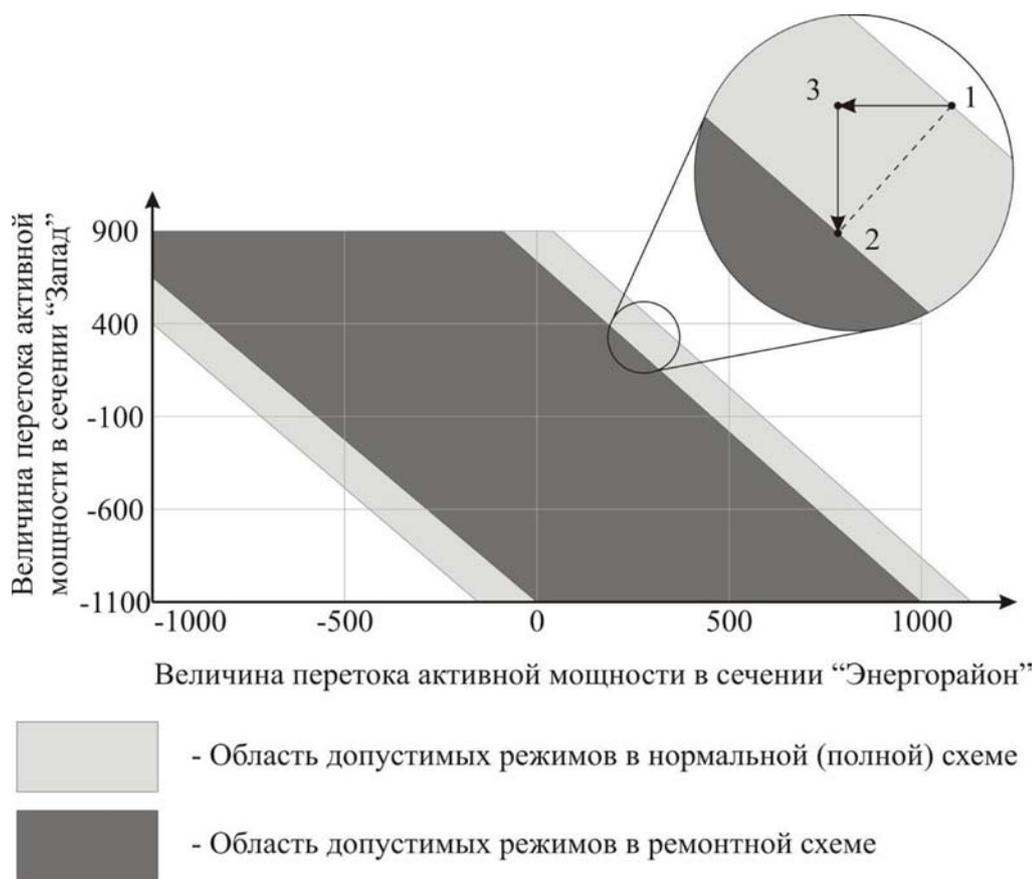


Рисунок 3 – Область допустимых режимов по току ВЛ Восток – Энергорайон.

Из рисунка 3 видно, что при работе энергосистемы на границе допустимых режимов (точка 1) в случае рассматриваемого отключения ВЛ II цепи фактический режим выходит за допустимую область, что соответствует перегрузке ВЛ. Для ввода в допустимую область (снятия перегрузки) по кратчайшему пути в данном случае необходимо воздействие на перетоки активной мощности в сечении «Энергорайон» (Отрезок 1-2) и сечении «Запад» (Отрезок 3-2). В этом случае режим вводится в допустимую область без перегрузки ВЛ (точка 2).

Также из рисунка 3 видно, что при фиксированном перетоке в сечении «Энергорайон» в зависимости от величины и направления внешних перетоков (Сечение «Запад») фактический режим может как попадать в допустимую область, так и выходить за её пределы.

Близость к границе допустимых режимов определяет необходимые объемы воздействия для ввода в допустимую область в случае изменения режима при возмущении. При этом, как показано выше, необходимый объем управляющих воздействий при прочих равных

условиях при одной и той же величине перетока активной мощности в сечении «Энергорайон» различен и должен быть изменен в зависимости от величины внешних перетоков.

Таким образом, необходим учет величины и направления перетоков активной мощности во внешней сети при определении допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях, содержащих шунтирующие внешнюю сеть элементы.

#### **Список использованных источников:**

1. Методические указания по устойчивости энергосистем [Текст]. Утв. приказом Минэнерго России от 30.06.2003 №277.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», аспирант Иван Александрович Поляков – e-mail: neomoria@gmail.com.*

**СОЗДАНИЕ ОСОБО ЛЕГКОЙ БЫСТРОСБОРНОЙ И  
БЫСТРОМОНТИРУЕМОЙ КОМПЛЕКТНОЙ КОМПОЗИТНОЙ  
ОПОРЫ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ  
ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 6 - 10 КВ**

И. И. Савин, Е. Ю. Лебедев, И. М. Савин, В. Н. Седелков  
Россия, Алтайский край, г. Бийск,  
ЗАО НПП «Алтик»

*В статье описывается работа авторов по созданию специальных легких быстросборных быстромонтируемых композитных опор повышенной надежности для сооружения воздушных линий 6 - 10 кВ в труднодоступной местности и сложных климатических условиях.*

*Ключевые слова: композитные опоры, воздушные линии электропередачи.*

Роль электрического оборудования в обеспечении качества жизни граждан и безопасности рабочих процессов год от года возрастает. В связи с этим растет и важность обеспечения бесперебойного снабжения электроэнергией различных потребителей, к числу которых в последние годы добавилось множество важных и потенциально опасных объектов автомобильного, авиационного и трубопроводного транспорта, а также объекты связи и телекоммуникаций, часто расположенные в самых сложных географических и климатических условиях. Наиболее затратными по капитальным вложениям и в тоже время наиболее уязвимыми к действию неблагоприятных климатических факторов являются воздушные линии электропередач, особенно это относится к распределительным сетям низких классов напряжений 6/10 кВ, которые не закольцованы и имеют упрощенные элементы конструкции (опоры, арматуру) со сравнительно низким запасом прочности, но высокой удельной массой (прежде всего железобетонные стойки опор и стальные траверсы). В последние годы наметилась тенденция замены железобетонных стоек на более эффективные аналоги, особенно на труднодоступных участках линий и на участках, проходящих в сложных климатических условиях. Прежде всего это горные районы и болотистая местность Севера и Сибири. Поэтому проявляется интерес к новым типам опор: стальным многогранным, стальным из гнутого профиля и композитным. Целью работы авторов является разработка, освоение производства и внедрение в опытно-

промышленную эксплуатацию особо легких быстросборных и быстромонтируемых композитных опор повышенной надежности для ВЛ 6/10 кВ.

Композитные опоры воздушных линий электропередач — сравнительно новый тип мачтовых конструкций, история которых насчитывает не более 15 лет. Опыт применения их в настоящее время еще небольшой, но характеристики современных композиционных материалов придают опорам этого типа ряд необычных для других типов опор свойств, представляющих определенный интерес с точки зрения снижения затрат на монтаж и повышения эксплуатационной надежности воздушных линий электропередач.

Композитом называется неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более функционально различающихся компонентов, имеющих четкие границы, при этом свойства композита определяются не только и не столько свойствами самих компонентов, сколько их пространственным расположением и характером взаимодействия. В настоящее время термины «композит» и «композитный материал» используется более узко в отношении лишь армированных полимерных композиционных материалов (ПКМ). В качестве армирующих наполнителей в настоящее время получили распространение (в порядке убывания): стеклянное, базальтовое, органическое и углеродное волокно. Органическое и углеродное волокно имеют очень высокую стоимость и крупнотоннажных массовых изделиях применения не находят.

Стеклопластики (СП) и базальтопластики (БП) близки по своим физико-механическим характеристикам (ФМХ).

Указанные особенности ФМХ СП и БП позволяют создавать сверхлегкие мачтовые конструкции, устойчивые к действию повышенных статических и динамических нагрузок. Кроме того, стеклопластики и базальтопластики являются диэлектриками с очень высокими изолирующими свойствами. Основным недостатком данных материалов — достаточно высокая цена. Поэтому их применение оправдано лишь на линиях, сооружаемых в труднопроходимой местности (горы, тундра, тайга, болота) или для строительства линий высокой степени надежности, обслуживание которых затруднено. Высокие диэлектрические свойства стойки позволяют ВЛ сохранять работоспособность при пробое или перекрытии изоляции, а также исключают возникновение блуждающих токов или гибель птиц.

Учитывая вышеобозначенные особенности изделий из композитных материалов, авторами была разработана конструкция облегченной высокопрочной быстросборной и быстромонтируемой компактной при

транспортировке комплектной композитной промежуточной опоры для ВЛ 6/10 кВ. В таких изделиях испытывают потребность энергосервисные организации нефтегазовых компаний, операторов сотовой связи. В связи с этим к конструкции предъявляются следующие специфические требования:

- возможность транспортировки не менее 10 опор одновременно вертолетом в грузовой кабине;

- возможность массовой транспортировки легким вездеходным транспортом;

- возможность ручной транспортировки секций опоры в местах, недоступных для техники;

- возможность сборки в полевых условиях с помощью простейших средств;

- возможность монтажа в пробуренный котлован без использования спецтехники;

- стойкость опор и всей линии к экстремальным климатическим нагрузкам;

- возможность продолжения работы линии без отключения при нарушениях изоляции;

- снижение опасности ВЛ для окружающей среды, вызванной блуждающими токами и исключение случаев гибели птиц на ВЛ.

Эти требования были сформулированы авторами на основе публичных технических заданий компаний «Газпром-Стройтек-Салават» и «Татнефть-Энергосервис» на перспективные типы опор ВЛ 6 - 10 кВ.

Предложенная авторами конструкция опоры ПК10-1 представлена на рисунке 1. Опора свободностоящая типа «столб» секционной конструкции. В варианте для транспортировке вертолетом, вездеходом и вручную конструкция разбита на три секции (поз. 1, поз. 2 и поз. 3). Причем масса каждой из секций не превышает 100 кг, диаметр лежит в диапазоне от 165 до 350 мм, а длина секции не превышает 5 м. Если указанных требований по транспортировке нет — конструкция выполняется двухсекционной. Траверсы поз. 4 (или иные элементы для закрепления проводов) выполнены в виде конструктивных элементов верхней секции. Каждая секция представляет собой композитную цилиндрическую трубу с переменной по высоте толщиной стенки. Вторая и третья секция (при ее наличии) в нижней части имеет переходной конический участок. Секции соединяются друг с другом телескопическим стыком (рисунок 2), фиксируемым штифтами 6 и 8, блокируемые кольцами 7 и 9.

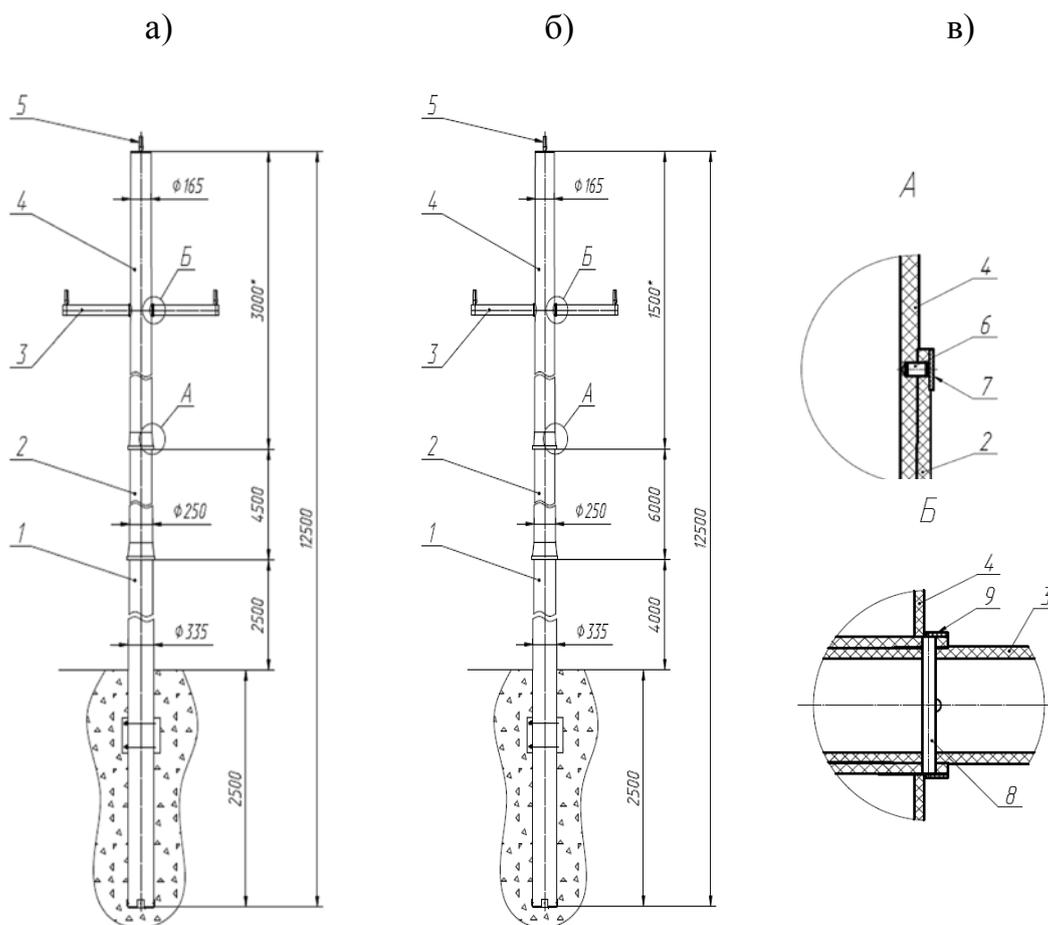


Рисунок 1 - Конструктивные особенности  
стеклопластиковой опоры ПК10-1:

- а) исполнение для транспортировки вертолетом;
- б) исполнение для перевозки наземным транспортом;
- в) конструктивное исполнение стыков.



а)



б)

Рисунок 2 - Сборка телескопического стыка:

- а) стягивание секций
- б) штифтование стыка

С завода опоры поставляются упакованными по схеме «матрешка»: секция меньшего размера помещается внутрь секции большего размера. Элементы траверсы, изоляторы и арматура (при комплектной поставке) также помещаются внутрь секций стойки. Таким образом, размер опоры в транспортной упаковке не превышает размера нижней секции стойки.

Такая конструкция на первый взгляд несколько необычна, но максимально оптимизирована под особенности имеющейся технологии производства, но при этом полностью отвечает требованиям, предъявляемым к опорам. Дело в том, что создание специализированных заводов, ориентированных лишь на выпуск композитных опор ВЛ пока экономически не целесообразно. Но выпуск на существующих мощностях по производству стеклопластиковых труб вполне рентабелен. Применение телескопического стыка связано также с особенностями технологии производства. Дело в том, что внутренняя цилиндрическая поверхность секции стойки формируется на технологической оправке, выполненной с высокой точностью. Наружная цилиндрическая поверхность участка стойки в зоне телескопического стыка механически обрабатывается с высокой точностью. Таким образом формируется посадка с расчетным значениям натяга. Стык фиксируется штифтами поз. 6 устанавливаемыми с натягом, которые фиксируются в отверстиях накиданным запорным кольцом поз. 7, также устанавливаемым с натягом на наружную поверхность. Полученное соединение оказывается прочным, компактным и исключает относительные колебания секций. Переменная толщина стенки обеспечивает равнопрочную и равножесткую конструкцию.

Полученная опора обладает пониженной жесткостью по сравнению с железобетонными аналогами. Это позволяет при буревых скоростях ветра или при обледенении безопасно распределять возникающие локальные избыточные нагрузки по множеству элементов ВЛ и существенно снижает вероятность обрыва проводов и арматуры, а также поломки изоляторов. При этом жесткость вполне достаточна для сохранения безопасных значений габаритов ВЛ. В тоже время конструкционная прочность созданной опоры существенно выше чем у железобетонных и не уступает стальным. Поэтому вероятность излома опоры практически исключается. Высокие диэлектрические свойства ПКМ позволяют существенно снизить требования к изоляции, а также некоторое время (до ремонта) безопасно эксплуатировать линию при повреждении изоляторов и избежать отключений. Последнее очень важно в труднодоступных районах, где ремонтные бригады не всегда имеют возможность оперативно прибыть к месту повреждения, особенно в штормовую погоду. Пониженная жесткость конструкции и ее высокие диэлектрические свойства позволят ВЛ на композитных опорах сохранить работоспособность в сложных условиях погоды. Здесь оценки авторов подтверждаются опытом энергокомпаний Канады и США [1].

Диэлектрические свойства композитных опор исключают возникновение в грунте блуждающих токов и обеспечивают безопасность для птиц без применение специальных устройств.

Разработанная авторами трехсекционная опора успешно прошла испытания на полигоне ЦИВЛ ОАО «Фирма ОРГРЭС» в соответствии с требованиями стандарта МЭК «Испытания опор воздушных линий электропередач механическими нагрузками», рабочей методики МТ 701.000.0071-86, СНиП-II-23-81 и главы 2.5 ПУЭ 7.

В таблице 1 приводятся характеристики созданной авторами композитной промежуточной опоры ПК-10-1 в сравнении с опорами типа П10-1 (на базе стойки СВ-105), многогранной стальной опоры ПМ-10-1 и специальной стальной опоры ЭЛСИ ПС10П-6АМ из гнутых профилей.

Таблица 1

	ПК-10-1 [2]	П10-1 [3]	ПМ-10-1 [4]	ЭЛСИ ПС10П- 6АМ [5]
Масса (с фундаментом и траверсами), кг	230	1250	377	282 (без фундамента)
Масса наиболее тяжелой детали, кг	120	1170	324	210
Габаритные размеры в транспортной упаковке, мм	360x5000	205x280x1050 (стойка)	310x11100	400x400x9000
Изгибающий момент нормального режима, кН*м	35	36	56	35
Предельный неразрушающий изгибающий момент, кН*м	не менее 150	60	нет данных	нет данных
Отношение предела прочности к модулю упругости материала, ГПа/МПа	12	порядка 3	порядка 5	порядка 5
Состояние опоры после приложения и снятия запредельной нагрузки	восстанавливает исходное состояние	изламывается и падает	получает остаточные пластические деформации и требует замены	

На рисунке 3 представлены фотографии опор ПК10-1 в процессе испытания на полигоне. На рисунке 4 — фотография опоры ПК10-1 в составе действующего участка ВЛ 10 кВ «Татнефть-Энергосервис» в г. Альметьевск (Татарстан).



а)



б)

Рисунок 3 - Испытания опоры ПК10-1 на полигоне ЦИВЛ  
ОАО «Фирма ОРГРЭС» (г. Хотьково, Московская обл.):  
а) опора, установленная на испытательном стенде полигона  
б) испытание опоры на предельную прочность моментом 150 кН\*м



Рисунок 3 - Опоры ПК10-1 в исполнении с подвесной изоляцией  
в составе действующей ВЛ 10 кВ «Татнефть-энергосервис»  
(г. Альметьевск, Татарстан)

Конструкция опоры хорошо оптимизирована под изготовление на существующем оборудовании по выпуску крупногабаритных труд цеха №2 ЗАО НПП «Алтик». Авторами также были решены вопросы обеспечения стойкости опоры к старению под действием излучения Солнца и почвы со щелочной реакцией. В результате выполненной авторами в 2013-2014 годах работы была создана промышленно реализуемая конструкция особо легкой быстросборной быстромонтируемой стеклопластиковой опоры для ВЛ 6 - 10 кВ повышенной надежности. Опора успешно прошла испытания механическими нагрузками, которые подтвердили правильность выбранных авторами решений. В настоящее время авторами разрабатывается семейство опор на основе ПК10-1, в частности опоры аварийного резерва с адаптерами для установки на комлевые обломки железобетонных опор, а также опора с интегрированной изолирующей несущей системой.

#### **Список использованных источников:**

1. Колтхарп, С. Композитные опоры уверенно противостоят стихии / С. Колтхарп, Т. Вайд // Энергоэксперт. – 2010. - Вып. 6.
2. Протокол 2014.114.032 механических испытаний стеклопластиковой промежуточной опоры ВЛ 6-10 кВ производства ЗАО НПП «Алтик» / Каверина Р.С. ОАО «Фирма ОРГРЭС», - М. 2014.
3. Железобетонные опоры ВЛ 10 кВ серия 3.407.1-143. Указания по применению. - М.: СФ ЦИТП Госстоя СССР, 1988.
4. Стальные многогранные опоры 6-10 кВ. Проект 22.0028. ОАО «РОСЭП», 2002.
5. Группа компаний ЭЛСИ. Каталог продукции. 2014 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ftp.elsi.ru/ELSI2014.pdf>.

*Реквизиты для справок: 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 19, ЗАО НПП «Алтик», тел. +7 (385-4) 43-25-62, e-mail: [info@altik.su](mailto:info@altik.su), к.т.н., зам. директора по НИОКР и качеству Игорь Игоревич Савин – e-mail: [sii@altik.su](mailto:sii@altik.su); ведущий конструктор Евгений Юрьевич Лебедев; директор по производству Игорь Михайлович Савин; генеральный директор Виктор Николаевич Седелков.*

## МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

А. М. Саму依лик, Б.С. Компанеец  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрен процесс старения полимерной изоляции. В ходе исследования получена зависимость сопротивления полимерной изоляции от времени при воздействии различных внешних факторов.*

*Ключевые слова: старение изоляции, сопротивление изоляции.*

На сегодняшний день в Российской Федерации значительная доля электропроводки находится в эксплуатации в течение длительного срока без контроля ее состояния. Электропроводка имеет высокую степень изношенности, так как монтируется на объекте в момент ввода его в эксплуатацию, и после этого диагностика ее состояния и ремонт не производятся, вплоть до момента возникновения аварийной ситуации.

Своевременное проведение диагностики и выявление аварийно опасных участков позволит значительно сократить аварийные ситуации на объектах, а также исключить нецелесообразные затраты на замену еще работоспособных элементов сети.

Срок службы элементов сети определяется сроком службы изоляции, так как ее ресурс значительно меньше ресурса токопроводящих частей, и составляет менее 20 лет.

Для сетей до 1 кВ чаще всего для изоляции проводов используются различные полимерные соединения, это обусловливается их негигроскопичностью, гибкостью, пластичностью по сравнению с некоторыми неорганическими диэлектриками, устойчивостью к воздействию воды, кислот и щелочей, большей долговечностью. Старение диэлектрика приводит не только к увеличению потерь электрической энергии в ходе эксплуатации, но и к разрушению вследствие электрического пробоя или физического разрыва. Это приводит к сбоям в работе электрических сетей.

Точное описание процесса разрушения изоляции позволит прогнозировать остаточный срок службы и надежность изоляции, а следовательно появится возможность проведения своевременных ремонт-

ных работ, что позволит свести аварийные ситуации к минимуму и обеспечит бесперебойность работы потребителей.

Старение полимерной изоляции происходит вследствие распада слабых связей между молекулами мономеров (деполимеризация), вступления в реакцию с кислородом (термоокислительное старение), образования свободных радикалов и возникновения радиальных связей. В результате у диэлектрика ухудшаются пластичность и электроизоляционные свойства в результате чего происходит разрушение диэлектрика. Эти явления происходят вследствие различных воздействий на изоляцию (температура, электрическое поле, образование частичных разрядов, химически активные вещества), но все эти воздействия приводят к одному результату: нарушение химического состава диэлектрика. Поэтому процесс старения диэлектрика описывается как протекание химической реакции, а вышеуказанные факторы будут влиять на скорость протекания химической реакции.

Процесс старения диэлектрика можно представить как протекание химической реакции на его поверхности, таким образом химическая реакция будет протекать на границе раздела двух веществ различного агрегатного состояния. Тогда старение диэлектрика подчиняется закону, описывающему скорость гетерогенной реакции:

$$v = \frac{dn}{dt \cdot S}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь поверхности полимерной изоляции;  
 $dn$  – изменение количества вещества за время  $dt$ .

С другой стороны скорость химической реакции подчиняется закону:

$$v = k \cdot [O_2], \quad (2)$$

где  $k$  – константа скорости химической реакции.  
 $[O_2]$  – концентрация кислорода в воздухе.

Константа скорости химической зависит от температуры ( $T$ ). Эта зависимость описывается уравнением Аррениуса:

$$k = A e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)},$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;

$T$  – температура;

$E_a$  – энергия активации химической реакции;

$A$  – величина характеризующая частоту столкновений реагирующих молекул, зависящая от температуры:

$$A = a\sqrt{T}.$$

Учитывая уравнения описывающие константу скорости и величину А, уравнение (2) запишется как:

$$v = a\sqrt{T}e^{(-\frac{E_a}{RT})} * [O_2]. \quad (3)$$

Изменение количества вещества выражается из уравнений (1) и (3):

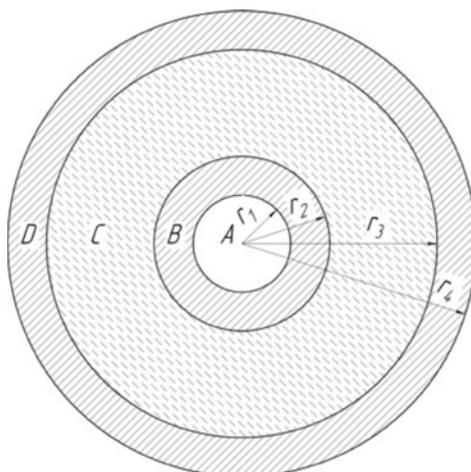
$$dn = a\sqrt{T}e^{(-\frac{E_a}{RT})} * [O_2] * S * dt. \quad (4)$$

Старение диэлектрика начинается как со стороны контакта диэлектрика и воздуха так и со стороны контакта диэлектрика и токоведущей жилы, значит площадь поверхности соприкосновения реагирующих веществ в начальный момент времени будет равна:

$$S = 2\pi(r_1 + r_4)l$$

где  $r_1$  и  $r_4$  – внутренний и внешний радиус изоляции соответственно показано на рисунке 1.

Старение изоляции происходит как на внутренней, так и на внешней поверхностях, поэтому сечение провода будет представлять собой 3 концентрических окружности с медной жилой внутри.



А – токопроводящая жила;

В, D – слой изоляции вступившей в реакцию с внутренней и внешней стороны изоляции соответственно;

С – слой изоляции не вступившей в реакцию

Рисунок 1 – Сечение провода

Негативные факторы будут оказывать не одинаковое влияние на реакцию с внутренней и внешней стороны изоляции (температура у жилы и на поверхности изоляции, наличие агрессивной среды и т.д.) поэтому реакция будет проходить с разной скоростью, но математическое описание и оценка некоторых констант не представляется возможным отдельно для внутренней и внешней зоны. В связи с этим сделать допущение, что скорость течения реакции будет одинакова, а значит прореагировавший слой изоляции за единицу времени будет

изменяться на одинаковую величину  $dr$ , т.е. внутренний радиус увеличится на величину  $dr$ , а внешний уменьшится на величину  $dr$ , т.е.:

$$S = 2\pi((r_1 + dr) + (r_4 - dr))l$$

$$S = 2\pi(r_1 + r_4)l$$

С учётом получившейся площади поверхности, изменение количества вещества (4) примет вид:

$$dn = a\sqrt{T}e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} * [O_2] * 2\pi(r_1 + r_4)l * dt.$$

Тогда формула количества вещества диэлектрика, прореагировавшего с кислородом за время  $t$  при протекании установившегося процесса (температура, концентрация кислорода и прочие внешние факторы постоянны), примет следующий вид:

$$n = a\sqrt{T}e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} * [O_2] * 2\pi(r_1 + r_4)l * t. \quad (5)$$

Сопротивление изоляции будет изменяться с течением времени. Оно будет складываться из сопротивлений бесконечно тонких трубок с сопротивлением  $dR$  толщиной  $dx$ , длиной  $l$  и радиусом  $x$ , таким образом:

$$dR = \frac{\rho_{uz} * dx}{2\pi x l}, \quad (6)$$

где  $\rho_{uz}$  – удельное сопротивление изоляции.

Если проинтегрировать уравнение (5) в пределах от  $x=r_1$  до  $x=r_4$ , то формула для сопротивления изоляции примет следующий вид:

$$R = \frac{\rho_{uz}}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1},$$

где  $r_1$  – радиус токопроводящей жилы;

$r_4$  – внешний радиус изоляции.

Если предположить, что изоляция стареет равномерно по всей длине и на одинаковую глубину по всей окружности цилиндра, тогда электрическое сопротивление изоляции складывается из суммы сопротивлений: электрического сопротивления молекул, не вступивших в реакцию и электрического сопротивления молекул вступивших в реакцию:

$$R_n = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_3}; \quad (7)$$

$$R_p = \frac{\rho_p}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{\rho_p}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_3}; \quad (8)$$

где  $R_n$  – сопротивление не прореагировавшего полимера;

$\rho_n$  – удельное сопротивление полимера;

$R_p$  – сопротивление полимера, состоящего из молекул, вступивших в реакцию;

$\rho_p$  – удельное сопротивление молекул, вступивших в реакцию;

$r_1$  – радиус жилы провода;

$r_2$  – радиус, равный сумме радиуса жилы провода и толщины слоя, прореагировавших молекул, со стороны внутренней поверхности изоляции;

$r_3$  – радиус, равный разности радиуса провода и толщины слоя, прореагировавших молекул, с внешней стороны изоляции;

$r_4$  – радиус провода, т.е. сумма радиуса жилы и толщины изоляции провода.

Тогда сопротивление всей изоляции будет складываться из сопротивления, не прореагировавшего полимера, (7) и сопротивления полимера, состоящего из молекул, вступивших в реакцию (8):

$$\begin{aligned} R_{uz} &= \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} - \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_3} + \frac{\rho_p}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{\rho_p}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_3}; \\ R_{uz} &= \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \left( \ln \frac{r_2}{r_1} + \ln \frac{r_4}{r_3} \right); \\ R_{uz} &= \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \left( \ln \frac{r_1+h}{r_1} + \ln \frac{r_4}{r_4-h} \right); \end{aligned} \quad (9)$$

где  $h$  – толщина одного из слоев прореагировавших молекул.

Т.к. реакция с внешней и внутренней стороны идёт с одинаковой скоростью, то толщины слоев прореагировавших молекул равны, значит:

$$h = r_4 - r_3 = r_2 - r_1.$$

Выразим объем прореагировавшего вещества, через площадь прореагировавшего полимера, состоящего из слоев В и D, и длину:

$$\begin{aligned} S_p \cdot l &= (\pi(r_1 + h)^2 - \pi r_1^2 + \pi r_4^2 - \pi(r_4 - h)^2) \cdot l; \\ S_p \cdot l &= (2\pi r_1 h + \pi h^2 + 2\pi r_4 h - \pi h^2) \cdot l; \\ S_p \cdot l &= 2\pi(r_4 + r_1)h; \end{aligned} \quad (10)$$

Объем прореагировавшего вещества будет определяться количеством прореагировавшего вещества и зависеть от скорости химической реакции, находящегося в этом цилиндре:

$$S_p \cdot l = n_p * V_M, \quad (11)$$

где  $n_p$  – количества вещества молекул полимера, вступивших в реакцию;

$V_M$  – молярный объём;

$l$  – длина провода.

Толщина слоя прореагировавших молекул будет выражаться из формул (10) и (11):

$$h = \frac{n_p * V_M}{2\pi l(r_4 + r_1)}. \quad (12)$$

Тогда формула сопротивления изоляции (9) будет выглядеть следующим образом:

$$R_{uz} = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \left( \ln \frac{r_1 + \frac{n_p * V_M}{2\pi l(r_4 + r_1)}}{r_1} + \ln \frac{r_4}{r_4 - \frac{n_p * V_M}{2\pi l(r_4 + r_1)}} \right);$$

$$R_{uz} = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \left( \ln \left( 1 + \frac{n_p * V_M}{2\pi l r_1 (r_4 + r_1)} \right) - \ln \left( 1 - \frac{n_p * V_M}{2\pi l r_4 (r_4 + r_1)} \right) \right);$$

$$R_{uz} = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \ln \frac{\left( \frac{2\pi l r_1 (r_4 + r_1) + n_p * V_M}{2\pi l r_1 (r_4 + r_1)} \right)}{\left( \frac{2\pi l r_4 (r_4 + r_1) - n_p * V_M}{2\pi l r_4 (r_4 + r_1)} \right)};$$

$$R_{uz} = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \ln \left( \frac{r_4 (2\pi l r_1 (r_4 + r_1) + n_p * V_M)}{r_1 (2\pi l r_4 (r_4 + r_1) - n_p * V_M)} \right). \quad (13)$$

С учётом количества вещества диэлектрика, прореагировавшего с кислородом,  $n_p$  (5), формула сопротивления изоляции будет выглядеть следующим образом:

$$R_{uz} = \frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1} - \left( \frac{\rho_n}{2\pi l} - \frac{\rho_p}{2\pi l} \right) * \ln \left( \frac{r_4 \left( r_1 + a \sqrt{T} e^{\left( -\frac{E_a}{RT} \right) * [O_2] * t * V_M} \right)}{r_1 \left( r_4 - a \sqrt{T} e^{\left( -\frac{E_a}{RT} \right) * [O_2] * t * V_M} \right)} \right) \quad (14)$$

Данная формула состоит из двух характерных частей, постоянная составляющая  $\frac{\rho_n}{2\pi l} \ln \frac{r_4}{r_1}$  характеризует сопротивление изоляции, если вся она находится в «идеальном» состоянии и вторая составляющая описывает изменение сопротивления с течением времени вследствие старения изоляции.

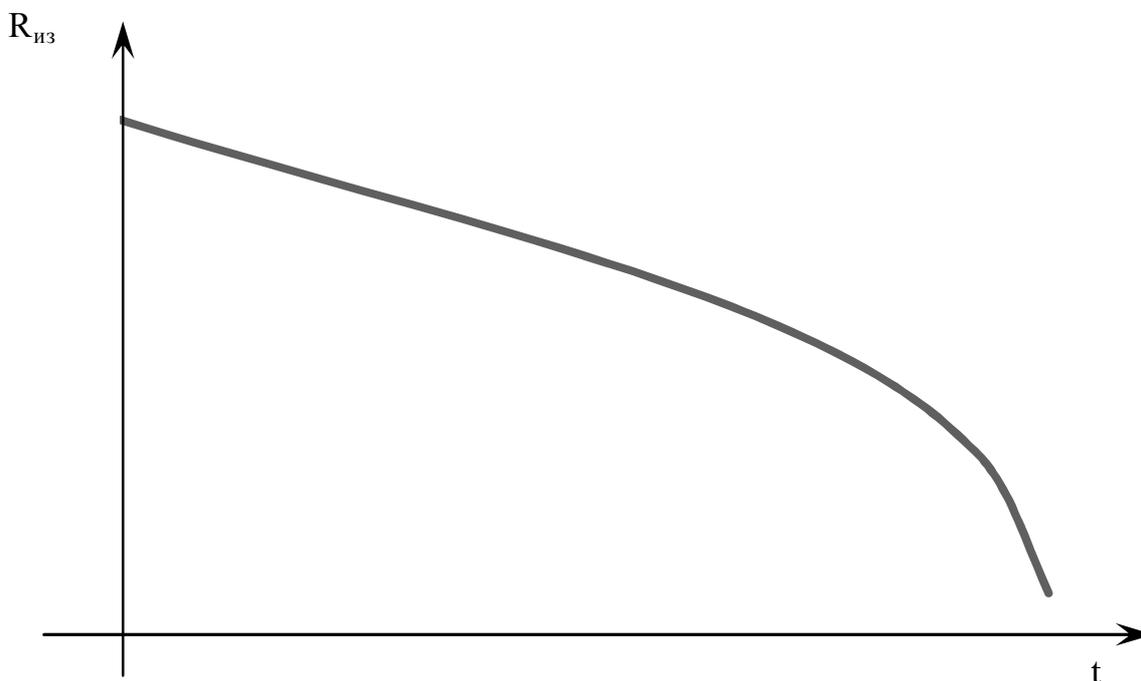


Рисунок 2 – График зависимости сопротивления изоляции от времени.

В результате проведенного исследования получена общая модель изменения сопротивления полимерной изоляции проводника в течение

времени, под воздействием внешних факторов. Данная модель позволяет оценить мгновенное значение сопротивления диэлектрика. На рисунке 2 изображена кривая изменения сопротивления изоляции построенная на основе полученной модели.

По величине сопротивления изоляции делается вывод о возможности ее дальнейшей эксплуатации, таким образом данная модель применима к оценке остаточного ресурса внутренних проводок, кабельных линий, электрических двигателей и любых токоведущих элементов с полимерной изоляцией.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Алексей Михайлович Самуйлик – e-mail: jlexa1991@mail.ru; кафедра «Электрификации производства и быта», к.т.н., ст. преподаватель Борис Сергеевич Компанеец – e-mail: kompbs@mail.ru.*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Н. А. Серебряков, А. А. Грибанов

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*Статья посвящена рассмотрению вопроса эффективности применения частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя. Описана оценка экономической эффективности на примере использования частотного регулирования скорости насосного оборудования.*

*Ключевые слова: асинхронный двигатель, частотное регулирование скорости.*

Асинхронный двигатель (АД) является самым распространенным видом привода в промышленности и народном хозяйстве. АД прост в изготовлении и эксплуатации, обладает высокой надёжностью в работе, имеет меньшие, по сравнению с двигателем постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности.

Основной недостаток АД – сложность регулирования скорости вращения традиционными методами (изменением величины питающего напряжения, введением дополнительных сопротивлений в цепь обмоток и т.д.). Однако, управлять АД можно с помощью изменения частоты входного напряжения.

Управление АД в частотном режиме до недавнего времени было большой проблемой, хотя теория частотного регулирования была разработана ещё в тридцатых годах прошлого века. Развитие частотно-регулируемого электропривода (ЭП) сдерживалось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами (биполярный транзистор с изолированным затвором), рассчитанными на токи до нескольких килоампер, напряжением до нескольких киловольт и имеющих частоту коммутации 30 кГц и выше, разработка высокопроизводительных микропроцессорных систем управления позволило различным фирмам Европы, США и Японии создать современные преобразователи частоты доступной стоимости.

Принцип частотного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту питающего напряжения, можно в соответствии с выражением:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p},$$

при неизменном числе пар полюсов  $p$  изменять угловую скорость вращения магнитного поля статора  $\omega_0$ . Данный способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жёсткостью (т.е. при изменении момента на валу скорость вращения почти не изменяется).

Задачи, которые решает частотно-регулируемый ЭП можно разделить на 2 группы: управление моментом на валу и регулирование скорости вращения. Регулирование момента обосновано техническими и технологическими требованиями к ЭП. Для нормального функционирования привода необходимо ограничивать момент и ток в переходных процессах пуска, торможения и приложения нагрузки. Во многих случаях необходимо точно регулировать усилие, развиваемое на валу АД (металлорежущие станки, намоточные машины и т.д.).

В настоящее время, для решения задач управления АД два основных метода частотного управления:

- скалярное управление;
- векторное управление.

Асинхронный ЭП со скалярным управлением является наиболее распространённым. Он применяется для управления привода насосов, вентиляторов, компрессоров для которых важно поддерживать либо скорость вращения, либо технологический параметр. Принцип скалярного управления построен на законе Костенко: для обеспечения оптимального режима работы АД при всех значениях частоты и нагрузки, необходимо относительное напряжение двигателя изменять пропорционально произведению относительной частоты на корень квадратный из относительного момента:

$$\frac{U'}{U''} = \frac{\omega'}{\omega''} \sqrt{\frac{M'}{M''}} \Leftrightarrow \gamma = \alpha \sqrt{\mu}.$$

В большинстве случаев можно исключить относительный момент и с точностью до скольжения  $\omega_1 = \omega$  представить уравнение механической характеристики нагрузки в виде степенной функции:

$$M_C = C\omega^k \Leftrightarrow \mu = \alpha^k.$$

Тогда закон примет вид:

$$\gamma = \alpha^{(1+k/2)} \Leftrightarrow \frac{U}{f^{(1+k/2)}} = const.$$

Для типичных видов нагрузки получим виды управления, которые сведём в таблицу 1.

Таблица 1 – Основные виды управления электроприводами

	Вид нагрузки		
	Статическая $M_C = const; k = 0$	Вентиляторная $M_C = C \omega^2; k = 2$	Постоянная мощность $M_C \omega = const; k = -1$
Закон управления	$\frac{U}{f} = const$	$\frac{U}{f^2} = const$	$\frac{U}{\sqrt{f}} = const$
Активная мощность потребляемая из сети $P = M_C \omega_0 s$	$P \equiv \omega$	$P \equiv \omega^3$	$P = const$

Скалярное управление обеспечивает постоянство перегрузочной способности привода независимо от частоты входного напряжения. Максимальный диапазон регулирования 1:10.

Скалярный метод управления относительно просто в реализации, но имеет несколько недостатков: необходимость установки датчиков скорости или момента на валу, стоимость которых может превосходить стоимость привода; невозможность одновременного регулирования момента и скорости вращения, инерционность данного управления.

Для устранения недостатков присущих скалярному управлению, была разработана технология векторного управления АД. На сегодняшний день сформировалось два вида векторного управления:

- системы бездатчикового управления (небольшой диапазон изменения скорости 1:100 и требования к поддержанию скорости не более 0,5%);

- системы с обратной связью по скорости (диапазон изменения скорости до 1:10000 и точность поддержания скорости до 0,02%).

Данные системы управления имеют ряд преимуществ по сравнению со скалярным управлением: плавное изменение скорости с высокой точностью, быстрая реакция на изменения нагрузки, возможность обеспечения номинального момента на валу даже при нулевой скорости. Однако, данные системы более сложны в реализации и дороже скалярных.

Для построения силовой части обычно применяют преобразователи частоты со звеном постоянного тока, построенные по схеме выпрямитель – автономный инвертор.

Частотное управление наиболее экономичный, на сегодняшний день, вид управления АД, так как обеспечивает регулирование скорости без больших потерь мощности в цепи статора и ротора, потери скольжения и т.д. ухудшающих КПД привода, а, следовательно, и необходимости завышения мощности агрегата.

Потери мощности  $\Delta P$  в электродвигателе удобно представить в виде суммы двух составляющих потерь – постоянных  $K$  и переменных  $V$  :

$$\Delta P = K + V .$$

Под постоянными подразумеваются потери мощности, не зависящие от нагрузки двигателя. К ним относятся потери в стали магнитопровода, механические потери от трения в подшипниках, вентиляционные потери и т.д.

Нас интересуют переменные потери. Под переменными подразумеваются потери, выделяемые в обмотках двигателя при протекании по ним токов, определяемых механической нагрузкой. Переменные потери мощности в двигателе могут быть в общем случае определены через электромеханические параметры:

$$V_1 = Mw_0s \frac{R_1}{R'_2} \text{ – переменные потери в статоре;}$$

$$V_2 = Mw_0s \text{ – переменные потери в роторе.}$$

Полные переменные потери в асинхронном двигателе определяются как сумма:

$$V = V_1 + V_2 = Mw_0s \left( 1 + \frac{R_1}{R'_2} \right).$$

Из данного выражения видно, что мощность, потребляемая АД зависит как от момента нагрузки на валу, так и от скорости вращения, которые определяются видом нагрузки на валу. Для предельного случая (вентиляторная или насосная нагрузка) активная мощность, потребляемая из сети, будет кубически зависеть от скорости вращения.

Для нахождения зависимости потребляемой реактивной мощности от частоты необходимо построить схему замещения асинхронной машины:

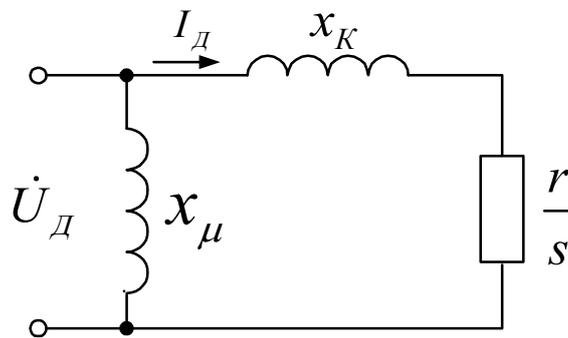


Рисунок 1 – Схема замещения асинхронного двигателя

Реактивную мощность потребляемую двигателем удобно представить в виду двух составляющих:

- мощности, которая идет на создание магнитного потока  $Q_\mu$ ,
- мощность рассеяния  $Q_K$ ;

Мощность намагничивания представим в виде:

$$Q_\mu = \frac{U^2}{x_\mu w / w_0} \Leftrightarrow Q_\mu \equiv \frac{1}{w}.$$

Из выражения видно, что реактивная мощность намагничивания обратно пропорционально зависит от частоты вращения магнитного поля статора.

Для нахождения мощности рассеяния необходимо произвести следующие математические выкладки:

$$P_{эм} = I_D^2 \frac{r}{s} \Rightarrow s = I_D^2 \frac{r}{P_{эм}}; P_{эм} = M_C w.$$

Заменяя электромагнитную мощность получим:

$$s = I_D^2 \frac{r}{M_C w}.$$

Так как сопротивление ротора и момент на валу не изменяются можно сделать вывод, что:

$$I_D^2 \equiv ws .$$

Тогда зависимость мощности рассеяния от частоты можно представить в виде:

$$Q_K = I_D^2 x_k \frac{w}{w_0} = \frac{swM_c}{r} x_k \frac{w}{w_0} \Rightarrow Q_k \equiv w^2 s .$$

Зависимость полной потребляемой реактивной мощности представлена на графике:

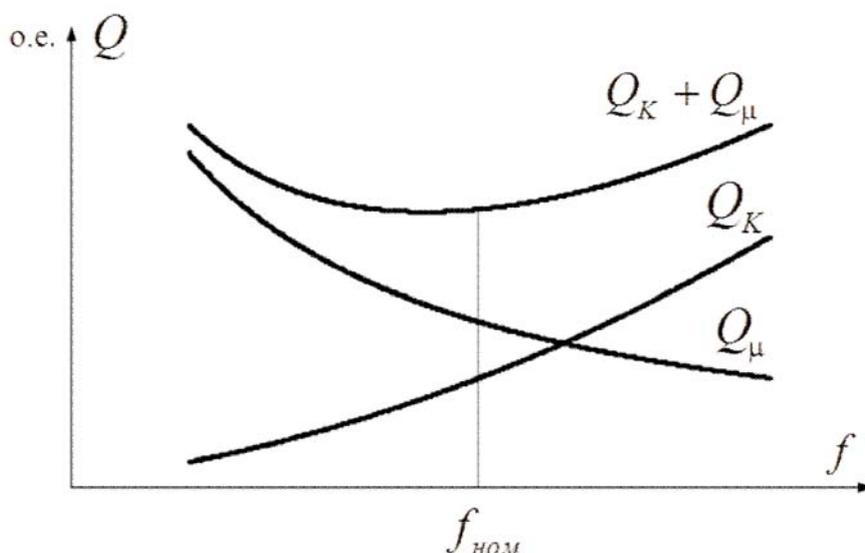


Рисунок 2 – Зависимости реактивной мощности, потребляемой асинхронным двигателем от частоты

Из выше приведенных выражений видно, что уменьшение частоты входного напряжения значительно уменьшает потребляемую активную мощность, но при этом не наблюдается уменьшения потребления реактивной мощности. Отсюда следует, что при работе двигателя с частотой меньше номинальной, у него значительно падает коэффициент мощности  $\cos \varphi$  и следовательно двигатель негативно влияет на работу остальных электроприёмников. Так как преобразователь частоты является нелинейным элементом, то при его работе в сети появляются высшие гармоники. Несинусоидальность напряжения негативно влияет как на работу самого двигателя (ускоренное старение изоляции, дополнительные магнитные потери в стали двигателя от высших гармоник), так и на работу других электроприемников. Поэтому установ-

ка частотных преобразователей должна быть, в первую очередь, выгодна с точки зрения качества электроэнергии.

Несмотря на выше перечисленные недостатки, частотное управление имеет неоспоримые достоинства. Применение регулируемого электропривода обеспечивает энергосбережение и позволяет получать новые качества систем и объектов. Значительная экономия электроэнергии обеспечивается за счёт регулирования какого-либо технологического параметра:

- для транспортеров и конвейеров – регулирование скорости движения;

- для насосов и вентиляторов – поддержание давления или регулирование производительности;

- для станков – плавное регулирование скорости подачи или главного движения.

Особый экономический эффект от использования преобразователей частоты даёт применение частотного управления на объектах, обеспечивающих транспортировку жидкостей. До недавнего времени на таких объектах применялись дроселирующий метод или метод регулировки вентиляционной задвижкой давления жидкости в магистрали. Данные методы имеют ряд недостатков. Применение частотно – регулируемого привода позволяет избежать этих недостатков, а также получить ряд преимуществ:

- экономия электроэнергии от 30 – 40%;

- исключение гидроударов, что позволяет резко увеличить срок службы трубопроводов и запорной арматуры;

- отсутствие больших пусковых токов, полная защита электродвигателей насосных агрегатов, работа электродвигателей и пусковой аппаратуры с пониженной нагрузкой, - позволяет увеличить срок службы оборудования;

- значительная экономия воды за счёт оптимизации давления в сетях и уменьшения разрывов трубопроводов;

- возможность полностью автоматизировать насосные станции.

При неравномерном суточном, недельном, месячном графике потребления потребителем воды поддержание оптимального давления в сетях возможно с помощью перекрытия задвижек на выходе насосной станции (метод дроселирования) или за счёт изменения скорости вращения насосного агрегата (изменение его производительности).

Мощность, потребляемая насосом находится в кубической зависимости от скорости вращения рабочего колеса  $P=f(Q^3)$ , т.е. уменьшение скорости вращения рабочего колеса насоса, вентилятора в 2 раза приводит к уменьшению мощности, потребляемой насосом в 8 раз.

Производительность насоса  $Q$  прямо пропорциональна скорости вращения рабочего колеса насоса.

Исходя из графиков потребления воды и зависимости мощности, потребляемой насосом от производительности, можно определить примерную экономию электроэнергии от применения частотно-регулируемого привода.

Оценим величину экономического эффекта от применения преобразователя частоты Lenze SMD ESMD223L4TXA (цена со склада в Санкт-Петербурге 41534 р. с НДС) на насосном агрегате мощностью 22 кВт.

Величина экономии электроэнергии при внедрении преобразователей частоты может составлять до 45 %. Мы в своих расчётах примем экономию за 20%. Таким образом, для насосного агрегата мощностью 22 кВт и работающего, к примеру, 9 месяцев в году, величина экономии электроэнергии за 1 год составит:

$$W(1 \text{ год, кВт}\cdot\text{ч}) = 22 \text{ кВт} * 0,2 * 24 \text{ часа} * 270 \text{ дней} = 28512 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

В денежном выражении при стоимости 1 кВт\*ч = 405,0822 коп. (тариф на электроэнергию для бюджетных и прочих потребителей, февраль 2014 г.) величина экономии составит:

$$E(1 \text{ год, руб.}) = 28512 \text{ кВт}\cdot\text{ч} * 4,050822 \text{ руб.} = 115497,037 \text{ руб.}$$

Таким образом, срок окупаемости в этом случае составляет  $41534/115497,037 = 0,359$  года, дальше будем экономить более 12 000 руб. ежемесячно.

Таким образом, применение частотно-регулируемых приводов для насосов и вентиляторов в технологических процессах позволяет снизить энергопотребление технологическим оборудованием. Целесообразно использование преобразователей частоты не в качестве элементов системы управления конкретного агрегата, а как составляющих комплексных системных решений с подключением широкого набора средств автоматизации технологического процесса. Такие решения позволяют получить дополнительный эффект, который заведомо больше простой экономии электрической энергии.

#### **Список использованных источников:**

1. Сахарнов, Ю. В. Частотное регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2012/fkita/bitvutskiy/library/article5.htm>.

2. Усольцев, А. А. Электрический привод [Текст] : учебное пособие / А. А. Усольцев. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 238 с.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Николай Александрович Серебряков – e-mail: [serebrikov\\_93@mail.ru](mailto:serebrikov_93@mail.ru); к.т.н., доцент Алексей Александрович Грибанов – e-mail: [diread@mail.ru](mailto:diread@mail.ru), тел. +7(385-2) 29-07-76.

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПИТАНИЯ ИНВЕРТОРА ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ АГРЕГАТОВ

Л. В. Сорокина, А. Н. Попов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены способ решения проблемы получения альтернативных источников энергии, с помощью солнечных батарей и способ реализации с помощью разработки устройства питания инвертора работающего в составе солнечных агрегатов. Затронута проблема «Экологического здоровья планеты».*

*Ключевые слова: солнечные батареи, устройства питания, инвертор.*

На всей территории Российской Федерации используется различные способы энергии. Наиболее альтернативным источников энергии в наше время является, Солнечная энергия.

Солнечная энергетика - это одно из направлений энергосбережения, которая будут вырабатывать экологически чистую энергию, не нанося ущерба нашей природе. С помощью использования солнечных элементов, мы сможем увеличить генерацию, перестанем использовать в меньшей мере ископаемое топливо.

В Барнауле основная часть энергии берётся из системы, если ток по какой-либо причине из системы поступать перестанет, то город останется без электричества. Поэтому Солнечные батареи станут хорошей заменой существующих источников энергии, они смогут обеспечить полноценную жизнь человека и удовлетворить его потребности, вследствие этого экология нашего города будет менее подвержена негативному влиянию химических загрязнений. Органического топлива в настоящее время не хватает, а при его сжигании выделяется большое количество вредных выбросов, что приводит к созданию «парникового» эффекта на земле, что приводит к нагреванию атмосферы и её поверхности.

В настоящее время идет борьба за экологическое здоровье. Полное экологическое равновесие, можно добиться с помощью использо-

вания неисчерпаемой энергии окружающей среды. Солнечная энергетика безопасна в использовании и его запасы не ограничены.

В связи с проводимой в стране мероприятий по энергосбережению и обеспечению электроэнергией отдаленных районов целесообразно внедрять простейшие системы для освещения улиц и дорог, которые будут работать от солнечных батарей.

Совсем недавно, в селе Кош-Агач (Республика Алтай) (4 сентября 2014 года) была введена в эксплуатацию крупнейшая в России сетевая солнечная электростанция (СЭС). Она стала первым объектом генерации в Республике Алтай и самой крупной в России. В государстве РФ, этот показатель мощности является самым высоким в настоящий момент, и составляет 5 МВт. За время строительства, специалисты при помощи квалифицированных рабочих подрядных организаций из Республики Алтай подготовили свайное поле на площади 13 га, на установленных сваях собрали монтажные столы, закрепили солнечные модули, подключили все необходимое коммутирующее и сетевое оборудование. Это очень актуально из-за того, что республика стопроцентно зависит от перетоков из других регионов РФ. [4]

Большая часть оборудования, используемого при строительстве станции, было произведено на базе российских предприятий электротехнической и металлообрабатывающей промышленности.

В результате использования ВИЭ (возобновляемый источник энергии) в регионе снизится энергетический дефицит и потребители смогут получать сильный заряд экологически чистой электроэнергии, так как здесь расположено значительное количество природоохранных зон и заповедников.

Уже намечены дальнейшие планы по развитию солнечной энергетики в Республике Алтай, планируется создать пять солнечных электростанций, сооружение которых запланировано в республике, поэтому это только первая из них. Планируемая суммарная мощность солнечного парка будет составлять сорок пять МВт.

Применение СЭС особенно актуально в отдаленных районах страны, где сложно развивать распределительную сеть, но при этом количество солнечных дней в году имеет одно из наибольших значений. Кош-Агачский район Республики Алтай является одним из самых солнечных мест в России, так как здесь количество солнечных дней превышает 300 в год. [4]

Поэтому, в этом случае использование солнечной энергии может дать максимальный экономический и технологический эффект и кроме этого, станут дополнительным генерирующим предприятием, которое

способствует снижению своей продуктивной работой риски появления энергетического недостатка.

Одной из проблем, является резервирование источника переменного напряжения, который ведёт инвертор (инвертор ведомый сетью) в случае пропадания питания у основного источника. Вследствие этого, мы должны внедрить устройство которое сможет задать шаблон сигнала на инвертор и тем самым сможет бесперебойно подавать энергию потребителю.

В источниках переменного напряжения полярность полюсов постоянно меняется, в первой половине периода один из полюсов имеет отрицательную полярность, а другой - положительную. Во второй половине полярности полюсов меняются. В нашей сети напряжение является переменным и в течение одной секунды происходит 50 циклов (периодов) смены полярности напряжения, быстрота смены полярности в цепях переменного тока измеряется в герцах (Гц). Частота сети переменного тока (в РФ) равна 50 Гц. [3]

Источником переменного тока может быть:

- механическим (электромеханический генератор);
- электронным;
- электрическим;
- термоэлемент (гальванический элемент);
- химический (аккумулятор).

Самое главное назначение источника бесперебойного питания (ИБП) – обеспечить электропитание инвертора в то время, когда электрическая сеть по каким-то причинам не может это сделать.

Основная идея этой схемы очень проста. Потребитель питается от сети переменного тока. Значит на выходе ИБП должен выдавать переменный ток и на входе ИБП тоже должен потреблять переменный ток, поскольку он питается от той же электрической сети. Поскольку внутри ИБП должно быть постоянное напряжение, потому что оно необходимо для питания аккумуляторной батареи.

Вся мощность, потребляемая ИБП от сети, сначала преобразуется из переменного тока в постоянный с помощью выпрямителя, после этого в действие вступает преобразователь постоянного тока в переменный – инвертор, обеспечивающий на выходе ИБП необходимое переменное напряжение.

Аккумуляторная батарея, находится в цепи постоянного тока, между выпрямителем и инвертором. Если в сети нормальное напряжение, выходного тока выпрямителя хватает для работы инвертора и для подзаряда батареи.

Когда напряжение в сети становится таким маленьким, что выпрямитель уже не может обеспечить полноценную работу инвертора, аккумуляторная батарея заменяет выпрямитель и питает инвертор требующимся ему постоянным током. Инвертор, в свою очередь, продолжает, как ни в чем ни бывало, подавать напряжение.

Таким образом, актуальным является разработка данного устройства питания инвертора работающего в составе солнечных агрегатов. Это является одним из важных шагов в развитии солнечной энергетики, а это в своем роде - это будущее нашей планеты!

#### **Список использованных источников:**

1. Вedomые инверторы [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : [http://epa.susu.ac.ru/assets/files/PromElectronika/Glava7\\_Pt.pdf](http://epa.susu.ac.ru/assets/files/PromElectronika/Glava7_Pt.pdf)
2. Презентация на тему: Солнечная энергия - будущее земли. [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://ppt4web.ru/ehkologija/solnechnaja-ehnergija-budushhee-zemli.html>
3. Напряжение [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://katod-anod.ru/articles/61>
4. Журнал «Новости энергетики» - «Солнечная энергетика в России: возможности и перспективы» [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа : <http://novostienergetiki.ru/solnechnaya-energetika-v-rossii-vozmozhnosti-i-perspektivy/>

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», студент Лариса Владимировна Сорокина – e-mail: [larisasorokina93@mail.ru](mailto:larisasorokina93@mail.ru); к.т.н., доцент Андрей Николаевич Попов – e-mail: [oleandr78@mail.ru](mailto:oleandr78@mail.ru).*

## **ФОРМИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

А. А. Сошников, Б. С. Компанец  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье предложен подход к проектированию систем низковольтного электроснабжения с учетом обеспечения рационального уровня токов короткого замыкания для повышения эффективности электрической защиты, повышения надежности электроснабжения и качества напряжения у потребителей, а также улучшения условий пуска мощных асинхронных электродвигателей.*

*Ключевые слова: система электроснабжения, короткие замыкания, цепь короткого замыкания, пожарная опасность, перегор электропроводки, электрическая защита, технология повышения безопасности электроустановок.*

Общепринятыми критериями оценки эффективности систем электроснабжения являются показатели экономичности, надежности и качества поставляемой электрической энергии. В роли этих показателей могут использоваться удельные затраты на передачу электроэнергии или приведенные затраты на систему электроснабжения, ущерб от недоотпуска энергии потребителям или суммарная величина недоотпущенной электроэнергии, ущерб от отклонения напряжения у потребителей или взвешенная по потребляемой энергии величина неодинаковости напряжения у потребителей [1] и др. При рассмотрении низковольтных систем электроснабжения наряду с этими требованиями особое значение приобретают требования обеспечения безопасности электроснабжения, поскольку именно для этого звена резко возрастает степень взаимодействия со сферами опасных проявлений электрической энергии. Необходимо отметить, что структура сетей и технические решения в системах распределения электроэнергии напряжением 0,38 кВ в значительной степени определяются именно требованиями безопасности.

Техническую основу для обеспечения безопасности электроустановок составляют предохранители и автоматические выключатели, которые используются для защиты систем внешнего электроснабжения. Для внутренних электрических сетей дополнительно применяются устройства защитного отключения (УЗО). Однако многолетний опыт эксплуатации электроустановок в системах сельского электроснабжения показывает, что эффективность существующей электрической защиты остается достаточно низкой, несмотря на совершенствование защитной аппаратуры и все более широкое использование УЗО [2]. Одной из причин этого является сложность реализации чувствительной защиты при низких значениях токов короткого замыкания (КЗ), характерных для сельских низковольтных сетей. Особенностью таких сетей является значительная протяженность воздушных линий, имеющих существенно большее сопротивление по сравнению с кабельными, а также относительно небольшая мощность силовых трансформаторов питающих подстанций. Следствием этого является увеличение сопротивления цепи КЗ и соответствующее снижение аварийных токов.

В [2] приведены результаты расчетов токов однофазного КЗ в конце воздушных линий 0,38 кВ длиной 300 м с проводами различного сечения при различной мощности питающего трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда – звезда». Величина этих токов может опускаться до значений 115...160 А. Во внутренних проводках токи КЗ снижаются еще больше. Здесь также необходимо отметить, что протяженность сельских воздушных линий может значительно превышать 300 м, что в еще большей степени приведет к уменьшению токов КЗ.

При таких значениях токи КЗ имеют весьма малую кратность по отношению к параметрам срабатывания электрической защиты – предохранителей и автоматических выключателей, что приводит к увеличению времени существования в сети опасных аварийных режимов [2]. Массовое применение УЗО также не решает проблему в полной мере, так как по принципу действия они не реагируют на однофазные КЗ на нулевой рабочий провод и междуфазные КЗ. Эти функции по-прежнему возлагаются на автоматические выключатели, с которыми комбинируются УЗО.

Еще одной из причин низкой эффективности защиты является большой разброс характеристик срабатывания предохранителей и автоматических выключателей. Реальное время срабатывания защиты за счет наличия зоны разброса может отличаться в несколько раз при одном и том же токе. Например, время срабатывания выключателя

ВА 57-31 с номинальным током 100 А, установленного на головном участке воздушной линии 0,38 кВ, отходящей от подстанции 10/0,4 кВ, при токе КЗ величиной 300 А находится в диапазоне 10...20 с, а при токе величиной 200 А - в диапазоне 40...100 с. Даже для нижней границы характеристики срабатывания автоматического выключателя это время является недопустимо высоким. Но при оценке эффективности защиты необходимо ориентироваться на худшую ситуацию, соответствующую верхней границе зоны срабатывания.

Недопустимо высокое время срабатывания защиты при малых токах КЗ привело к необходимости изменения подхода к проверке чувствительности защиты в методиках выбора параметров срабатывания. Нормирование минимально необходимой кратности аварийных токов [3] заменено на установление максимально допустимого времени срабатывания защиты [4]. В 7-м издании ПУЭ [4] это время регламентируется значениями 0,4 с для внутренних радиальных и 5 с для групповых сетей.

Проведенные авторами многочисленные расчеты возможного времени срабатывания автоматических выключателей различных типов, установленных на головных участках воздушных линий, отходящих от сельских потребительских подстанций, показали, что для верхних значений защитных характеристик регламентируемое время в большинстве случаев не обеспечивается.

Одним из способов повышения чувствительности защиты является отбраковка выключателей с защитными характеристиками выше средней. Такая отбраковка может быть произведена перед монтажом аппаратов защиты, например, с помощью комплекта РТ-2048 М, предназначенного для испытания автоматических выключателей. Но даже при этом условии в полной мере не обеспечивается необходимая чувствительность защиты. Поэтому требуется проводить секционирование линий или применять дополнительную защиту, в частности, с использованием приставки ЗТИ 04 [5], или реле (например, РЭ-13), включаемого в рассечку нулевого провода. Использование дополнительной защиты требует дополнительных капиталовложений, усложняет эксплуатацию систем электроснабжения и, кроме того, может приводить к ряду нежелательных последствий. Например, возможны ложные срабатывания реле РЭ-13 при протекании в нулевом проводе токов несимметрии от соседних линий при наличии перемычек между нулевыми проводами или связи через повторные заземлители, а также аварийных токов соседних линий, протекающих в землю через повторные заземлители и возвращающихся к подстанции через нулевой провод контролируемой линии. Возможно также несрабатывание защи-

ты из-за уменьшения тока, протекающего через реле, при малых сопротивлениях растекания повторных заземлителей нулевого провода, когда значительная часть тока КЗ возвращается к подстанции через землю.

При защите внутренних электрических сетей возникают дополнительные проблемы. Во внутренних электропроводках высокую пожарную опасность представляют дуговые КЗ. Возникающая при КЗ электрическая дуга, температура которой достигает нескольких тысяч градусов, может воспламенить изоляцию или другие горючие материалы, что вместе с действием искр и расплавленных частиц металла часто приводит к развитию пожара. Кроме того, действуя, как дуга электросварочного аппарата, дуга КЗ может пережечь электропроводку быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов. Современные методики выбора электрической защиты не учитывают воздействие электрической дуги КЗ на электропроводки. Тем самым допускается возможность электропожара еще на этапе проектирования защиты.

С использованием вероятностных методов оценки пожарной опасности КЗ в Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова (АлтГТУ) создана технология повышения безопасности электроустановок, основанная на автоматизированных методах выявления пожароопасных участков системы электроснабжения и выбора экономически целесообразных сочетаний параметров защиты от КЗ и электропроводок по условию наименьшей вероятности пожара [6 - 8]. В основу оценки пожарной опасности дуговых КЗ положено сопоставление характеристик срабатывания аппаратов защиты (предохранителей или автоматических выключателей) и характеристик пережога электропроводки электрической дугой, полученных экспериментально в АлтГТУ. Однако при проведении расчетов показателей пожарной опасности КЗ возникает неопределенность, обусловленная зонами разброса характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки. В общем случае возможны как благоприятные, так и неблагоприятные сочетания характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки на различных участках электрической сети. В первом случае защита может иметь высокую эффективность. Во втором – крайне низкую.

Авторами предложен подход, позволяющий снизить степень неопределенности и повысить эффективность системы электрической защиты за счет учета неблагоприятных сочетаний параметров защиты и электропроводки и эффекта увеличения сопротивления цепи короткого замыкания из-за теплового спада тока [9, 10]. Для этого предусмотрено проведение ряда мероприятий по оптимизации защиты,

включающих отбраковку автоматических выключателей с характеристиками срабатывания выше средней, использование быстродействующих предохранителей, частичное изменение сечения алюминиевой электропроводки на пожароопасных участках электрической сети, в том числе полное исключение алюминиевых проводов сечением 2,5 мм<sup>2</sup> и замену их на медные. Но, как показывают расчеты, полного исключения пережога электропроводки при КЗ до срабатывания защиты, особенно при неблагоприятном сочетании характеристик срабатывания защиты и пережога электропроводки, обеспечить невозможно. Поэтому необходимо дополнительно проводить мероприятия по предотвращению воспламенения пожароопасных материалов и веществ под действием дуговых КЗ.

Учитывая проблематичность построения эффективной электрической защиты в системах внешнего и внутреннего сельского низковольтного электроснабжения, обусловленную, прежде всего, низким уровнем токов КЗ, может быть предложен подход, отличный от настройки параметров защиты под расчетные значения аварийных токов и предусматривающий обеспечение рационального уровня токов КЗ. В частности, для автоматических выключателей рациональным может считаться такой уровень токов, при котором зона их срабатывания смещается в область чувствительности электромагнитных расцепителей, либо приближается к ней, оставаясь в зоне чувствительности тепловых расцепителей. При этом должны обеспечиваться требования ПУЭ [4] по максимально допустимому времени срабатывания, а также исключаться возможность пережога электропроводки током дугового КЗ до срабатывания защиты.

Повышение уровня токов КЗ возможно за счет снижения сопротивления цепи короткого замыкания путем проведения одного или нескольких из следующих мероприятий:

- повышения мощности трансформаторов на потребительских подстанциях;
- использования силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток низкого напряжения в «зигзаг»;
- увеличения сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ;
- замены традиционных воздушных линий 0,38 кВ с изолированными проводами воздушными кабелями (СИП);
- увеличения сечения алюминиевых проводов на участках внутренних электрических сетей;
- замены алюминиевых проводов на медные на участках внутренних электрических сетей.

Результативность указанных мероприятий можно оценить по степени снижения величины сопротивления цепи КЗ. В частности, расчетное сопротивление току однофазного КЗ силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда – звезда с нулем» при повышении мощности на одну ступень снижается более, чем в 1,5 раза. Переход от схемы соединения обмоток низкого напряжения в «звезду» к схеме соединения в «зигзаг» снижает это сопротивление в 3...5 раз. Полное погонное сопротивление петли «фазный - нулевой провод» воздушных линий с алюминиевыми проводами уменьшается в среднем в 1,3 раза при замене неизолированных проводов на самонесущие изолированные, обладающие меньшим индуктивным сопротивлением.

При сложившейся системе проектирования сетей электроснабжения основным техническим критерием при выборе мощности силовых трансформаторов и сечений проводов является расчетное значение тока нагрузки. Использование трансформаторов со схемой соединения обмоток низкого напряжения в «зигзаг» обосновывается необходимостью симметрирования напряжения на шинах подстанции при несимметричной нагрузке, а повышение при этом токов КЗ является дополнительным побочным эффектом. Задача обоснованного повышения уровня токов КЗ до сих пор не ставилась.

С учетом изложенного, представляется целесообразным при выборе мощности и схемы соединения обмоток силовых трансформаторов, вида исполнения внешних воздушных линий, а также сечений и материала проводов внутренних сетей, использование дополнительных критериев, характеризующих показатели эффективности системы электрической защиты, которые, в свою очередь, связаны с уровнем токов КЗ.

Одним из таких критериев может быть показатель, определяющий долю автоматических выключателей, для которых наименьшие значения аварийных токов попадают в зону чувствительности электромагнитных расцепителей. Предельное значение этого показателя должно отвечать ситуации, когда все автоматические выключатели в системе защиты электрической сети при КЗ в конце контролируемых участков отключают аварийный режим в результате срабатывания электромагнитных расцепителей.

Возможно также использование критерия, определяющего долю участков внутренней электрической сети, для которых время срабатывания электрической защиты меньше времени пережога электропроводки током дугового КЗ. Кроме того, может быть сформирован

обобщающий показатель, дополнительно учитывающий, например, предельно допустимое время срабатывания защиты.

Очевидно, что реализация систем электроснабжения, параметры которых выбраны с учетом предлагаемых критериев, связана с дополнительными затратами. Однако мероприятия по увеличению уровня токов КЗ одновременно повышают надежность электроснабжения и качество напряжения у потребителей, а также улучшают условия пуска мощных асинхронных электродвигателей. При этом за счет повышения эффективности электрической защиты в ряде случаев снижается ущерб от перерывов электроснабжения (например, из-за исключения повреждения электропроводки или локализации поврежденных участков электрической сети) и повреждений электрооборудования, уменьшается вероятность возникновения электропожаров, что связано не только со снижением материального ущерба, но и с сохранением жизни и здоровья людей, а также сельскохозяйственных животных.

Целесообразность и объем реализации мероприятий по обеспечению рационального уровня токов КЗ должны в конечном итоге определяться величиной достигаемого экономического эффекта. Поэтому решение этой задачи не может быть ограничено только техническими аспектами, рассматриваемыми в процессе проектирования электроснабжения. Необходимо учитывать экономические и социальные последствия внедрения таких мероприятий, то есть показатели, характеризующие «внешнюю среду» по отношению к системам электроснабжения.

Следует также отметить, что использование указанных критериев не позволяет определить единые требования ко всем системам электроснабжения. Требуется проведение расчетов технических и экономических показателей для конкретных вариантов электроснабжения различного вида электропотребителей, например, с помощью разработанных в АлтГТУ программных комплексов «АРИАС», «МОЭПБ» и «СКЭД -380» [10].

#### **Список использованных источников:**

1. Лещинская, Т. Б. Методы выбора стратегий развития систем электроснабжения сельских районов: автореф. дис. ... докт. техн. наук [Текст]/ Т. Б. Лещинская. – М., 1990. – 43 с.
2. Сошников, С. А. Снижение пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках объектов агропромышленного комплекса: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст]/ С. А. Сошников. – Барнаул, 2008. – 23 с.

3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб.и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

4. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.

5. О выпуске подстанций 10/0,4 кВ с устройствами защиты типа ЗТИ-04: Циркулярное письмо Сельэнергопроекта № 12/4 от 05. 06. 86. – Руководящие материалы по проектированию электроснабжения сельского хозяйства. – М., 1986, № 7. - С. 4 – 25.

6. Сошников, А. А. Выбор оптимальных стратегий создания систем комплексной безопасности электроустановок на объектах АПК [Текст]/ А. А. Сошников, О. Н. Дробязко // Вестник Алтайского научного центра Сибирской Академии наук высшей школы. – 2002. - № 5. - С. 58.

7. Сошников, А. А. Интегральный показатель пожарной опасности коротких замыканий в электроустановках зданий [Текст]/ А. А. Сошников, С. А. Сошников //Ползуновский вестник.- 2009.- № 4. - С.51-53.

8. Сошников, А. А. Оценка эффективности систем комплексной безопасности электроустановок низкого напряжения [Текст]/ А. А. Сошников, Т. В. Еремина // Механизация и электрификация сельского хозяйства.- 2009.- № 5.- С. 4-6.

9. Сошников, А. А. Количественная оценка пожарной опасности коротких замыканий с учетом их теплового действия [Текст]/ А. А. Сошников, Б. С. Компанец // Вестник Алтайского научного центра Сибирской Академии наук высшей школы. – 2010. - № 10.

10. Компанец Б. С. Повышение эффективности защиты электроустановок АПК на основе количественной оценки пожарной опасности коротких замыканий: автореф. дис. ... канд. техн. наук [Текст]/ Б. С. Компанец. – Барнаул, 2011. – 24 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электрификация производства и быта», тел. +7(385-2)36-71-29, д.т.н., профессор Александр Андреевич Сошников – e-mail: aa@soshnikov.info; к.т.н., ст. преподаватель Борис Сергеевич Компанец – e-mail: kompbs@mail.ru.*

## **РАЗРАБОТКА ОДНОФАЗНО - ТРЕХФАЗНОГО РЕВЕРСИВНОГО КОММУТАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ**

М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин, К. Е. Деяев, А. В. Еремочкина  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены способы запуска трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети. Рассмотрены их достоинства и недостатки. Приведена схема реверсивного устройства запуска трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети, дано описание её работы.*

*Ключевые слова: асинхронный двигатель, коммутатор, однофазная сеть.*

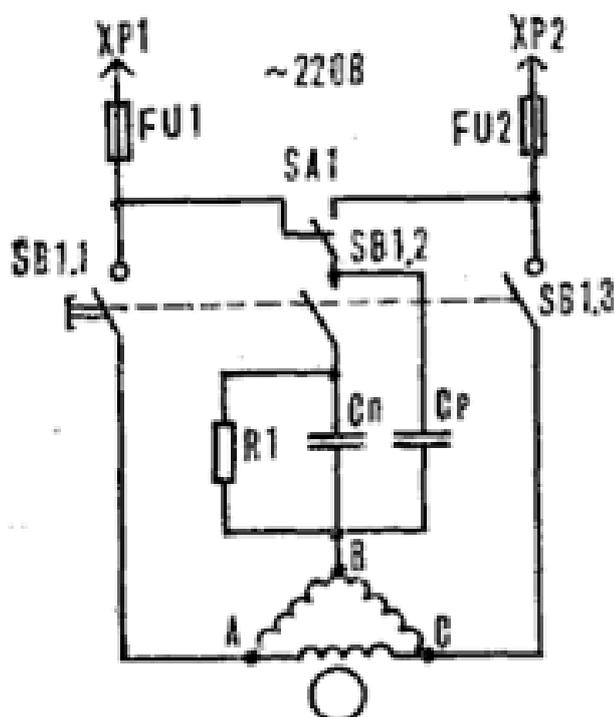
Современный электропривод представляет собой электромеханическое устройство преобразования электрической в механическую энергию.

Сфера применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется. В настоящее время уже более 60 % всей вырабатываемой в мире электрической энергии потребляется электрическими двигателями. Столь широкое, практически повсеместное, распространение электропривода обусловлено особенностями электрической энергии — возможностью экономично передавать ее на любые расстояния, постоянной готовностью к использованию, легкостью превращения в другие виды энергии. Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем привода является приоритетным направлением развития современной техники в особенности для сельского хозяйства. В сельской местности не всегда есть возможность подключить трехфазный асинхронный электродвигатель в трехфазную сеть, поэтому разработка эффективных и недорогих устройств для работы трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети является важной задачей.

Среди различных способов запуска трехфазных электродвигателей от однофазной сети наиболее часто используется метод с подключением третьей обмотки через фазосдвигающий конденсатор. Полез-

ная мощность, развиваемая при этом электродвигателем, составляет около 40% его мощности.

Чтобы электропривод с конденсаторным пуском работал нормально, емкость конденсатора должна меняться как от величины нагрузки на валу двигателя, так и от величины пускового тока. Поскольку на практике это условие выполнить крайне трудно, двигателем обычно управляют двухступенчато — сначала включают с пусковым конденсатором (Сп), а затем после разгона его отсоединяют, оставляя только рабочий (Ср). Схема работы устройства представлена [1] на рисунке 1.



Сп, R1, SB1,2 - пусковые конденсатор, реостат, ключ;  
Ср, SA1, SB1.1, SB1.3 – рабочий конденсатор и ключи

Рисунок 1 – Схема включения трехфазного электродвигателя в однофазную сеть с использованием фазосдвигающего конденсатора:

Основными недостатками данного способа запуска трехфазного электродвигателя является низкая полезная мощность, большие габариты бумажных конденсаторов которые могут быть сопоставимы с размером самого электродвигателя.

Другой способ запуска трехфазного электродвигателя – это применение тиристорных ключей, с помощью которых можно запустить трёхфазный асинхронный электродвигатель без использования конденсаторов [2]. Схема устройства приведена на рисунке 2.

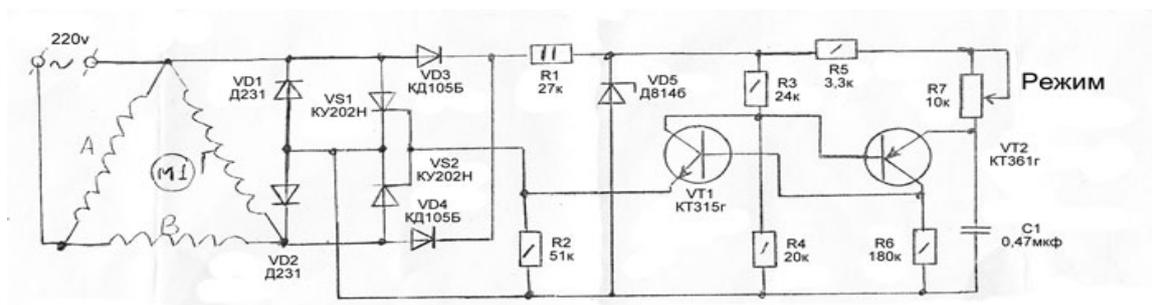


Рисунок 2 – Электрическая схема включения трехфазного электродвигателя в однофазную сеть с использованием тиристорных ключей

Устройство работает следующим образом: при максимальном сопротивлении R7 сдвиг фаз наибольший, соответственно пусковой момент минимальный. По мере выхода электродвигателя на максимальные обороты сопротивление устанавливают такое, чтобы сдвиг фаз был оптимальным для работы электродвигателя. Тиристорный ключ позволяет отказаться от пусковых и рабочих конденсаторов, а это при мощности электродвигателя до 3 кВт даёт огромные преимущества.

Основными недостатками данного способа запуска трехфазного электродвигателя от однофазной сети это низкая мощность порядка 50%, а также отсутствие функции реверса.

В ряде случаев для запуска трехфазного электродвигателя от однофазной сети используются электролитические конденсаторы в схемах запуска электродвигателя [1].

При включении трехфазных асинхронных электродвигателей в однофазную сеть, как правило, используют обычные бумажные конденсаторы. Но практика показала, что вместо громоздких бумажных конденсаторов можно использовать оксидные (электролитические) конденсаторы, которые имеют меньшие габариты и более доступны в плане покупки, однако придется использовать два комплекта пусковых и рабочих конденсаторов.

Устройство работает следующим образом положительная полуволна переменного напряжения проходит через цепочку VD1, C1, а отрицательная VD2, C2. Исходя из этого можно использовать оксидные конденсаторы той же емкости. Принципиальная схема устройства изображена на рисунке 3.

В приведенной схеме, SA1 - переключатель направления вращения двигателя, SB1 - кнопка разгона двигателя, электролитические конденсаторы C1 и C3 используются для пуска двигателя, C2 и C4 - во время работы.

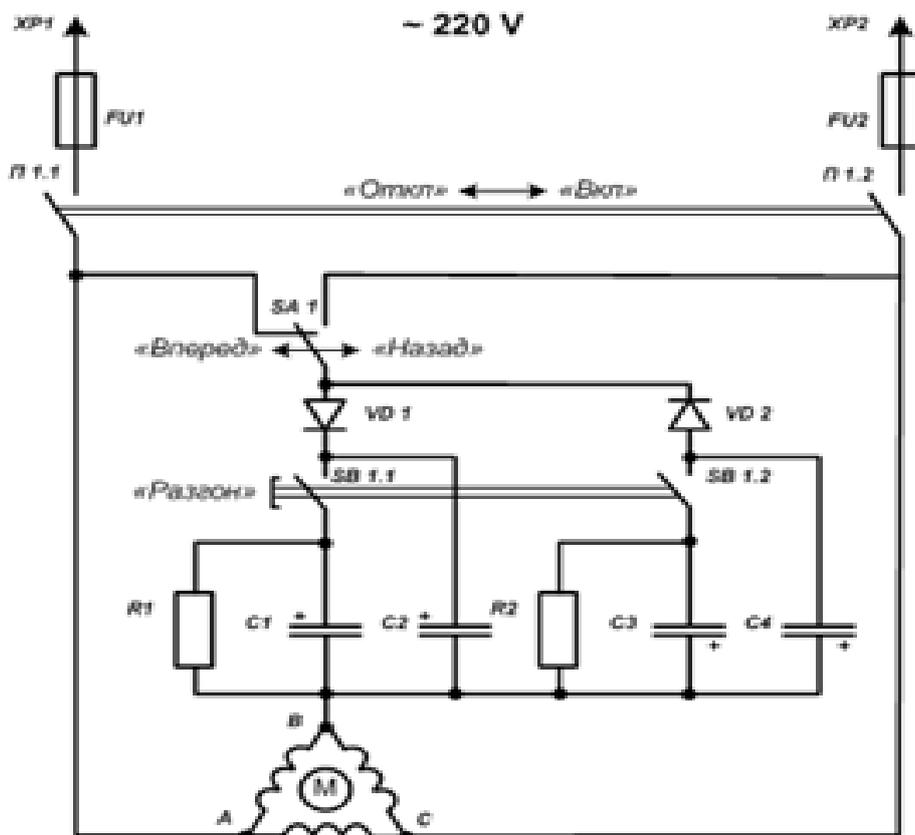


Рисунок 3 – Принципиальная схема включения трехфазного двигателя в однофазную сеть при помощи электролитических конденсаторов

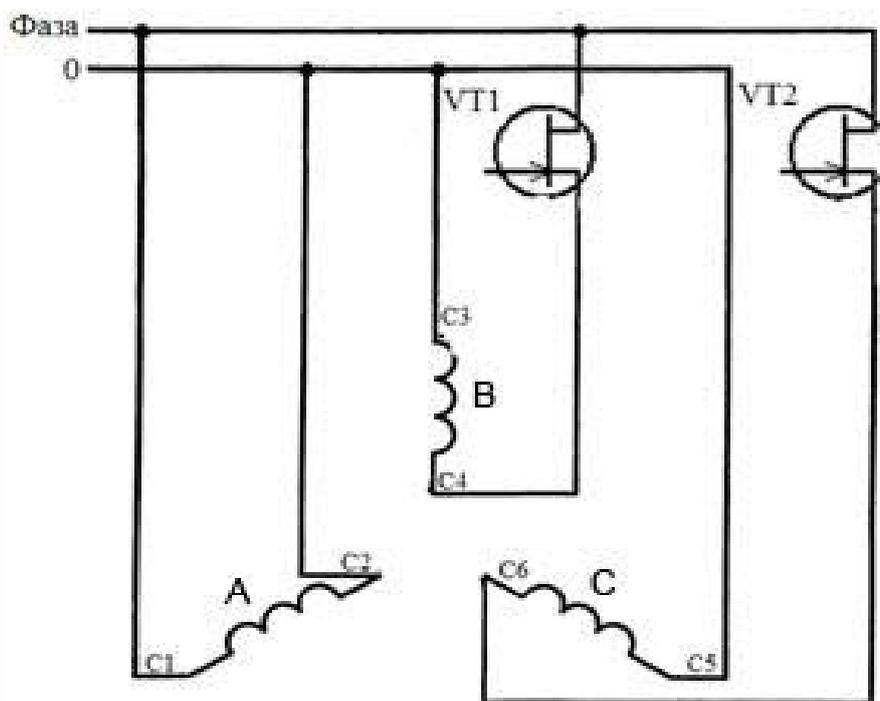
Основные недостатки данного способа подключения трехфазного асинхронного электродвигателя — это пониженное значение развиваемой электроприводом мощности.

Таким образом учитывая выше изложенные недостатки, необходимо разработать, новый более надежный, отличный от предыдущих, метод запуска и работы двигателя. На кафедре ЭиАЭП, Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова, разрабатываются такие новые методы, основанные на векторно-алгоритмическом управлении трехфазными асинхронными короткозамкнутыми двигателями, питающимся от однофазной сети.

В случае, если необходимо подключить трехфазный асинхронный электродвигатель в однофазную сеть, то может быть использована схема однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора [3]. С помощью данного изобретения, относящегося к нерегулируемым преобразователям частоты ведомого однофазной сетью пере-

менного тока. Предлагаемая разработка решает задачи повышения надежности и экономичности, а также снижения габаритов коммутатора.

Принцип работы однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора происходит следующим образом. В качестве питающей сети использована однофазная сеть. Обмотка А подключена непосредственно к питающей сети, для питания обмоток В и С устанавливаются полупроводниковые ключи. Полупроводниковыми ключами данного устройства являются полевые транзисторы, пропускающие ток в оба направления. Транзистор VT1 соединяет фазу питающей сети с С4 обмотки В, а транзистор VT2 с концом С6 обмотки С. Концы трех обмоток (С2, С3, С5) подсоединены к нулю питающей сети. Управляя полевыми транзисторами можно создавать реверс двигателя, а также данная схема, показанная на рисунке 4 очень компактная и недорогая в сравнение с другими рассмотренными в данной статье.



Ф – фаза; 0 – ноль;

С1-С6 – выводы статорных обмоток трехфазного асинхронного двигателя; VT1-VT2 – полевые транзисторы;

А, В, С – соответствующие обмотки двигателя.

Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства

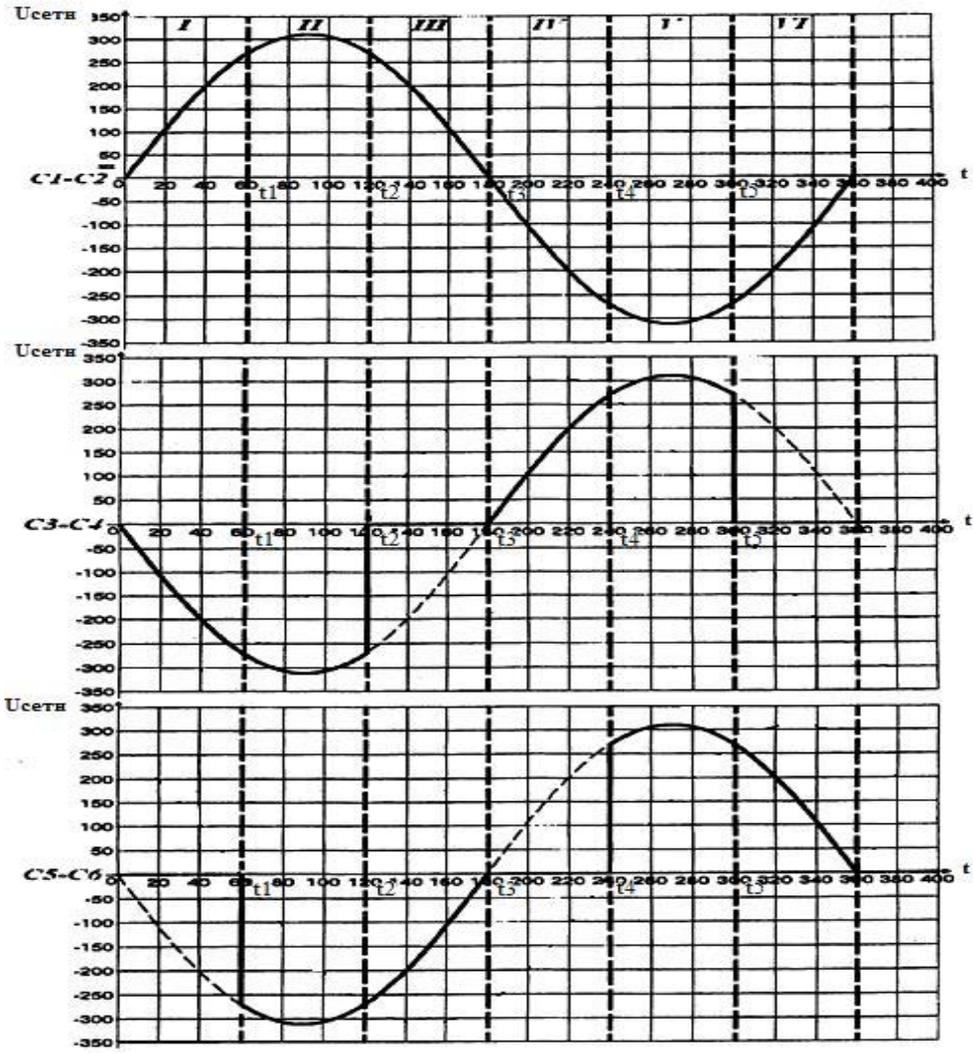


Рисунок 5 – Алгоритмически временные характеристики

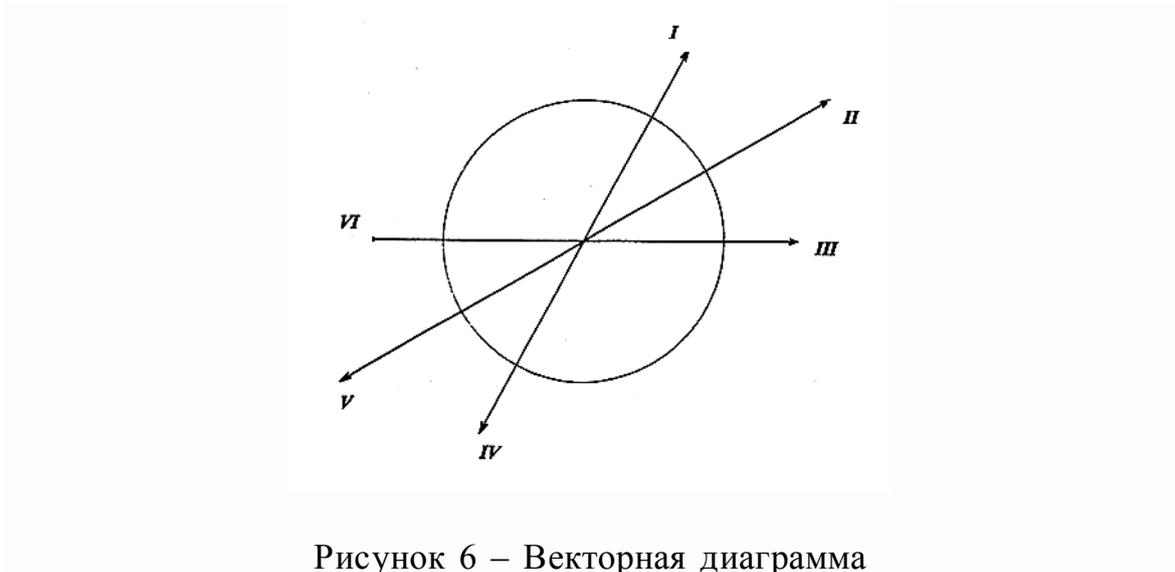


Рисунок 6 – Векторная диаграмма

На рисунке 6 показаны последовательные фиксированные положения вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора двигателя.

Работа однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора, ведомого сетью, происходит следующим образом. Первоначально, на затворы транзисторов подано напряжения, создающее электрическое поле для закрытия транзисторов. Векторно-алгоритмическое управление осуществляется снятием напряжения с затворов транзисторов в определенной алгоритмической последовательности. Для обеспечения вращения вектора магнитного потока кругового вращающегося поля статора двигателя в соответствии с векторной диаграммой, показанной на рисунке 6, а алгоритмически временные характеристики напряжений, поступающих на обмотки А, В, С показаны на рисунке 5, в последовательности I-II-III-IV-V-VI. При этом необходимо осуществлять снятие напряжения с затворов транзисторов VT1, VT2 в следующей последовательности:

- в начальный момент времени  $t_0$  снимается напряжение с затвора VT1 - I фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- в момент времени  $t_1$  снимается напряжение с затвора VT2 - II фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- в момент времени  $t_2$  подается напряжение на затвор VT1 - III фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- в момент времени  $t_3$  подается напряжение на затвор VT2, снимается напряжение с затвора VT1 - IV фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- в момент времени  $t_4$  снимается напряжение с затвора VT2 - V фиксированное положение вектора магнитного потока поля статора;

- в момент времени  $t_5$  подается напряжение на затвор VT1 - VI фиксированное положение вектор магнитного потока поля статора.

Аналогичным образом посредством снятием напряжения с затворов транзисторов в определенной алгоритмической последовательности можно осуществить реверс двигателя. Исходя из выше изложенного можно сделать вывод что данное устройство обладает рядом преимуществ таких как: высокая мощность (из-за того, что каждая обмотка подключается на полное фазное напряжения) при работе в однофазной сети; компактность (транзисторы имеют габариты существенно меньше чем конденсаторы), высокая надежность (меньше комплектующих), дешевизна, а также возможность реверса.

### **Список использованных источников:**

1. Как включить трехфазный двигатель в однофазную сеть 220 в. [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://www.delaysam.ru/poleznoe/poleznoe6.html>.

2. Запускаем трёхфазный электродвигатель без конденсаторов [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://sekretymasterov.ru/jelektro/26-zapускаем-trjohfaznyj-jelektrodvigatel-v-seti-220v.html>

3. Патент 121976 Российская Федерация, МПК H02P27/16 Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый сетью [Текст] / М. И. Стальная, С. Ю. Еремочкин, Т. М. Халина; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. // 2012124138/07, заявл. 08.06.2012; опубл. 10.11.2012. Бюл. 26. – 5с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Общая электротехника и автоматизированный электропривод», к.т.н., профессор Мая Ивановна Стальная; старший преподаватель Сергей Юрьевич Еремочкин – e-mail: [s.eremockin@mail.ru](mailto:s.eremockin@mail.ru); аспирант Константин Евгеньевич Дедаев – e-mail: [alister11@mail.ru](mailto:alister11@mail.ru); аспирант Анжелика Владимировна Еремочкина.*

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ  
СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ И  
ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ И  
ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В. И. Сташко

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрена проблема повышения эффективности обучения специалистов в области надежности и диагностики электрооборудования и системы дополнительного (непрерывного) обучения персонала в электроэнергетике на основе использования электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.*

*Ключевые слова: информатизация, профессиональная деятельность, электронное обучение, тесты, надежность электроснабжения.*

Глобальный процесс информатизации, вне зависимости от запросов общества, обеспечивает активное использование интеллектуального потенциала и внедрение новых современных технологий во все сферы жизнедеятельности. В свою очередь, под их влиянием происходит образование нового, информационного общества, которое способно использовать новые и накопленные ранее знания во всех областях деятельности человека, в том числе и в деятельности профессионального образования.

На мой взгляд, только лишь использование современных информационных технологий может способствовать развитию так называемого альтернативного мышления, которое, в свою очередь, формирует умение анализировать принятые решения, прогнозировать их последствия на основе использования моделирования информационных процессов, различных явлений, взаимосвязей и зависимостей между ними.

Реализовать такой подход в процессе подготовки специалистов в области электроэнергетики, используя традиционные образовательные технологии – вряд ли получится. И дело здесь вовсе не в том, что классические методы обучения будущих специалистов устарели или не отвечают современным требованиям, которые предъявляются к ним на производстве. Основная проблема заключается в том, что основанное

на современных информационных технологиях производство слишком быстро изменяется. Оно существенно изменяется не один раз в десять или даже пять лет. Оно может существенно изменяться в течении года несколько раз, а в некоторых производственных сферах счет может идти на месяцы и даже дни. И этот процесс ускоряется.

В результате, высококлассный специалист, с отличием закончив университет, оказывается невостребованным по своей специальности, так у работодателя к нему есть одна претензия – нет практического опыта или опыта работы с новым оборудованием, которое появилось в тот момент, когда нынешний специалист проходил обучение.

Для решения данной задачи нет необходимости прибегать к каким-то исследованиям в области повышения эффективности профессиональной подготовки специалистов, а достаточно лишь воспользоваться опытом ведущих мировых вузов, в том числе и некоторых российских.

Речь идет об использовании в учебном процессе ЭО (электронное обучение) и ДОТ (дистанционные образовательные технологии). Именно ЭО способно реализовать не только так называемое непрерывное обучение, но и корректировать содержание конкретного курса в процессе обучения. При этом, что немаловажно, стандарт дисциплины может оставаться в неизменном виде.

На первом этапе внедрения ЭО в учебный процесс при подготовке специалистов в области электроэнергетики (дисциплина – диагностика изоляции электрооборудования), из стандарта дисциплины берется только лишь лекционная часть. Разрабатываются, согласно лекционной части, сначала тесты текущего, а затем итогового контроля знаний.

Данные тесты могут располагаться на любом из сайтов, т.е., иметь свободный доступ, и корректироваться в любой момент, в зависимости от текущего стояния реального производства или его потребностей.

На втором этапе внедрения ЭО производится наполнение дисциплины видеолекциями согласно стандарта дисциплины.

В итоге, не прохождению конкретного теста будет соответствовать ссылка на видеолекцию, воспользовавшись которой студент сможет повторно изучить тот или иной материал.

Разработка тестов осуществляется в режиме свободного доступа на специализированном сайте Межрегионального центра электронных образовательных ресурсов - <http://mceor.ru/index.php/resursy/testy>.

На рисунке 1 приведена форма предварительной заявки на создание теста. После того как в соответствии со стандартом дисциплины станет известно число вопросов в тестах и число вариантов ответов на них, администратор сайта создаст шаблон, который преподаватель заполнит онлайн, в режиме диалога.

Поля помеченные \* обязательны для заполнения

Укажите свое имя

Укажите Ваш контактный e-mail

Укажите дисциплину в соответствии с образовательным стандартом

Укажите, сколько всего вопросов будет в тестах?

Сколько вариантов ответов будет на каждый вопрос?

Нужны дополнительные поля?

Рисунок 1 – Форма предварительной заявки на создание теста

Фрагмент административной панели построителя форм - BreezingForms представлен на рисунке 2.

Рисунок 2 – Тест по надежности электроснабжения в панели администратора на основе компоненты BreezingForms

Скрипт (функция) `ff_tests_end` подсчета результатов теста по пятибалльной системе:

```
function ff_tests_end(element,condition) {
    $a1=0;
    if (ff_getElementByName("t1_1").checked==true) {$a1=1;} else
```

```

{$a1=0;}
  if (ff_getElementByName("t1_2").checked==true) {$a1=0;}
  if (ff_getElementByName("t1_3").checked==true) {$a1=0;}
  $a2=0;
  if (ff_getElementByName("t2_1").checked==true) {$a2=1;} else
{$a2=0;}
  if (ff_getElementByName("t2_2").checked==true) {$a2=0;}
  if (ff_getElementByName("t2_3").checked==true) {$a2=0;}
  $a3=0;
  if (ff_getElementByName("t3_1").checked==true) {$a3=1;} else
{$a3=0;}
  if (ff_getElementByName("t3_2").checked==true) {$a3=0;}
  if (ff_getElementByName("t3_3").checked==true) {$a3=0;}
  $a4=0;
  if (ff_getElementByName("t4_1").checked==true) {$a4=1;} else
{$a4=0;}
  if (ff_getElementByName("t4_2").checked==true) {$a4=0;}
  if (ff_getElementByName("t4_3").checked==true) {$a4=0;}
  $a5=0;
  if (ff_getElementByName("t5_1").checked==true) {$a5=1;} else
{$a5=0;}
  if (ff_getElementByName("t5_2").checked==true) {$a5=0;}
  if (ff_getElementByName("t5_3").checked==true) {$a5=0;}
  $a = $a1+$a2+$a3+$a4+$a5;
  element.value = $a; }

```

Пример теста (Тест №1) по дисциплине ДИЭ (диагностика изоляции электрооборудования) представлен на рисунке 3.

**Тест №1**

**Основными показателями надежности являются:**

Поток отказов, наработка на отказ, время восстановления, коэффициент готовности

Да  Нет

Живучесть, наработка на отказ, время восстановления, долговечность

Да  Нет

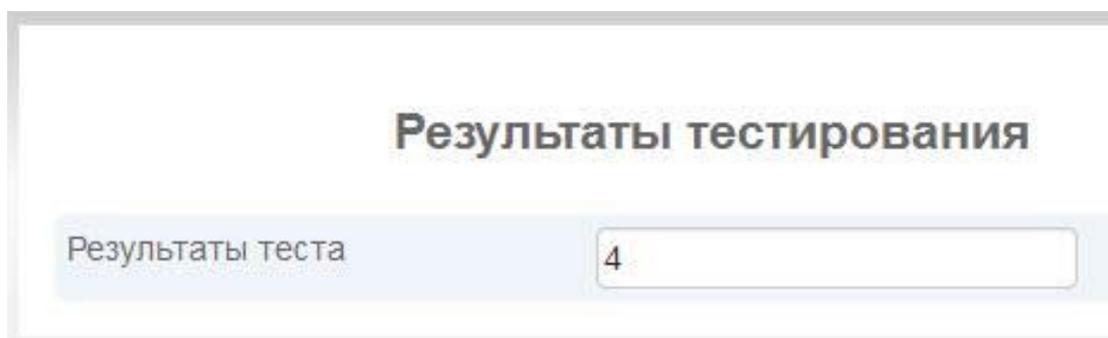
Устойчивость, параметр потока отказов, коэффициент готовности

Да  Нет

[Перейти к тесту №2](#)

Рисунок 3 – Тест по дисциплине ДИЭ (показатели надежности)

Результаты тестирования (по пятибалльной системе) представлены на рисунке 4.



The image shows a screenshot of a web interface. At the top, the text 'Результаты тестирования' (Test Results) is displayed in a large, bold, black font. Below this, there is a light blue rectangular box. Inside this box, on the left, the text 'Результаты теста' (Test Results) is written in a smaller black font. To the right of this text is a white rectangular input field with a thin black border, containing the number '4'.

Рисунок 4 – Результаты тестирования

Одно из основных преимуществ онлайн-тестирования состоит в том, что его можно использовать не только при подготовке специалистов на стадии учебы в вузе, но и непосредственно на производстве, для повышения квалификации инженерно-технического персонала. Особенно актуально это для небольших, удаленных от крупных промышленных центров, предприятий электроэнергетики, предприятий сельских электрических сетей и т.д.

#### **Список использованных источников:**

1. Об образовании в российской федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 07.05.2013 с изменениями, вступившими в силу с 19.05.2013). Глава 2. Система образования, ст. 16. Реализация образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий – М., [157]. – Режим доступа: <http://zakonbase.ru/zakony/ob-obrazovanii/?pdf=1>.

2. From great looking simple forms up to complex form applications - almost everything is possible! [Электронный ресурс]: BreezingForms 1.8.5 - For Joomla!® 3.x and 2.5.x – Режим доступа: <http://crosstec.de>.

**Реквизиты для справок:** 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», к.т.н., доцент Василий Иванович Сташко – e-mail: [stashko@list.ru](mailto:stashko@list.ru), тел. +7 (385-2) 29-09-46.

## ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО АВТОНОМНОГО ДОМА

В. Н. Тимофеева, И. А. Гутов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены особенности конструкции и энерго-снабжения энергоэффективного автономного дома, определены основные источники питания. Дано краткое описание систем тепло- и электроснабжения энергоэффективного дома. Сформулированы требования к данным системам, указаны достоинства и недостатки энергоэффективного пассивного дома.*

*Ключевые слова: энергоснабжение, энергоэффективность, автономный дом.*

Во всем мире цены на энергоносители растут и, как следствие, растет цена на электричество и тепло. Вопрос снижения эксплуатационных затрат на жилье стоит достаточно остро. Поиск альтернативных источников энергии, создание энергосберегающих и энергоэффективных технологий и систем – это основные направления развития энергетики настоящего и будущего.

В настоящее время актуальна проблема разработки энергоэффективных систем энергоснабжения жилых объектов. Необходимо определить и сформулировать основные требования к данным системам, предложить конкретную реализацию типовых проектов с учетом климатических особенностей районов Российской Федерации.

Разработке энергоэффективных домов, их архитектурно-строительной части и систем энергоснабжения посвящено много публикаций [1 - 8] и др. Задачи энергосбережения и энергоэффективности необходимо решать комплексно с учетом всех особенностей конкретного региона.

Районы Сибири характеризуются рядом факторов: малонаселенность отдельных территорий, суровые климатические условия, значительные перепады температур, удаленность от промышленных и индустриальных центров. В таких условиях необходимо обеспечить индивидуальный план развития энергетики. Это подразумевает более ши-

рокое использование возобновляемых источников энергии: солнца, ветра, геотермальных источников и т.д.

Энергию ветра в Сибири использовать не эффективно, так как зарубежный опыт создания объектов ветроэнергетики показывает, что экономически целесообразно строить ветряные электростанции там, где скорость ветра большую часть года составляет не менее 5 м/с, т.е. на побережьях. Поэтому необходимо наиболее полно использовать энергию солнца.

Расходы на отопление составляют более 50% коммунальных платежей. Поэтому наиболее эффективным решением является снижение тепловых потерь здания через ограждающие конструкции: пол, стены, крышу, двери и окна. Решив эту проблему, можно снизить затраты на коммунальные платежи в два раза.

Обычно, показателем энергоэффективности объекта служат потери тепловой энергии с квадратного метра ( $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ ). В среднем эта величина составляет 100 - 120  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Энергосберегающим считается здание, где этот показатель ниже 40  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ . Для европейских стран этот показатель еще ниже - порядка 10  $\text{Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  [1].

Энергоэффективный дом – здание, основной особенностью которого является малое энергопотребление и почти полная энергонезависимость. Пассивный дом – энергоэффективное здание, энергопотребление которого составляет около 10% от удельной энергии на единицу объема, потребляемой большинством современных зданий. Незначительное отопление требуется лишь в период отрицательных температур. В идеале пассивный дом является независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры воздуха и воды [3].

Архитектурная концепция пассивного дома базируется на принципах: компактности, качественного и максимально эффективного утепления, отсутствия мостиков холода в материалах и узлах примыканий, правильной геометрии здания, зонировании, ориентации по сторонам света. Из активных методов в пассивном доме обязательным является использование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией [1].

Отопление пассивного дома должно происходить благодаря теплу, выделяемому живущими в нём людьми и бытовыми приборами. При необходимости дополнительного «активного» обогрева, желательным является использование альтернативных источников энергии. Горячее водоснабжение также может осуществляться за счёт установок возобновляемой энергии, например, солнечных водонагревателей, устанавливаемых на крыше. Решать проблему охлаждения и конди-

ционирования здания также предполагается за счет соответствующего архитектурного решения, а в случае необходимости, дополнительного охлаждения - за счет альтернативных источников энергии, например, геотермального теплового насоса [1].

Для электроснабжения пассивного дома также можно использовать альтернативные источники энергии, например, солнечные батареи. Из представленных на рынке разработок особый интерес представляют голографические солнечные батареи, разработанные американской компанией Prism Solar Technologies. Предлагаемые солнечные фотоэлектрические модули отличаются низкой стоимостью одного ватта выходной мощности и целым рядом привлекательных технических моментов. Батарея нового типа представляет собой чередующиеся полоски: полоска голограммы – полоска фотоэлектрической батареи и т. д. Отличительная особенность новой солнечной панели — плоский голографический концентратор (Holographic Planar Concentrator — НРС) [4].

Prism Solar утверждает, что преимущества технологии НРС включают в себя [4]:

- низкие затраты на материал, так как используется меньше кремния на 50 – 72 %, что в свою очередь обеспечивают эффективную, но недорогую солнечную батарею;

- узкие фотоэлектрические фотоэлементы дают лучший результат электрических потоков, повышая эффективность преобразования;

- гарантированный минимум 80% мощности после 25 лет;

- панели работают при более низкой температуре;

- возможность собирать свет от задней и передней панели;

- голографические тонкие пленки собирают свет с различных углов падения света, повышая производительность в течение всего дня (известного как "пассивное слежение»);

- лёгкость и минимальная толщина;

- селекция света по частотам («тепловая» часть спектра на фотоэлектрических преобразователях без их перегрева;

- не требуется охлаждение;

- отсутствие механизма поворота.

Таким образом, голографические солнечные батареи, разработанные Prism Solar Technologies, могут быть использованы в северных регионах земного шара. Эти солнечные батареи могут захватить падающий свет в утренние и вечерние часы, а также отраженный свет в любое время, значительно увеличивая их эффективность.

Для энергоэффективных жилых домов и зданий в Западной Сибири необходимо соблюдать следующие технические требования:

- теплоизоляция с коэффициентом теплопередачи не более 0,15 Вт/(м<sup>2</sup> К);
- стыковые и переходные соединения без утечки тепла;
- механический способ вентиляции с рекуперацией тепла, степень рекуперации не ниже 75%;
- южное направление основного фасада (допустимое отклонение +/-30°) и большие оконные проемы, направленные на юг;
- отсутствие затененных участков с целью обеспечения пассивного накопления солнечной энергии;
- применение тройного остекления и суперизолирующих оконных рам;
- компактность формы сооружения.

Конструкция и основные элементы системы энергоснабжения энергоэффективного автономного дома представлены на рисунке 1 [8].

Основным архитектурным решением здания является высокий уровень герметичности ограждающих конструкций, их усиленная теплоизоляция [5].

Для отопления используется приточно-вытяжная вентиляция с очисткой впускаемого воздуха и рекуперацией тепла. Нагрев приточного воздуха, максимальная мощность 1 кВт.

Свежий воздух с улицы поступает в воздушный фильтр, фильтруется, проходит в грунтовый теплообменник, расположенный в земле, ниже уровня промерзания почвы. Там воздух зимой - нагревается, летом - охлаждается, поступает в рекуператор, в котором происходит теплообмен с уже использованным воздухом, который затем удаляется наружу. Температура входящего воздуха получается комфортной, приблизительно 17 °С, при необходимости он подогревается радиатором. По системе труб воздух поступает в помещения.

Солнце является дополнительным источником тепла. В разрабатываемом проекте будет использоваться «тепличный эффект». Основные помещения с большими окнами ориентированы на юг. Солнечная радиация, главным образом видимая часть солнечного спектра, проникает через ориентированное на солнце остекление окон дома, аккумулируется на бетонной плите пола, покрытой черной керамической плиткой. Все остальные части помещения окрашены в светлые тона, они отражают поступающий на них солнечный свет на темную бетонную плиту. За день пол нагревается и отдает свое тепло в ночное время, когда солнце уже садится. Второстепенные помещения: прихожие, кладовки, гардеробные, коридоры, лестничные клетки расположены вдоль северной стороны и имеют маленькие окна. Поскольку нагретая поверхность пола вторично излучают энергию в интерьер дома, температура воздуха в нем повышается, но теплота не проникает назад через

остекление, таким образом, результатом является уловленная солнечная энергия.

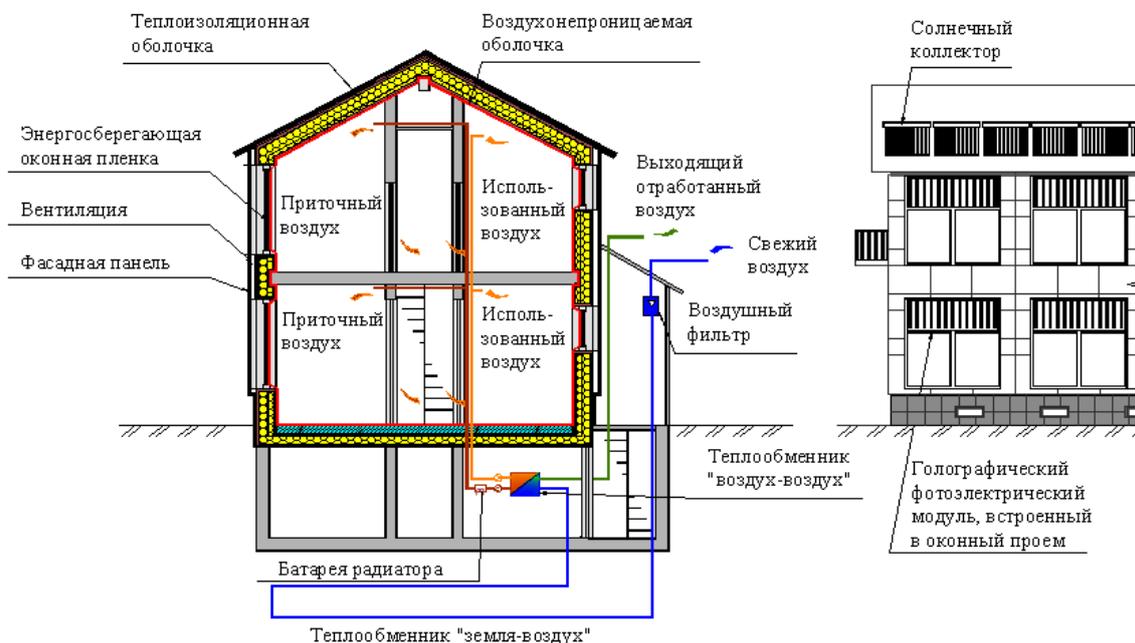


Рисунок 1

Чтобы сократить тепловые потери через большие окна в ночное время, используются окна с тройным остеклением с покрытием экономичных и изменяющих излучение пленок (телопоглощающих и теплоотражающих), располагаемых с разных сторон остекления окна. Через воздуховоды нагретый воздух поступает в помещения, расположенные вдоль северной стороны.

Стандарты строительства пассивного дома требуют определенного соотношения  $A/V$ , где площадь ограждающей поверхности  $A$ , или проще, «оболочки» здания делится на суммарный объем помещений  $V$ , в результате чего получаем коэффициент площади ограждающей поверхности сооружения. Этот показатель должен быть как можно меньше. Каждое здание в течение отопительного сезона теряет через свою внешнюю ограждающую поверхность ценное тепло. В тоже время геометрически компактные формы здания имеют самый низкий показатель тепловых потерь, так как большой внутренний объем помещений ограничен минимальной площадью внешней поверхности. В результате расчетов определены оптимальные размеры конкретного энергоэффективного дома. Такому дому не страшны неожиданные перебои с электроснабжением зимой. При температуре за окном - 15 °С пассивный дом остывает всего на 1 °С за сутки [5]. Даже в условиях холодного климата температура внутри дома остается высокой, что

обеспечивается хорошей теплоизоляцией. Таким образом, удастся избежать низких температур и перепадов температур [6].

Солнечные плоские вакуумные коллекторы, установленные на крыше, обеспечат водопотребление в полном объеме.

Для электроснабжения можно использовать голографические солнечные батареи, разработанные Prism Solar Technologies.

В конце этого года Prism Solar Technologies намерена начать серийный выпуск своих голографических батарей по весьма привлекательной цене \$2,4 за ватт, что примерно в 1,5 - 2 раза дешевле самых массовых на рынке «обычных» батарей на основе кристаллического кремния (примерно \$3,2-4 за ватт). Более того, второе поколение голографических батарей компания обещает сделать ещё дешевле – \$1,5 за ватт (они появятся через несколько лет) [4].

Одним из решающих факторов в строительстве энергоэффективного пассивного дома является квалифицированное выполнение всех вышеперечисленных технических требований и качественная реализация проекта.

Достоинства энергоэффективного пассивного дома [5]:

- экономичность за счет низкого энергопотребления;
- экологичность - дому нужны только электроэнергия и вода, вредные выбросы в атмосферу отсутствуют;
- автоматическая поддержка комфортной для человека температуры;
- энергонезависимость - такой дом можно возвести вдалеке от газовых и тепловых сетей.

К недостаткам можно отнести длительный срок окупаемости.

По себестоимости пассивный дом несколько дороже обычного. В нем нет котла и системы отопления – это фактор снижения затрат. Тем не менее, существуют расходы на дополнительное утепление, герметизацию и рекуперацию. Впрочем, за 20 лет развития технологии стоимость пассивного дома резко снизилась, и сегодня превышение составляет всего 5 – 10 % [7].

#### **Список использованных источников:**

1. Пассивный дом. [Электронный ресурс]: Wikipedia - Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Пассивный дом](http://ru.wikipedia.org/wiki/Пассивный_дом).

2. Габриель, И. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома [Текст] / И. Габриель, Х. Ладенер. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 478 с. - ISBN 978-5-9775-0574-1.

3. Что такое нулевой или пассивный дом [Электронный ресурс] // Экоблог. Альтернативная энергия. Альтернативная жизнь. - Режим доступа: <http://www.ekopower.ru/?p=919#more-919>.

4. Попов, Леонид Голографические солнечные батареи препаарируют свет перед потреблением [Электронный ресурс] / Леонид Попов // MEMBRANA: Люди. Идеи. Технологии. - Режим доступа: <http://www.membrana.ru/particle/3068/>

5. Что такое пассивный дом? [Электронный ресурс] // Блог конструктора. Ноу-хау, идеи, изобретения. - Режим доступа: <http://konstryktorov.net/alternativnaya-energiya/chto-takoe-passivnyiy-dom/>

6. Пассивный дом – Информация - Умный дом своими руками [Электронный ресурс] // Портал автоматизации зданий. - Режим доступа: <http://hosm.ru/info/passivehouse.html>.

7. Щукин, Алексей Энергия свечей, человека и земли [Электронный ресурс] / Алексей Щукин // Электронный журнал «Эксперт». - 2009. - №38. - Режим доступа: [http://expert.ru/expert/2009/38/energiya\\_svechei](http://expert.ru/expert/2009/38/energiya_svechei)

8. Тимофеева, В. Н. Энергоэффективный автономный дом в условиях Сибири [Электронный ресурс] / В. Н. Тимофеева, И. А. Гутов // Горизонты образования: 9-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь - 2012» (НиМ-2012) (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель - июнь 2012 г.). Секция «Электроэнергетика». Подсекция «Электроснабжение промышленных предприятий». - 2012. - Выпуск 14. - Режим доступа: [http://edu.secna.ru/media/f/epp\\_2012.pdf](http://edu.secna.ru/media/f/epp_2012.pdf)

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7 (385-2) 29-07-76, инженер Виктория Николаевна Тимофеева, к.т.н., доцент Игорь Алексеевич Гутов.*

## **КОМПОЗИТНЫЕ ОПОРЫ ДЛЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6 - 10 КВ**

А. Р. Упит, И. И. Савин, Н. М. Гесенко  
Россия, Алтайский край,  
г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический  
университет им. И. И. Ползунова»  
г. Бийск, ЗАО НПП «Алтик»

*В статье даны в сравнении механические и электрические характеристики опор воздушных линий электропередачи из традиционных материалов и нового композитного материала – стеклопластика. Определены преимущества опор из стеклопластика.*

*Ключевые слова: опора, воздушная линия электропередачи, стеклопластик, электрические характеристики.*

Опоры для ВЛЭП - это мачтовые конструкции, предназначенные для крепления изоляторов и проводов к ним на требуемом расстоянии от земли, друг от друга и от других строительных конструкций, крепления грозозащитного троса для тех ВЛЭП, на которых это необходимо.

Основными материалами для изготовления опор является дерево, железобетон, сталь. Накоплен большой статистический материал эксплуатации опор ВЛЭП из этих традиционных материалов. Определены основные достоинства и недостатки различных опор при их работе.

К недостаткам деревянных опор следует отнести их способность к загниванию, пожароопасность, повреждение древесины насекомыми.

Установка деревянных опор на ЖБ стойках предусматривает вязку тела деревянной опоры к ЖБ стойке стальными проволоками. В процессе эксплуатации из-за усыхания древесины и от колебаний под действием ветра вязка ослабевает, что требует периодического восстановления механических свойств крепления.

Железобетонные опоры коррозионно устойчивы, пожаробезопасны, но в условиях весеннего и осеннего периодов, когда в течение суток температура окружающего воздуха меняет знак, опоры быстро разрушаются из-за замерзания влаги в микротрещинах и порах бетона.

Одним из основных недостатков ЖБ опор является их низкие прочностно-весовые характеристики, которые предполагают значительные транспортные расходы из-за больших габаритов и массы изделий.

При строительстве ВЛЭП на стальных опорах преимущественно используются два типа опор: опоры башенного типа и многогранные опоры типа «столб».

Стальные опоры башенного типа, преимущество которых состоит в следующем:

- технологичность изготовления, которое состоит в нарезке уголков в размер и продавливания в них монтажных отверстий для болтовых соединений;
- относительно малый вес опор;
- низкая стоимость;
- легкость подъема на опору без применения приспособлений и подъемных механизмов.

К недостаткам опор башенного типа следует отнести сложность устройства фундаментов, большой поперечный размер в основании, низкая загрузка транспортных средств, остаточная деформация после предельных механических нагрузок, подверженность коррозии.

Стальные опоры типа «столб» имеют следующие преимущества:

- малый поперечный разрез;
- простой фундамент;
- хорошая загрузка транспортных средств;
- высокие прочностно механические свойства.

К недостаткам опор этого типа следует отнести:

- сложность изготовления;
- большой вес;
- сложность подъема на опору;
- наличие замкнутых полостей, что требует обеспечения герметичности конструкции на протяжении всего срока эксплуатации опор с целью предотвращения образования внутри опоры конденсата и вызванной его присутствием интенсивной коррозии внутренних поверхностей конструкции.

Таким образом, используемые в мировой практике стальные, железобетонные и деревянные опоры различных типов имеют как свои достоинства, так и недостатки, что открыло путь для разработки новых материалов и конструкций опор из них.

Таковыми материалами явились опоры, изготовленные из армированных полимерных композитов – стеклопластик (базальтопластик).

Этот материал характеризуется высоким отношением предела прочности к модулю упругости  $\gamma = \frac{\sigma}{E} = 10 - 12 \frac{МПа}{ГПа}$ ; (у стальных опор это отношение составляет 4,5, а у ЖБ опор 3).

По этой причине, опоры, выполненные из стеклопластика допускают большие прогибы при воздействии внешних нагрузок без потери

механических свойств. Это позволяет применять такие опоры, которые могут работать в сложных климатических условиях.

К другим достоинствам опор из этих материалов следует отнести следующее.

**Прочность.** По данному параметру композитные опоры сопоставимы со стальными;

**Масса.** Низкий показатель массы облегчает транспортировку и монтаж опоры. Например, общая масса комплекта опоры 6–20 кВ не превышает 220 кг, поэтому большая часть подготовительных работ по транспортировке и разгрузке таких опор проводится без привлечения тяжелой техники;

**Диэлектрические свойства.** По своим изоляционным характеристикам стеклопластиковые опоры являются хорошим диэлектриком. Изоляционные свойства материала позволяют применять новые решения по защите линий от грозových перенапряжений, в т.ч. основанные на увеличении электрической прочности фазной изоляции;

**Упругость.** Благодаря эластичности (гибкости) стойки выдерживают большие ветровые и гололедные нагрузки. Высокая эластичность композитных конструкций позволяет избежать остаточной деформации;

**Долговечность.** Проведенные испытания показали, что срок службы стоек составляет приблизительно 25 лет без какого либо обслуживания и до 70 лет при условии нормальной эксплуатации;

**Минимальное обслуживание.** Высокая стабильность материала позволяет эксплуатировать композитные опоры в суровых климатических условиях;

**Физические свойства.** Композитные опоры не подвержены гниению и коррозии, воздействию птиц и насекомых, обладают высокой огнестойкостью и могут стать абсолютно негорючими, если их покрыть несколькими слоями огнестойкого средства;

**Экологичность.** Токсичные компоненты не применяются при производстве и не выделяются в окружающую среду в процессе эксплуатации. Использование композитных опор не влечет за собой загрязнение окружающей среды и проблемы, подобные тем, которые возникают с пропитанными креозотом деревянными опорами.

Недостатком полимерных композитных материалов является быстрое старение под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. Но в настоящее время этот вопрос решен.

В России активно ведутся НИОКР по композитным опорам ВЛЭП. Этой темой занимаются как государственные учреждения, так и коммерческие организации: группа компаний ООО «ВКЭС» (г.

Санкт-Петербург), группа компаний «Машспецстрой» (г. Пермь), ЗАО «Феникс-88» (г. Новосибирск), ЗАО «НПП АЛТИК» (г. Бийск), ОАО «Экспериментальный завод высоковольтного оборудования» (г. Москва). Заказчиком работ по опорам выступает ОАО «Федеральная сетевая компания».

Механические свойства опор из стеклопластика, изготавливаемые ЗАО НПП «Алтик» города Бийска определялись при испытаниях в ОАО «Фирма ОРГРЭС» (Протокол №2014.114.032 Механические испытания стеклопластиковой опоры для ВЛЭП 6-10 кВ производства ЗАО НПП «Алтик» от 26.12.2013 г.)

По всем показателям механических характеристик стеклопластиковая опора превосходит опоры из ЖБ и стали.

Определение диэлектрических свойств и электрических параметров стеклопластиковых опор производились на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» Алтайского Государственного технического университета им. И. И. Ползунова в городе Барнауле.

Ввиду того, что для новых материалов, таких как стеклопластик, не разработаны руководящими документами методики их испытания, измерения проводились в соответствии с существующими нормативными документами:

- ГОСТ1516.2-97 «Общие методы испытаний электрической прочности изоляции»;
- РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытания электрооборудования»;
- ГОСТ 30531-97«Изоляторы линейные штыревые стеклянные, фарфоровые».

Разрядные напряжения в воздухе вдоль поверхности твердого диэлектрика значительно меньше, чем по тому же пути в чисто воздушных промежутках, и зависят от степени неоднородности электрического поля и состояния поверхности твердого диэлектрика.

В однородном поле, когда силовые линии направлены вдоль чистой сухой поверхности твердого диэлектрика, средняя напряженность зависит от гигроскопичности диэлектрика и, главным образом, от влажности воздуха. У обычных изоляторов с неоднородным полем разрядное напряжение зависит от конструкции изолятора и разрядного расстояния  $h$ .

Образец материала стеклопластиковой опоры (труба внешним диаметром  $d_{\text{ВНЕШ}}$  – 80 мм, внутренним диаметром  $d_{\text{ВНУТР}}$  – 65 мм) помещался в камеру высоковольтных испытаний аппарата АИИ-70. (Фото рисунки «а» и «б»)

Измерение пробивного напряжения производилось для сухого и мокрого образца. Зависимость пробивного напряжения  $U_{пр}=f(h)$  представлена на рисунке 2. Там же точкой отмечено пробивное напряжение фарфорового опорного изолятора типа ИОР-10. Смачивание испытуемого образца производилось в дождевальном устройстве в течение 30 минут.

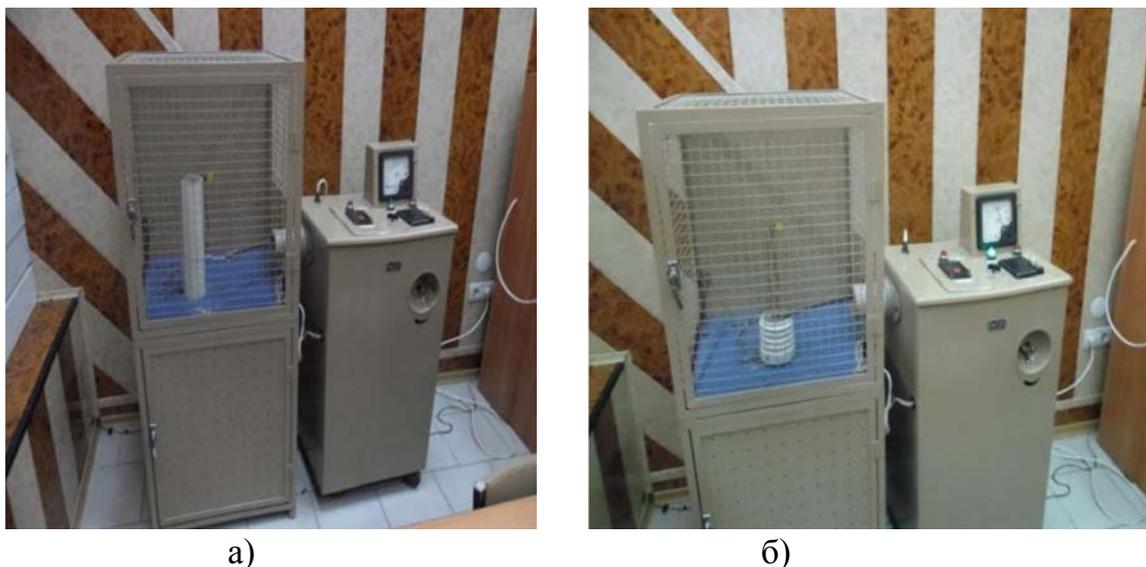


Рисунок 1 - Испытание  
а) стеклопластикового образца; б) изолятора типа ИОР-10.

Высота фарфорового изолятора ИОР-10 140 мм, до такой же высоты производилось испытание образца стеклопластиковой опоры.

Анализ испытаний показал, что диэлектрические свойства стеклопластика значительно лучше, чем фарфоровой изоляции.

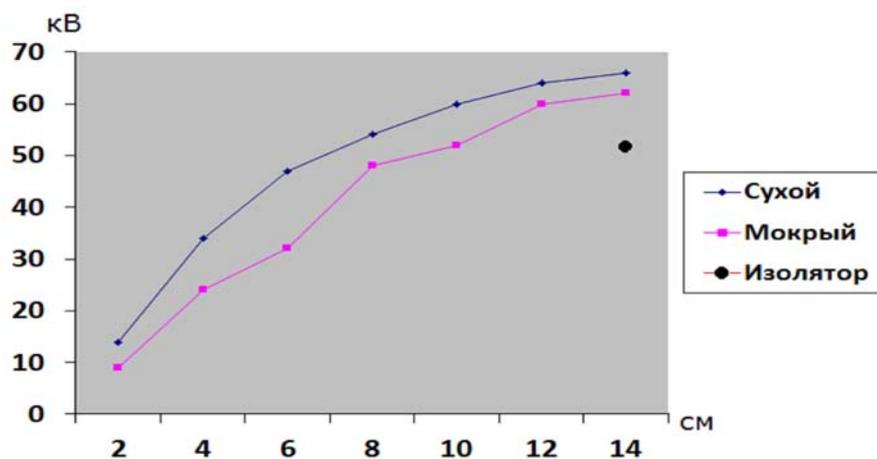


Рисунок 2 - Зависимость пробивного напряжения U кВ от высоты h см

Тело опоры, изготовленное из стеклопластика, само является основным изолятором и не требует установки дополнительных изоляторов и траверс. Размещение проводов можно осуществлять вертикально непосредственно по телу опоры (рисунок 3).

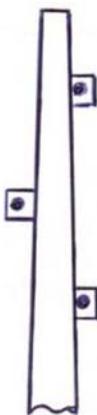


Рисунок 3 - Размещение проводов по телу опоры

Такое размещение проводов позволит сократить охранную зону ВЛЭП, облегчить монтаж проводов на опоре, исключить крутящий момент приложенный к телу опоры при обрыве провода, если бы он был закреплен на траверсе. Отпадает необходимость в выполнении заземляющего устройства опоры, т.к. отсутствуют элементы подлежащие заземлению.

Высокие диэлектрические свойства композитных опор существенно улучшают грозоупорность ВЛЭП. Это позволяет вообще отказаться от грозозащитных тросов. Отсутствие заземлителя существенным образом уменьшает действие блуждающих токов на здания, сооружения и природные объекты. В целом по результатам ряда исследований проведенных в США и России, ожидается, что ВЛЭП на композитных опорах будет иметь значительно меньшее количество отключений чем на традиционных.

Предварительные результаты опытной эксплуатации ВЛЭП на композитных опорах показали, что будущее в строительстве за такими опорами.

#### **Список использованных источников:**

1. ГОСТ 12496-88 Цилиндры и трубки электротехнические стеклоэпоксифенольные // Утвержден и введен в действие постановлением ГК СССР от 23.02.88 №329.

2. Седелков, В.Н. Композитные опоры воздушных линий – очередной шаг к внедрению [Текст] / В. Н. Седелков, И. И. Савин // Нефть и газ Сибири. - 2014. - №3. – С. 16-17.

3. Власов, В.В. Опыт разработки, изготовления и проведения испытаний легких одноцепных и двухцепных промежуточных опор из композиционных материалов для проведения аварийно-восстановительных работ в труднодоступной местности [Электронный ресурс] / В. В. Власов, В. М. Сухар. Новосибирск, ЗАО «Феникс-88», 2012. – 9 с. – Режим доступа: [http://www.fenix88.nsk.su/doc10\\_05\\_07.php](http://www.fenix88.nsk.su/doc10_05_07.php)

4. Композитные опоры воздушных линий электропередач [Электронный ресурс] // Википедия. свободная энциклопедия. 2013.-2014. - 9 с. – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Композитные\\_опоры\\_ВЛ&oldid=66614889](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Композитные_опоры_ВЛ&oldid=66614889)

5. Колтарп, Стив Правильность решения сетевой компании установить стеклопластиковые опоры [Текст] / Стив Колтарп, Тим Вайд // Western Kentucky Rural Elektrik Cooperative Corp, WKRECC. -2010. - №1. - С. 60-64.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», тел. +7 (385-2) 29-07-76, доцент Арвид Рудольфович Упит; доцент Нина Митрофановна Гесенко; 659305, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 19, ЗАО НПП «Алтик», тел. +7 (385-4) 43-25-62, к.т.н., зам. директора по НИОКР и качеству Игорь Игоревич Савин – e-mail: [sii@altik.su](mailto:sii@altik.su).*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ТЕПЛА С ПОМОЩЬЮ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

В. Я. Федянин, Н. Б. Шарипов  
Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

*Рассмотрены системы извлечение низкопотенциального тепла поверхностных слоев Земли с помощью грунтовых теплообменников тепловых насосов и использование его для теплоснабжения зданий. Приведены результаты натурных испытаний системы теплоснабжения жилого здания на основе теплонасосной системы с U-образным грунтовым теплообменником.*

*Ключевые слова: радиационный баланс, потенциал возобновляемого тепла, теплонасосная система теплоснабжения, термоскважина, U-образный грунтовой теплообменник.*

Системы теплоснабжения зданий и сооружений являются одними из наиболее энергоемких потребителей топливно-энергетических ресурсов в России. Замещение ограниченных запасов ископаемых видов топлива (нефть и нефтепродукты, природный газ, уголь и др.) на практически неограниченные ресурсы возобновляемых природных источников низкопотенциального тепла (тепло воды подземных и поверхностных источников, грунта, воздуха и др.) является актуальным направлением энерго- и ресурсосбережения и охраны окружающей природной среды. Теплонасосные установки, применяемые для решения проблем теплоснабжения, в последнее время продемонстрировали конкурентные преимущества на рынке теплоснабжающего оборудования благодаря своим возможностям замещать органическое топливо низкопотенциальным теплом природного и техногенного происхождения. С ростом цен и тарифов на ископаемое топливо эти тенденции усиливаются.

Использование низкопотенциальной теплоты поверхностных слоев Земли посредством тепловых насосов возможно практически в любой местности. В настоящее время это одно из наиболее динамично развивающихся направлений использования нетрадиционных возоб-

новляемых источников энергии. Низкопотенциальная тепловая энергия поверхностных слоев Земли, извлекаемая с помощью тепловых насосов, может использоваться для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования в зданиях и сооружениях любого назначения.

В общем случае теплонасосная система теплохладоснабжения, использующая низкопотенциальную теплоту поверхностных слоев Земли, включает в себя два основных элемента:

- теплонасосное оборудование;
- систему сбора низкопотенциальной теплоты поверхностных слоев Земли.

В настоящее время основу эксплуатируемого сегодня в мире парка теплонасосного оборудования составляют парокомпрессионные тепловые насосы, но применяются также и абсорбционные, электрохимические и термоэлектрические. Почва на глубине более 5 м характеризуется невысокой (8–12 °С), незначительно изменяющейся температурой, что позволяет рассматривать ее как эффективный источник энергии для тепловых насосов.

Несмотря на достаточно бурное развитие геотермальных ТСТ, наблюдающееся в последние десятилетия, во всем мире ощущается дефицит корректных экспериментальных данных, полученных при длительных сроках эксплуатации подобных систем. Ставятся вопросы об устойчивости этих систем, об их надежности при длительных сроках эксплуатации.

Наиболее перспективными являются вертикальные грунтовые теплообменники, применение которых получают все большее распространение в мировой практике. Прежде всего это связано с отсутствием необходимости отчуждения значительных земельных участков под грунтовый теплообменник. В горизонтальном варианте теплообменник занимает, как правило, значительную площадь.

Кроме того, циркуляция теплоносителя в вертикальных теплообменниках сопряжена со значительно меньшими затратами энергии на привод циркуляционных насосов, чем в горизонтальных теплообменниках. Но основным преимуществом вертикальных теплообменников является высокая технологичность их сооружения, позволяющая создавать грунтовые теплообменники практически неограниченной тепловой мощности, лимитируемой только технологическими возможностями бурового оборудования и стоимостными показателями теплообменника.

При устройстве вертикальных грунтовых теплообменников теплоноситель циркулирует по трубам (металлическим, полиэтиленовым

или полипропиленовым), уложенным в вертикальных скважинах глубиной от 50 до 200 м.

Как правило, используется два типа вертикальных грунтовых теплообменников:

- U-образный теплообменник, представляющий собой две параллельные трубы, соединенные в нижней части. В одной скважине располагаются одна или две (реже три) пары таких труб. Преимуществом такой схемы является относительно низкая стоимость изготовления. Двойные U-образные теплообменники - наиболее широко используемый в Европе тип вертикальных грунтовых теплообменников;
- коаксиальный (концентрический) теплообменник.

На рисунке 1 приведены характеристики вертикальных грунтовых теплообменников закрытого типа, работающих в составе отопительных систем на основе тепловых насосов, рассчитанные по материалам, представленным в обзоре установок, эксплуатируемых в различных странах (США, Германия, Швеция, Швейцария и др.) [1].

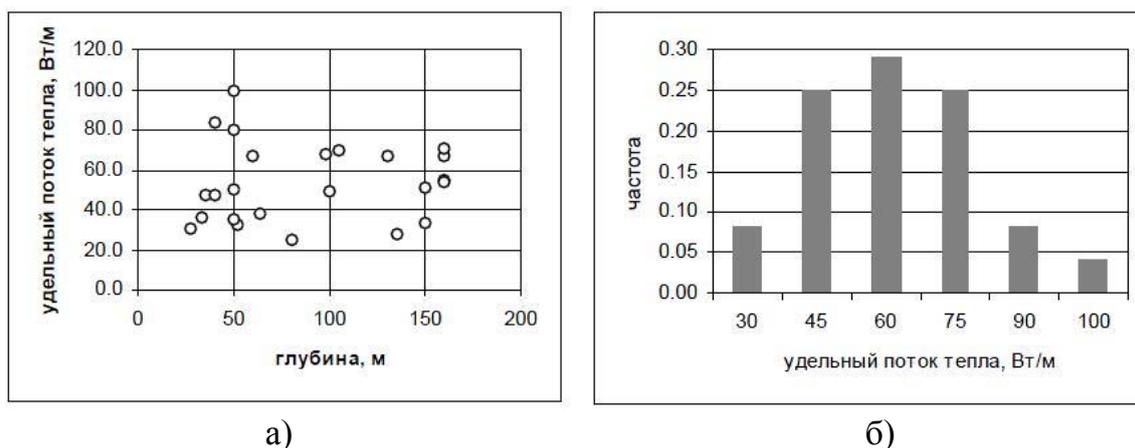


Рисунок 1 – Тепловые характеристики грунтовых теплообменников  
а) зависимость удельного потока тепла от глубины термоскважины;  
б) распределение величин удельного потока тепла, полученных от термоскважин в процессе их эксплуатации

Данные, приведенные на рисунке 1, показывают, что для большого диапазона установленной мощности систем отопления (9÷5200 кВт) и глубин скважин (27÷160 м), средний тепловой поток в расчете на погонный метр скважины практически не зависит от глубины. Производительность большинства рассмотренных грунтовых теплообменников лежит в интервале 45÷90 Вт/м.

## Потенциал возобновляемого тепла

Земная поверхность, здания, растительность, поглощая солнечную радиацию, нагреваются и испускают длинноволновое инфракрасное излучение  $I_i$ , которое тем больше, чем выше их температура. Атмосфера и облака также испускают длинноволновое излучение  $I_a$ , которое, падая на земную поверхность, поглощается и почти компенсируют расход  $I_i$ .

Разность между приходом и расходом лучистой энергии представляет собой радиационный баланс:

$$B = S + D + I_a - R - I_i, \quad (1)$$

где  $S$  – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность;  
 $D$  – рассеянная солнечная радиация;  
 $R$  – отраженная радиация.

Месячные суммы радиационного баланса и изменение температуры почвы для города Барнаула приведены на графиках рисунка 2, построенных по известным данным [2]:

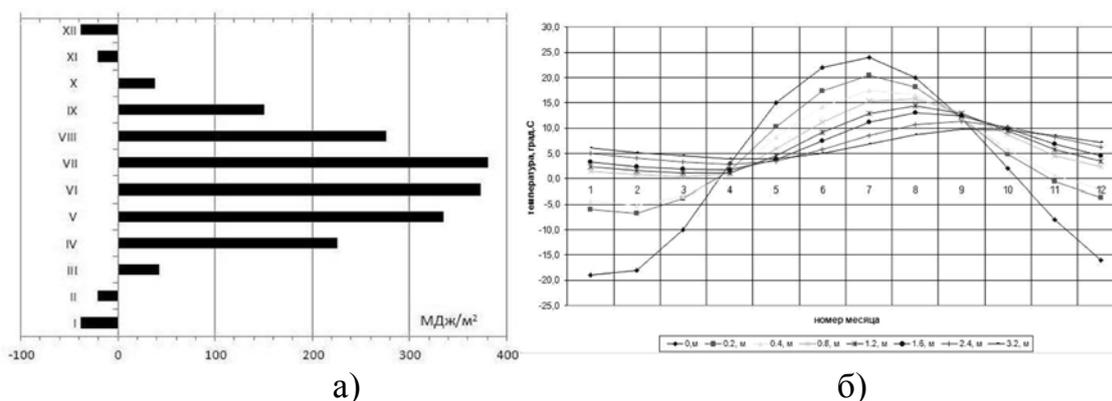


Рисунок 2 – Характеристики климата Барнаула

- а) – месячные суммы радиационного баланса;  
б) – пространственно-временное изменение температуры почвы

В годовом ходе радиационный баланс в Барнауле с марта по октябрь положительный и достигает максимального значения ( $381 \text{ МДж/м}^2$ ) в июле. При положительном балансе земная поверхность получает больше энергии от Солнца, чем его излучает в инфракрасном диапазоне. Энергия расходуется на нагревание почвы, воздуха и испарение влаги. К осени радиационный баланс существенно уменьшается, и в октябре он равен  $38 \text{ МДж/м}^2$ . Зимой радиационный баланс отрицательный, месячные суммы изменятся в пределах  $-21 \div -38 \text{ МДж/м}^2$ . Среднегодовое значение радиационного баланса в Барнау-

ле около 1704 МДж/м<sup>2</sup>. Сумма положительных месячных сумм (приходная часть) радиационного баланса составляет 1784 МДж/м<sup>2</sup>.

Поглощенная поверхностными слоями почвы энергия приводит к нестационарным процессам теплообмена. Изменение температуры почвы, измеренное напочвенными термометрами, расположенными на различной глубине, приведены на рисунке 2 б). Средняя годовая температура поверхности почвы в Барнауле составляет 2,0 °С. Это на 0,8 °С выше средней годовой температуры воздуха. С апреля по октябрь температура поверхности почвы положительна, а с мая по сентябрь превышает 10 °С. Периодическое изменение температуры поверхности возбуждает колебание температуры поверхностных слоев почвы.

Пространственно-временное распределение температуры описывается следующей формулой [3]:

$$T(z,t) = T_0 - \Delta T_0 e^{-\xi} \cos(\omega t + \varphi - \xi), \quad (2)$$

где  $\xi = z \sqrt{\frac{\omega}{2a}}$ ;  $\omega$  - круговая частота, соответствующая годовому периоду колебаний  $\omega = \frac{2\pi}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ ;

$$a = \frac{\lambda}{\rho c} - \text{коэффициент теплопроводности почвы, м}^2/\text{с}.$$

Коэффициенты  $T_0, \Delta T_0$  и  $\varphi$  выбираются из условия наилучшего совпадения значений температуры поверхности почвы, измеренной напочвенным термометром и рассчитанной с помощью формулы:

$$T(t) = T_0 - \Delta T_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

Удельное количество теплоты, запасаемое слоем почвы за время, равное половине периода, равно:

$$Q_0 = \frac{2\pi b \Delta T_0}{\omega}, \text{ Дж/м}^2, \quad (3)$$

где  $b = \sqrt{\frac{\lambda \rho c \omega}{\pi}}$ , Дж/(м<sup>2</sup>К) – коэффициент теплоусвоения почвы за половину периода. Для условий Барнаула  $Q_0 = 144,9 \text{ МДж/м}^2$ .

Введем коэффициент преобразования энергии солнечного излучения в тепловую энергию, запасенную почвой:

$$\eta_s = \frac{Q_0}{I}, \quad (4)$$

где  $I$ , МДж/м<sup>2</sup> – средняя величина суммарной приходной (положительной) части баланса солнечной радиации на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности. Для условий Барнаула  $\eta_s = \frac{144,9}{1784} = 0,08$ .

Солнечная энергия, запасенная в поверхностных слоях почвы – возобновляемый источник, который может быть использована для отопления зданий промышленного и гражданского назначения. Территориальными строительными нормами определен требуемый удельный расход тепловой энергии системой отопления зданий за отопительный период  $q_h^{req}$ , МДж/м<sup>2</sup>.

Введем безразмерный критерий  $f$ , определяющий площадь поверхности почвы, запасющей в природно-климатических условиях данной местности тепловую энергию, необходимую для отопления одного квадратного метра здания заданного типа:

$$f = \frac{q_h^{req}}{\eta_s I} \quad (5)$$

Для примера оценим величину этого критерия для малоэтажного жилого здания в условиях Барнаула (2 этажа, отапливаемая площадь 250 м<sup>2</sup>). В соответствии с нормами тепловой защиты зданий [4]:

$$q_h^{req} = 6343^\circ C_{сут} \cdot 0,105 \text{ МДж} / \text{м}^2 \cdot ^\circ C_{сут} = 660 \text{ МДж} / \text{м}^2,$$

$$f = \frac{660}{0,08 \cdot 1784} = 4,6.$$

Таким образом, площадь поверхности почвы, необходимая для обеспечения возобновляемым теплом системы отопления жилого здания с помощью теплового насоса может быть оценена по следующей формуле:

$$A = A_0 f \frac{k-1}{k}. \quad (6)$$

Здесь  $k$  – коэффициент трансформации теплоты теплонасосной системой (для примера примем  $k = 3,5$ ).

Для рассматриваемого жилого здания получим:

$$A = 250 \cdot 4,6 \cdot \frac{3,5-1}{3,5} = 821 \text{ м}^2.$$

### **Испытания теплонасосной системы теплоснабжения жилого здания**

Принципиальная схема теплоснабжения на основе теплового насоса представлена на рисунке 3.

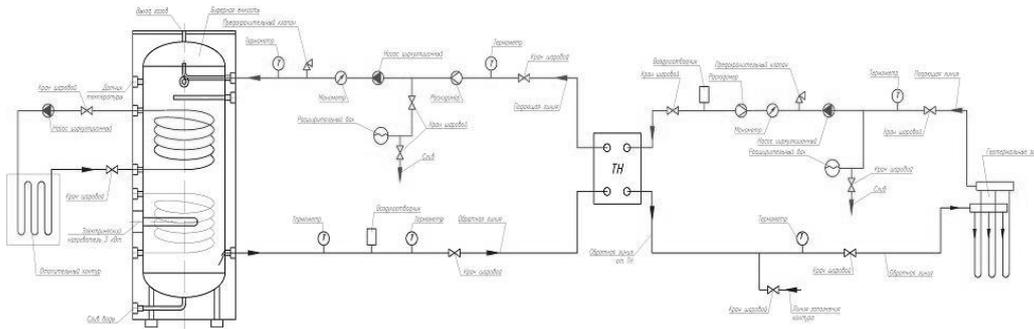


Рисунок 3 – Схема подключения грунтового теплообменника и бака-аккумулятора к тепловому насосу

Фотография оборудования и схема размещения трех термоскважин на участке, прилегающем к жилому зданию приведены на рисунке 4.

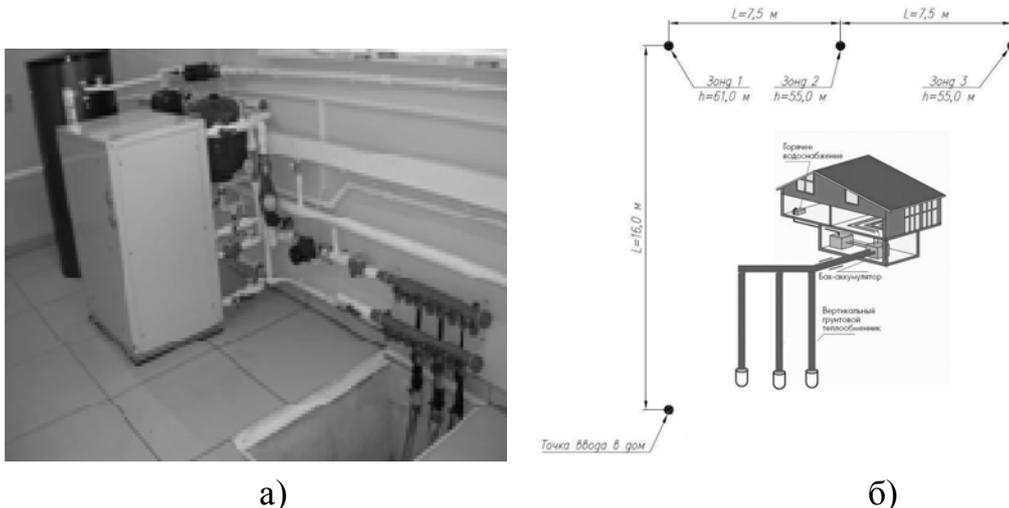


Рисунок 4 – Теплонасосная система теплоснабжения  
 а) фотография теплового насоса и бака-аккумулятора;  
 б) основные геометрические размеры систему сбора низкопотенциального тепла поверхностных слоев Земли

Система сбора низкопотенциального тепла с вертикальным грунтовым теплообменником представляла собой три скважины глубиной 61 и 55 м, расположенные на расстоянии 7,5 м друг от друга. В скважины была помещена U-образная труба - по одной ветви которой теплоноситель подается вниз, а по другой возвращается обратно. В качестве теплоносителя системы сбора низкопотенциального тепла грунта, исходя из имеющегося опыта и представленных на рынке веществ и растворов, учитывая их эксплуатационные свойства и стоимость, принят 36% водный раствор этиленгликоля с температурой кристаллизации минус 20°C. Герметичный грунтовой теплообменник, предвари-

тельно испытанный под давлением, погружался в скважину. Перед погружением в заполненную буровым раствором скважину U-образный теплообменник заполняется водой и к нижнему концу теплообменника подвешивается дополнительный груз, чтобы предотвратить его всплытие. При испытании системы в эксплуатационном режиме систематически (через 15 минут) замерялись следующие параметры: температуры теплоносителя на входе и выходе грунтового теплообменника; температуры на входе и выходе конденсатора теплового насоса; расход теплоносителя через грунтовой теплообменник и конденсатор теплового насоса, а также расход электроэнергии на привод теплового насоса. На рисунке 5 представлены результаты измерений.

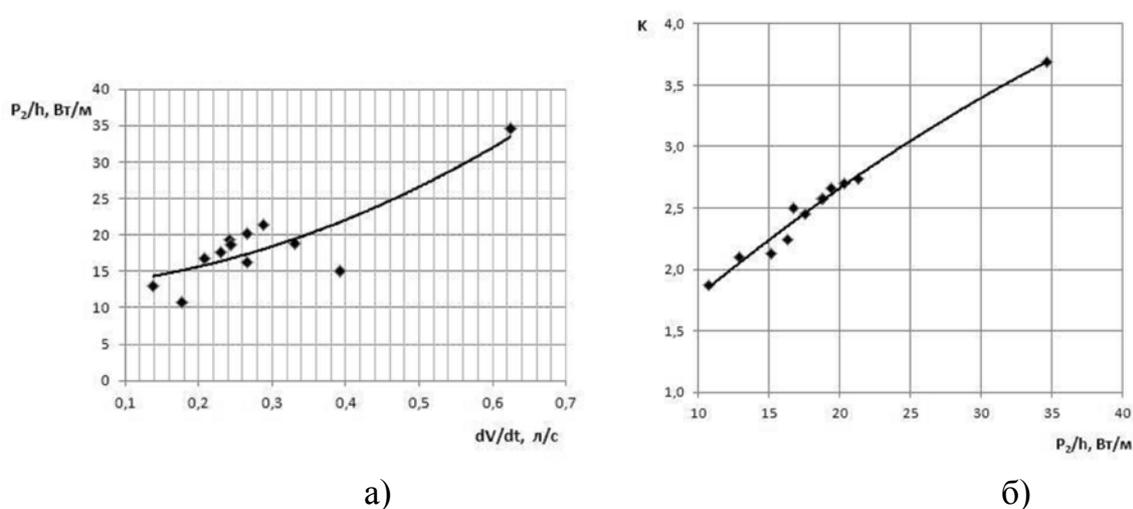


Рисунок 5 – Результаты измерения параметров теплонасосной системы теплоснабжения здания с вертикальными U-образными грунтовыми теплообменниками

- а) зависимость тепловой мощности в расчете на единицу длины извлекаемой из почвы U-образным теплообменником от расхода теплоносителя;
- б) зависимость коэффициента трансформации теплоты от удельной величины тепловой мощности, извлекаемой грунтовым теплообменником

## Выводы

Оценки потенциала возобновляемого тепла, поступающего в поверхностные слои Земли за счет поглощения солнечной радиации показывают, что энергии поглощаемой поверхностью  $3 \div 3,5 \text{ м}^2$  почвы достаточно для обеспечения теплом одного квадратного метра отапливаемой площади.

Теплонасосные системы теплоснабжения способны существенно вытеснить привозной уголь из малой энергетики регионов Западной Сибири.

**Список использованных источников:**

1. Sanner В. Oberflaechennahe Geothermie – Waerme- und Kaelteversorgung aus dem Untergrund [Текст]/ В. Sanner//BBR: Brunnenbau, Bau Wasserwerk, Rohrleitugsbau. – 1998. – № 10. – С. 34–40.

2. Климат Барнаула [Текст]:научное издание /Под ред. С.Д. Кошинского и В.Л. Кухарской. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 139 с.

3. Федянин, В.Я. Инновационные технологии для повышения эффективности Алтайской энергетики [Текст]: монография /В.Я. Федянин, В.А. Мещеряков. – Барнаул: Изд-во ААЭП, 2010. – 192 с.:ил.

4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М. Госстрой России, 2004. – 42 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, кафедра «Общая электротехника и автоматизированный электропривод», д.т.н., профессор Виктор Яковлев Федянин – e-mail: fedyanin054@mail.ru, аспирант Нурмухаммад Бободжонович. Шарипов – e-mail: mahmed.b@mail.ru*

## **ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ ПО РОТОРНОЙ ЦЕПИ С ОБЩИМ ИНВЕРТОРОМ ВЕДОМЫМ СЕТЬЮ**

М. М. Хамудханов, А. А. Пулатов

Республика Узбекистан, г. Ташкент, Алмазарский район,  
Ташкентский государственный технический университет  
имени Абу Райхана Беруни

Многодвигательный электропривод с электрической связью (МЭЭС), является системой электропривода с промежуточной цепью постоянного тока, в которой токи роторов каждого асинхронного двигателя с фазным ротором (АД) выпрямляются с помощью соответствующих трехфазных мостовых выпрямителей и в их цепи вводится добавочная ЭДС, получаемая от управляемого вентильного преобразователя – инвертора, ведомого сетью (ИВС) [1].

Система МЭЭС с общим ИВС, рекомендуемая к использованию на насосных станциях (НС) систем машинного водоподъема (СМВ), характеризуется высоким КПД, по сравнению с другими системами регулируемого электропривода [2], в частности наиболее перспективного – частотного. Это объясняется тем, что в системе МЭЭС с общим ИВС преобразуется лишь энергия скольжения.

Преимущество данного схемного решения, по сравнению со схемами частотного управления, можно определить в основном следующим:

- вентильный преобразователь в роторных цепях АД не должен обеспечивать циркуляцию реактивной мощности для создания их магнитных потоков, так как они создаются за счет реактивных мощностей, циркулирующих в статорных цепях АД;

- вентильный преобразователь МЭЭС с общим ИВС рассчитывается лишь на мощность, пропорциональную диапазону регулирования приводных электродвигателей насосных агрегатов (НА) СМВ, в то время как преобразователь частоты для питания АД по схемам частотного управления должен быть выполнен на полную мощность системы электропривода.

Для вывода основных электромеханических соотношений МЭЭС с общим ИВС, характеризующих его работу в статическом режиме, необходимо принять ряд допущений, упрощающих описание электро-

магнитных процессов функционирования предлагаемой системы регулируемого электропривода:

- насыщение магнитопровода и потери в стали приводных электродвигателей не учитываются;

- воздушный зазор АД принимается равномерным, при этом высшими пространственными гармониками магнитного поля пренебрегаем;

- считаем, что вентили имеют идеализированные вольт – амперные характеристики;

- угол перекрытия вентилях неуправляемых выпрямителей не превышает 60 эл. град.

Так как данная система электропривода рекомендуется к реализации на насосных установках (НУ) СМВ с параллельной работы центробежных насосов в общую напорную сеть, которые, как правило, комплектуются однотипными насосами и электродвигателями, то параметры, приводных электродвигателей и их роторных контуров, следует принимать идентичными [3].

Эквивалентная схема замещения МЭЭС с общим ИВС, приведенная к цепи выпрямленных токов роторов АД, изображена на рисунке 1.

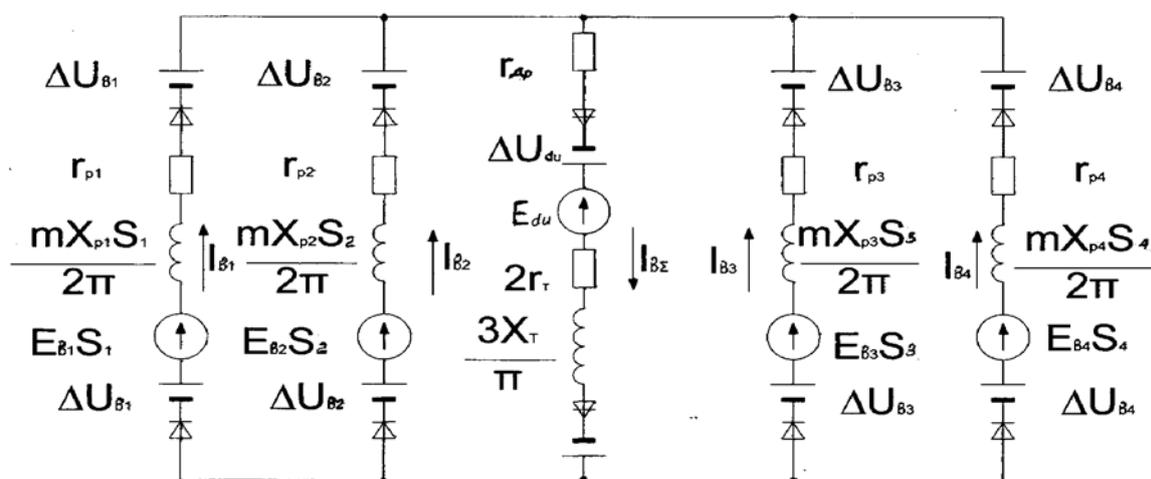


Рисунок 1 - Эквивалентная схема замещения МЭЭС с общим ИВС

В ней приняты следующие обозначения:  $E_{B,i}$  - среднее значение ЭДС на выходе выпрямительных мостов  $B_i$  при  $s_i = 1$ ,  $i = 1, \dots, 4$ ,

$$E_{B,i} = \sqrt{2} * E_{P,i} * \frac{m}{\pi} * \sin \frac{\pi}{m} = 1,35 E_{P,i}, \quad (1)$$

где  $E_{P,i}$  - ЭДС на кольцах неподвижного ротора  $i$ -го АД;

$m$  - число фаз мостового выпрямителя;

$s_i$  - скольжение ротора  $i$ -го АД;

$x_{P.i}$  - индуктивное сопротивление фазы  $i$ -го АД, приведенное к цепи ротора при  $s_i = 1$ :

$$x_{P.i} = x_{POT.i} + x_{C.i} * \frac{1}{K_{e.i}^2}, \quad (2)$$

где  $x_{C.i}, x_{POT.i}$  - индуктивные сопротивления фазы статора и ротора  $i$ -го АД;

$K_{e.i}$  - коэффициент трансформации напряжения от статора к ротору  $i$ -го АД:

$$K_{e.i} = 0,95 * \frac{U_i}{E_{P.i}}, \quad (3)$$

где  $U_i$  - линейное напряжение на зажимах статора  $i$ -го АД;

$r_{\partial p}, x_{\partial p}$  - активное и индуктивное сопротивления сглаживающего дросселя;

$r_{p.i}$  - активное сопротивление фазы  $i$ -го АД, приведенное к цепи ротора:

$$r_{p.i} = 2 * r_i + 2 * r'_{C.i}, \quad (4)$$

где  $r_i$  - активное сопротивление фазы ротора  $i$ -го АД;

$r'_{C.i}$  - активное сопротивление фазы статора  $i$ -го АД, приведенное к цепи ротора:

$$r'_{C.i} = r_{C.i} / K_{e.i}^2, \quad (5)$$

где  $r_{C.i}$  - активное сопротивление фазы статора  $i$ -го АД;

$\Delta U_{B.i}$  - суммарное падение напряжения на скользящем контакте и вентилях выпрямительного моста  $B_i$   $i$ -го АД при прохождении прямого тока;

$I_{B.i}$  - выпрямленный ток ротора  $i$ -го АД;

$R_{\mathcal{E}.i}$  - эквивалентное сопротивление  $i$ -го АД;

$E_{du}$  - противо – ЭДС инвертора на стороне выпрямленного тока;

$E_{2T}$  - фазное напряжение вторичной обмотки согласующего трансформатора;

$r_T, x_T$  - приведенные к вторичной обмотке активное и индуктивное сопротивления фазы трансформатора:

$$r_T = r_{T2} + r_{T1} * \frac{1}{K_{eT}^2}, \quad (6)$$

$$x_T = x_{T2} + x_{T1} * \frac{1}{K_{eT}^2}, \quad (7)$$

где  $r_{T2}$ ,  $x_{T1}$ ,  $x_{T2}$  - соответственно активные и реактивные сопротивления первичной и вторичной обмоток согласующего трансформатора;

$K_{eT}$  - коэффициент трансформации напряжения от первичной обмотки к вторичной;

$R_{\Sigma}$  - эквивалентное сопротивление общей цепи роторных контуров МЭЭС с общим ИВС;

$U_{du}$  - падение напряжения на тиристоре ИВС при прохождении прямого тока;

$I_{B\Sigma}$  - суммарный выпрямленный ток в общей цепи роторных контуров МЭЭС с общим ИВС;

На основании метода контурных токов и второго закона Кирхгофа, составим в соответствии с эквивалентной схемой замещения (рисунки 1) систему уравнений электрического равновесия для совместно работающих приводных электродвигателей НА в МЭЭС с общим ИВС:

$$I_{B.i} * R_{\Sigma} + I_{B\Sigma} * R_{\Sigma} = E_{B.i} * s_i - E_{du} - 2 * \Delta U_{B.i} - 2 * \Delta U_{du}, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (8)$$

или

$$I_{B.i} * R_{\Sigma} + \sum_{i=1}^4 I_{B.i} * R_{\Sigma} = E_{B.i} * s_i - E_{du} - \Delta U_i, \quad i = 1, \dots, 4, \quad (9)$$

$$\text{где } R_{\Sigma} = s_i * (3 * x_{P.i} / \pi + 2 * r'_{C.i}) + 2 * r_i, \quad (10)$$

$$R_{\Sigma} = 3 * x_T / \pi + 2 * r_T + r_{\partial p}, \quad (11)$$

$$\Delta U_i = 2 * \Delta U_{B.i} + 2 * U_{du}. \quad (12)$$

Запишем (9) в виде, позволяющим рассчитать значения выпрямленных токов  $I_{B.i}$  посредством использования определителей:

$$I_{B1} * (R_{\Sigma1} + R_{\Sigma}) + I_{B2} * R_{\Sigma} + I_{B3} * R_{\Sigma} + I_{B4} * R_{\Sigma} = E_{B1} * s_1 - E_{du} - \Delta U_1, \quad (13)$$

$$I_{B1} * R_{\Sigma} + I_{B2} * (R_{\Sigma2} + R_{\Sigma}) + I_{B3} * R_{\Sigma} + I_{B4} * R_{\Sigma} = E_{B2} * s_2 - E_{du} - \Delta U_2, \quad (14)$$

$$I_{B1} * R_{\Sigma} + I_{B2} * R_{\Sigma} + I_{B3} * (R_{\Sigma3} + R_{\Sigma}) + I_{B4} * R_{\Sigma} = E_{B3} * s_3 - E_{du} - \Delta U_3, \quad (15)$$

$$I_{B1} * R_{\Sigma} + I_{B2} * R_{\Sigma} + I_{B3} * R_{\Sigma} + I_{B4} * (R_{\Sigma4} + R_{\Sigma}) = E_{B4} * s_4 - E_{du} - \Delta U_4. \quad (16)$$

Используя известную методику вычисления определителя системы уравнений  $\Delta$  и определителей  $\Delta_{11}$ ,  $\Delta_{22}$ ,  $\Delta_{33}$ ,  $\Delta_{44}$ , получаемых из  $\Delta$  путем замены коэффициентов при соответствующем неизвестном  $I_{B.i}$  свободными членами, найдем искомые значения выпрямленных токов:

$$I_{B1} = \Delta_{11} / \Delta ; I_{B2} = \Delta_{22} / \Delta ; I_{B3} = \Delta_{33} / \Delta ; I_{B4} = \Delta_{44} / \Delta . \quad (17)$$

При идентичных параметрах приводных электродвигателей НА и элементов роторных цепей МЭЭС с общим ИВС имеем:

$$R_{\mathcal{E}1} = R_{\mathcal{E}2} = R_{\mathcal{E}3} = R_{\mathcal{E}4} ; E_{B1} = E_{B2} = E_{B3} = E_{B4} .$$

Тогда выпрямленный роторный ток каждого из совместно работающих АД может быть определен по выражению:

$$I_{B.i} = (E_{B.i} * s_i - E_{du} - \Delta U_i) / (R_{\mathcal{E}.i} + 4 * R_{\mathcal{E}общ}) , \quad i = 1, \dots, 4. \quad (18)$$

Аналогичным образом, составляя систему уравнений и решая ее для вариантов трех, двух и одного случаев работы приводных электродвигателей НА в системе МЭЭС с общим ИВС, на основе анализа и сопоставления получаемых при этом соотношений можно выявить обобщенное выражение для выпрямленных роторных токов  $N$  совместно функционирующих АД при идентичности их параметров и элементов роторных цепей:

$$I_{B.i} = (E_{B.i} * s_i - E_{du} - \Delta U_i) / (R_{\mathcal{E}.i} + N * R_{\mathcal{E}общ}) , \quad i = 1, \dots, N . \quad (19)$$

Тогда суммарный выпрямленный ток в общей цепи роторных контуров в системе МЭЭС с общим ИВС может быть определен как:

$$I_{B\Sigma} = [N * (E_B * s - E_{du} - \Delta U) / (R_{\mathcal{E}} + N * R_{\mathcal{E}общ})] . \quad (20)$$

При условии непрерывности выпрямленных токов [4] имеем:

$$E_{du} = K_2 * E_{2T} * \cos \beta , \quad (21)$$

где  $K_2$  - коэффициент, зависящий от схемы соединения вентиля инвертора.

Далее, используя (10), (11) и (21) можно записать выражение (19) в виде:

$$I_{B.i} = \frac{(E_{B.i} * s_i - K_{2T} * E_{2T} * \cos \beta - \Delta U_i)}{[s_i * (3 * x_{P.i} / \pi + 2 * r'_{C.i}) + 2 * r_i + N * (3 * x_T / \pi + 2 * r_T + r_{\partial p})]} , \quad i = 1, \dots, N . \quad (22)$$

Из уравнения (22) можно определить значение скольжения от величины выпрямленных роторных токов для каждого из совместно работающих АД:

$$s_i = \frac{\{K_2 * E_{2T} * \cos \beta + \Delta U_i + I_{B,i} * [2 * r_i + N * (3 * x_T / \pi + 2 * r_T + r_{dp})]\}}{[E_{B,i} - I_{B,i} * (3 * x_{P,i} / \pi + 2 * r'_{C,i})]} \quad (23)$$

На основании (23) при произвольно задаваемых, в определенном диапазоне, величинах  $I_{B,i}$  для строго постоянных значений угла управления  $\beta$  можно рассчитать и построить электромеханические характеристики для каждого из АД в системе МЭЭС с общим ИВС. В виду того, что в рассматриваемой системе используются идентичные приводные электродвигатели НА, то электромеханические характеристики  $s_i = f(I_{B,i})$  всех совместно функционирующих АД в установившихся режимах при каждом задаваемом значении угла управления ИВС будут совпадать.

За естественную характеристику МЭЭС с общим ИВС примем характеристики  $s = f(I_B)$  и  $s = f(M)$  при угле управления инвертором, равном  $\beta = 90$  эл. град., а за искусственную – при угле управления, соответствующем  $15 < \beta < 90$  эл. град.

Скольжение идеального холостого хода можно получить из (23) при условии  $I_B = 0$ :

$$s_{0i} = (K_2 * E_{2T} * \cos \beta + \Delta U_i) / E_{B,i}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (24)$$

Оснащение НА СМВ однотипными приводными электродвигателями, а также идентичность параметров элементов их роторных цепей способствует равенству значений скольжений  $s_0$  совместно работающих АД в системе МЭЭС с общим ИВС. Кроме того, из (24) видно, что частоту вращения АД можно регулировать изменением величины угла управления  $\beta$ , а также при этом возможно включением дополнительных элементов в роторные цепи системы МЭЭС с общим ИВС добиваться путем увеличения  $\Delta U$  некоторого изменения частоты вращения каждого из приводных электродвигателей НА с целью обеспечения их согласованного вращения.

Далее после соответствующих преобразований из (22) можно получить выражение для выпрямленных токов АД в следующем виде:

$$I_{B,i} = \frac{\pi * E_{B,i} * (s_i - s_{0i})}{\{3 * x_{P,i} * [s_i * (1 + q_i) + \rho'_i + N * \sigma_{T,i}]\}}, \quad (25)$$

$$\text{где } q_i = 2 * \pi * r'_{C,i} / (3 * x_{P,i}); \quad (26)$$

$$\rho'_i = 2 * \pi * r_i / (3 * x_{P,i}); \quad (27)$$

$$\sigma_{T,i} = x_T / x_{P,i} + \pi * (2 * r_T + r_{dp}) / (3 * x_{P,i}). \quad (28)$$

Как известно [5], электромагнитный момент АД может быть определен по выражению:

$$M = (I_B * E_B - 3 * I_B^2 * x_P / \pi) / \omega_C, \quad (29)$$

где  $\omega_C$  - угловая частота вращения электромагнитного поля статора АД.

Решая совместно (25) и (29), получим выражение механической характеристики каждого из совместно работающих АД в системе МЭЭС с общим ИВС:

$$M = \frac{\pi * E_{B,i}^2}{3 * x_{P,i} * \omega_{C,i}} * \left[ \frac{s_i - s_{0i}}{s_i * (1 + q_i) + \rho'_i + N * \sigma_{T,i}} - \left( \frac{s_i - s_{0i}}{s_i * (1 + q_i) + \rho'_i + N * \sigma_{T,i}} \right)^2 \right]. \quad (30)$$

С целью определения величины критического скольжения АД в системе МЭЭС с общим ИВС, найдем производную от момента по скольжению в соответствии с (30) и приравняем ее нулю. В результате получим:

$$s_{K,i} = (2 * s_{0i} + \rho'_i + N * \sigma_{T,i}) / (1 - q_i), \quad i = 1, \dots, N. \quad (31)$$

Подставив (31) в уравнение механической характеристики (30) системы МЭЭС с общим ИВС, получим выражение для критического момента АД данной системы:

$$M_{K,i} = \pi * E_{B,i}^2 / (12 * x_{P,i} * \omega_{C,i}), \quad i = 1, \dots, N. \quad (32)$$

Многодвигательный электропривод с электрической связью по роторной цепи с общим инвертором ведомым сетью может найти применение в многодвигательных электроприводах общепромышленных механизмов, не требующих абсолютно строгого согласования частот вращения их приводных АД в зависимости от условий технологического режима.

#### **Список использованных источников:**

1. Хамудханов, М. М. Многодвигательный регулируемый электропривод насосных установок мелиоративных систем [Текст] / М. М. Хамудханов // Системный анализ, моделирование и управление сложными процессами и объектами на базе ЭВМ. Тезисы докладов международной научно-практической конференции. - Ташкент, 1994. - С. 182 - 183.
2. Хамудханов, М. М. Насосная станция систем машинного водоподъема как объект управления энерго- и ресурсосбережением [Текст] / М. М. Хамудханов // Вестник ТашГТУ. – 2013. - № 2. С. 67 - 73.
3. Кадыров, А. А. Методы исследования и расчета энерго- ресурсосберегающих режимов работы водоподъемных насосных станций

[Текст] / А. А. Кадыров, М. М. Хамудханов. - Т.: «Янги аср авлоди», 2013. – 120 с.

4. Онищенко, Г. Б. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания [Текст] / Г. Б. Онищенко, И. Л. Локтева. - М.: Энергия, 1979. – 200 с.

5. Сандлер, А.С. Регулирование скорости вращения мощных асинхронных двигателей [Текст] / А. С.Сандлер. - М.: Энергия, 1966. – 320 с.

*Реквизиты для справок: 100095, Республика Узбекистан, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2, Ташкентский государственный технический университет имени Абу Райхана Беруни, факультет «Энергетика», кафедра «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», к.т.н., доцент, старший научный сотрудник Мансур Музаффарович Хамудханов – e-mail: srakhim@yandex; старший преподаватель Аброр Абидович Пулатов.*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ СТУДЕНТАМИ, ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ПРОФИЛЯМ ПОДГОТОВКИ БАКАЛАВРОВ**

С. О. Хомутов

Россия, Алтайский край, г. Барнаул,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И. И. Ползунова»

*В статье рассмотрены вопросы выполнения выпускных квалификационных работ бакалавров, обучающихся по профилю «Электроснабжение». Приведены основные требования к содержанию и качеству их выполнения, а также условиям их предварительной защиты.*

*Ключевые слова: электроэнергетика и электротехника, бакалавриат, выпускная квалификационная работа, электроснабжение.*

На основании Федерального закона РФ «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 №273-ФЗ, а также в соответствии с ФГОС ВПО направления подготовки 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» (квалификация (степень) «бакалавр»), утвержденного приказом Минобрнауки России № 710 от 08.12.2009, и СТО АлтГТУ 12 800-2014 «Выпускная квалификационная работа бакалавра (бакалаврская работа). Общие требования к организации выполнения и защите», в АлтГТУ коллективом Методической школы имени О.И. Хомутова было разработано Положение о выпускной квалификационной работе бакалавра, в котором представлены основные требования к содержанию выпускной квалификационной работы студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения, а также даны краткие указания по ее выполнению.

### **Общие вопросы**

Согласно Рабочему учебному плану подготовки бакалавров очной формы обучения по направлению «Электроэнергетика и электротехника», выпускная квалификационная работа выполняется на четвертом году обучения студентов (8 семестр) в течение восьми недель. В соответствии с ФГОС ВПО данного направления подготовки, в ходе выполнения выпускной квалификационной работы студент должен самостоятельно овладеть следующими основными компетенциями:

- способностью и готовностью владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией;
- способностью и готовностью анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования;
- способностью и готовностью к практическому анализу логики различного рода рассуждений, к публичным выступлениям, аргументации, ведению дискуссии и полемики;
- способностью и готовностью использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности;
- способностью формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой);
- готовностью участвовать в работе над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных их компонентов;
- способностью разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов;
- способностью применять способы графического отображения геометрических образов изделий и объектов электрооборудования, схем и систем;
- готовностью обосновать принятие конкретного технического решения при создании электроэнергетического и электротехнического оборудования;
- способностью рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических объектов;
- способностью использовать современные информационные технологии, управлять информацией с использованием прикладных программ деловой сферы деятельности; использовать сетевые компьютерные технологии, базы данных и пакеты прикладных программ в своей предметной области;
- способностью к дальнейшему обучению на втором уровне высшего профессионального образования, получению знаний в рамках одного из конкретных профилей в области научных исследований и педагогической деятельности.

При этом целью проектирования в рамках выпускной квалификационной работы бакалавра является изучение структуры и параметров систем электроснабжения промышленных предприятий, особенностей расчета электрических нагрузок потребителей электроэнергии, полу-

чение общих сведений о выборе параметров основного электрооборудования и его нагрузочной способности, получение практических навыков по выбору типов схем распределительных и питающих электросетей напряжением до и выше 1000 В, режимов их работы, определения их технико-экономических и надежностных характеристик, а также областей применения.

Для получения указанных выше результатов, выполнение выпускной квалификационной работы предполагает самостоятельное решение ряда научно-исследовательских и (или) инженерных задач, таких как, например, выбор наиболее рационального варианта расположения понижительных подстанций, распределительных пунктов и силовых шкафов на плане цеха и генеральном плане предприятия, наиболее рациональных мест прокладки магистральных, распределительных и троллейных шинопроводов и кабельных трасс; составление схем электрической сети и электроснабжения потребителей, сопоставление вариантов по различным показателям, выбор в результате этого сопоставления и технико-экономического расчета оптимального варианта схемы электроснабжения; определение числа и мощности силовых трансформаторов на подстанциях, параметров схемы замещения элементов электрической сети, технико-экономических показателей системы электроснабжения и др., а также графическое представление результатов решения данных задач на пяти чертежах формата А4 (не считая детализации) с использованием графических пакетов прикладных программ.

В частности, первый лист должен содержать генеральный план предприятия с картограммой нагрузок и соответствующими элементами системы внутреннего электроснабжения, где должны быть показаны трассы линий электроснабжения и способы их организации с использованием соответствующих условных обозначений, указаны расположение и соединения источников питания. Второй лист должен содержать однолинейную схему спроектированной электрической сети внутризаводского электроснабжения, третий – схему заполнения главной понижительной подстанции с указанием типов и марок выбранного оборудования. На четвертом листе должна быть изображена схема расположения электрических и электротехнических объектов на плане цеха, включая соответствующие элементы электрической сети внутрицехового электроснабжения. Пятый лист должен содержать принципиальные схемы комплектной трансформаторной подстанции, питающей и распределительных сетей.

Объем пояснительной записки (без учета приложений) не должен превышать 50 машинописных листов формата А4.

### **Задачи проектирования**

Для достижения цели проектирования выпускнику необходимо решить следующие основные задачи.

1 Составить краткую характеристику предприятия, определить категории надежности цехов, разработать основные требования к системе внутривозовского электроснабжения. Составить краткую характеристику технологического процесса и отдельных электроприемников выбранного цеха, разработать основные требования к системе внешнего электроснабжения.

2 Выбрать схемы внутреннего электроснабжения цеха и предприятия в целом. Выполнить расчет электрических нагрузок (силовой и осветительной).

3 Выполнить расчет токов нагрузки, пиковых токов для групп или отдельных электроприемников. Выбрать схему внешнего электроснабжения цеха.

4 Выбрать провода, кабели, шинопроводы, коммутационные и защитные аппараты, рассчитать уставки защиты.

5 Выполнить расчет токов короткого замыкания на всех ступенях защиты.

6 Проверить выбранные провода, кабели, шинопроводы, коммутационные и защитные аппараты для каждого присоединения по потерям напряжения и по условиям защиты.

7 Осуществить выбор силового электрооборудования. Выбрать число и мощность трансформаторов на главной понизительной и цеховых подстанциях с учетом компенсации реактивной мощности. Выполнить расчет картограммы нагрузок предприятия. Выбрать месторасположение главной понизительной и цеховых подстанций.

8 Выполнить план расположения силового электрооборудования и прокладки линий электроснабжения, а также однолинейную принципиальную схему.

9 Осуществить разработку технических решений по монтажу выбранного оборудования и электробезопасности. Произвести оценку сметной стоимости разработанной системы электроснабжения.

Перечисленные задачи позволяют не только овладеть базовыми знаниями в области проектирования и эксплуатации систем электроснабжения, но и получить практические навыки выбора силового электрооборудования и режимов его работы.

### **Примерное содержание пояснительной записки**

В качестве примера выполнения выпускной квалификационной работы приведем возможное содержание пояснительной записки.

1 Техническое задание на проектирование. Исходные данные

2 Краткая характеристика предприятия (включая отдельный цех) по условиям электроснабжения

2.1 Описание оборудования выбранного цеха и характеристика технологических процессов, реализуемых на предприятии

2.2 Категории надежности и основные требования к схемам внутреннего и внешнего электроснабжения

2.3 Характеристика строительной части цеха

2.4 Характеристика среды цеха и всего предприятия

2.5 Характеристика цеха и предприятия в целом по условиям электробезопасности

2.6 Основные требования, показатели работы и характеристики разрабатываемой системы электроснабжения

3 Построение предварительных схем внутризаводской и внутри-цеховой сети. Выбор напряжения внутреннего электроснабжения

4 Расчет электрических нагрузок по группам электроприемников, узлам питания, а также по цеху и предприятию в целом

4.1 Проектирование электрического освещения

4.2 Определение расчетной осветительной и силовой нагрузки по отдельным цехам и по предприятию в целом

4.3 Определение условного центра электрических нагрузок цеха и всего предприятия. Расчет картограммы нагрузок

4.4 Определение месторасположения понизительных подстанций

4.5 Окончательный выбор схемы внутреннего электроснабжения

5 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов

5.1 Определение числа силовых трансформаторов и расчет мощности трансформаторов с учетом компенсации реактивных нагрузок

5.2 Выбор типа силовых трансформаторов и конденсаторных установок. Выбор типа и состава трансформаторных подстанций и распределительных устройств

6 Расчет токов короткого замыкания

7 Расчет электрической сети и выбор силового электрооборудования

7.1 Характеристика схемы питания и защиты присоединений

7.2 Выбор токоведущих частей, коммутационных и защитных аппаратов, средств измерения и учета электроэнергии

7.3 Проверка выбранных токопроводов и аппаратов по условиям короткого замыкания и электрической сети по потерям напряжения

7.4 Разработка решений по монтажу выбранного оборудования

8 Разработка технических решений по электробезопасности

9 Оценка сметной стоимости созданной системы электроснабжения

## **Выпускная квалификационная работа в форме научного исследования**

По заданию профилирующей кафедры выпускная квалификационная работа бакалавра может быть выполнена в форме научного исследования, тематика которого определяется актуальными вопросами развития мировой электроэнергетики.

Основными разделами научно-исследовательской работы являются:

1 Введение, в котором раскрываются:

- актуальность темы исследования;
- проблемная ситуация;
- проблема;
- цель работы;
- задачи исследования;
- объект и предмет исследования;
- научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

2 Разделы, в которых раскрывается основное содержание работы (решаются задачи исследования), и содержащих, как правило, теоретическую и экспериментальную части.

3 Заключение, предполагающее как подведение итогов выполненной работы, так и указание на перспективы дальнейших исследований в выбранном направлении.

Как правило, выпускная работа бакалавра связана с разработкой конкретных теоретических вопросов, с экспериментальными исследованиями или с решением прикладных задач, являющихся частью научно-исследовательских работ, выполняемых профилирующей кафедрой.

Графическая часть выпускной квалификационной работы представляет собой иллюстрацию основных положений научного исследования, выносимых на защиту. Количество слайдов презентации не ограничено.

### **Сроки и качество выполнения**

Как правило, текущий контроль качества и соблюдения сроков выполнения выпускной квалификационной работы осуществляется руководителем работы в соответствии с заданием на проектирование. За одну неделю до начала работы Государственной экзаменационной комиссии коллективом выпускающей кафедры производится предварительная оценка работы по следующим критериям.

Представляемая на предварительное рассмотрение на профилирующей кафедре выпускная квалификационная работа должна включать в себя:

- пояснительную записку с подписями руководителя работы и ответственного за нормоконтроль;

- графическую часть (распечатанный комплект презентаций).

При этом качество представляемых материалов должно удовлетворять следующим требованиям:

- полное соответствие содержания выпускной работы заданию на проектирование;

- соответствие результатов расчета и выбора оборудования исходным данным;

- соответствие расчетных значений показателей проектирования генеральному плану;

- соответствие выбранного в результате проектирования оборудования указанному в графической части;

- соответствие схемы заполнения принципиальной электрической схеме.

В течение трех дней по результатам рассмотрения представленных материалов комиссией профилирующей кафедры принимается одно из следующих решений:

- допустить к защите выпускной квалификационной работы;

- допустить к защите после внесения исправлений и изменений в выпускную квалификационную работу;

- не допускать к защите.

Основаниями для снятия с защиты являются:

- 1 Несоблюдение сроков выполнения выпускной работы.

- 2 Несоответствие пояснительной записки и графической части.

- 3 Совпадение (более 80%) материалов у двух и более выпускников как текущего, так и предыдущих учебных лет.

- 4 Незнание содержания выпускной работы, выявленное в ходе предзащиты на профилирующей кафедре.

- 5 Представление руководителя проекта.

За все сведения, изложенные в выпускной работе, порядок и использование при ее составлении фактического материала и другой информации, обоснованность выводов и защищаемых положений, а также за качество работы и соблюдение сроков ее выполнения нравственную и юридическую ответственность несет обучающийся – автор выпускной квалификационной работы.

### **Заключительные положения**

Для выполнения выпускной квалификационной работы на кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» были сформулированы задания на проектирование и исходные данные [1]. Методические указания по выполнению выпускной работы бакалавра содержат-

ся в разработке [2]. При этом студентам-заочникам рекомендуется использовать аналогичные реальные данные по месту работы.

После выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра, она оформляется в соответствии с [3] и представляется руководителю работы в сроки, установленные графиком учебного процесса. После проверки, а, при необходимости, и после доработки, проект утверждается заведующим кафедрой и представляется к защите. Защита проекта происходит в присутствии Государственной экзаменационной комиссии, ежегодно утверждаемой приказом ректора АлтГТУ. При защите студент должен сделать краткий доклад по результатам работы и ответить на предложенные ему вопросы.

На защите, кроме прочего, оценивается индивидуальный стиль проекта, который может появиться только тогда, когда студент, изучив традиционные, широко распространенные способы выполнения соответствующих работ, начинает самостоятельно выполнять новые задания в других условиях, что и реализуется в индивидуальных заданиях на проектирование.

#### **Список использованных источников:**

1. Хомутов, С. О. Электроснабжение : Задания на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра для студентов направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения // С. О. Хомутов, А. А. Грибанов, С. А. Банкин. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – 76 с.

2. Хомутов, С. О. Выпускная квалификационная работа бакалавра : Методические указания для студентов направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения // С. О. Хомутов, И. В. Белицын, А. Р. Упит. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – 72 с.

3. Татьянченко, Л. Н. Стандартизация при проектировании систем электроснабжения : Учеб. пособие // Л. Н. Татьянченко, С. О. Хомутов, С. Д. Капустин. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – 168 с.

*Реквизиты для справок: 656038, Россия, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», энергетический факультет, декан, д.т.н., профессор Станислав Олегович Хомутов – e-mail: [homutov.so@yandex.ru](mailto:homutov.so@yandex.ru), тел. +7(385-2)29-07-82.*

## **«ДЕРЕВО ОТКАЗОВ» И «ДЕРЕВО СОБЫТИЙ» ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Н. И. Черкасова, И. С. Грищук  
Россия, Алтайский край, г. Рубцовск  
Рубцовский индустриальный институт,  
филиал ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический  
университет им. И. И.Ползунова»,  
Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Западно-Сибирское предприятие  
магистральных электрических сетей Сибири

*Рассмотрена система оценки риска на основе методов «дерево отказов» и «дерево событий». Дано описание дедуктивного метода определения условий и факторов, приводящих к нежелательному событию и индуктивного метода определения последствий отправного события.*

*Ключевые слова: аварийная ситуация, отказы, управление рисками, «дерево отказов» и «дерево событий».*

Принято считать, что сельские распределительные сети менее важны и значимы по сравнению с магистральными, системообразующими и питающими сетями энергосистемы, отказы и небольшие аварии не могут нанести большого вреда либо значительного материального ущерба. Однако линии электропередач низкого напряжения весьма разветвлены и многочисленны, а количество комплектных трансформаторных подстанций напряжением 10/0,4 кВ ( КТП 10/0,4) по стране насчитывает около полмиллиона. Так, крупнейшая электросетевая компания России ОАО «Россети» имеет в своем составе около 450 тысяч КТП 10/0,4 кВ и около 2 млн. км воздушных линий 35, 10 и 0,4 кВ. Некрупные, но частые аварии на подстанциях 35/10 кВ, большое число аварийных и плановых отключений линий 10 и 0,4 кВ приносят урон сельским товаропроизводителям, ухудшают качество жизни населения и вносят определенную социальную напряженность в регионы [1, 2].

В апреле прошлого года на заседании Научного совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики обсуждалось Положение о единой технической политике, цель разработки которого – определение основных технических направлений развития, призванных обеспечить повышение надежности и эффектив-

ности функционирования распределительного сетевого комплекса, а также его экологической безопасности. Первой из основных задач Положения по надежности была названа задача создания системы управления рисками [3]. Своевременность принятия этого положения подтверждает, как всегда практика.

Незначительные на первый взгляд отказы в сетях 10 кВ могут привести к крупным системным авариям. Такой случай произошёл летом 2010 г. на подстанции 500 кВ «Арзамасская». При вводе в работу после текущего ремонта трансформатора АТ-2 и включении нагрузки потребителя в КРУН 10 кВ произошло трехфазное короткое замыкание (КЗ), а так как по ошибке персонала не все защиты трансформатора были введены в работу (после ремонта), а также из-за некоторых недостатков конструкции и старения оборудования выключатель 10 кВ не отключился, авария (дуга) перекинулась на соседние ячейки, трансформатор не отключился со стороны 220 кВ и начался пожар вводов 10 кВ АТ-2. В результате подстанция была полностью погашена, отключились все транзитные линии 500, 220, 110 кВ, и 5 соседних подстанций. В тушении пожара трансформатора 500 кВ приняли участие 5 пожарных расчетов, которым удалось погасить огонь лишь через 4 часа.

Практика показывает, что крупные аварии, как правило, характеризуются комбинацией случайных событий, возникающих с различной частотой на разных стадиях возникновения и развития аварии (отказы оборудования, ошибки человека, нерасчетные внешние воздействия, разрушение, выброс, пролив вещества, воспламенение, взрыв и т.д.) Для выявления причинно-следственных связей между этими событиями используют логико-графические методы анализа «деревьев событий – исходов» и «деревьев отказов».

Анализ «дерева отказов» («Fault Tree Analysis» - ФТА) - это дедуктивный метод определения условий и факторов, способных привести к определенному нежелательному событию (так называемому головному событию). «Дерево отказов» - логически организованная графическая конструкция, в которой демонстрируется взаимодействие элементов системы, отказ которых по отдельности или в сочетании может способствовать появлению нежелательного события - отказа системы в целом - головного события «дерева отказов» [4].

Пример «дерева отказа», используемого для анализа причин возникновения аварийных ситуаций, например пожара КТП 10/0,4 кВ при эксплуатации распределительных сетей, приведен на рисунке 1. Структура «дерева отказа» включает одно головное событие (аварию, инцидент), которое соединяется с набором соответствующих ниже-

стоящих событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), образующих причинные цепи (сценарии аварий). Для связи между событиями в узлах «деревьев» используются знаки «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий (соответствует перемножению их вероятностей для оценки вероятности вышестоящего события). Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

В отечественной литературе встречаются и иные наименования этого «дерева»: «дерево отказов», «дерево неполадок», «дерево происшествий» и т.п.

Так, «дерево», представленное на рисунке 1, имеет промежуточные события (прямоугольники), тогда как в нижней части «дерева» кругами с цифрами показаны постулируемые исходные события-предпосылки, наименование и нумерация которых приведены в таблице 1.

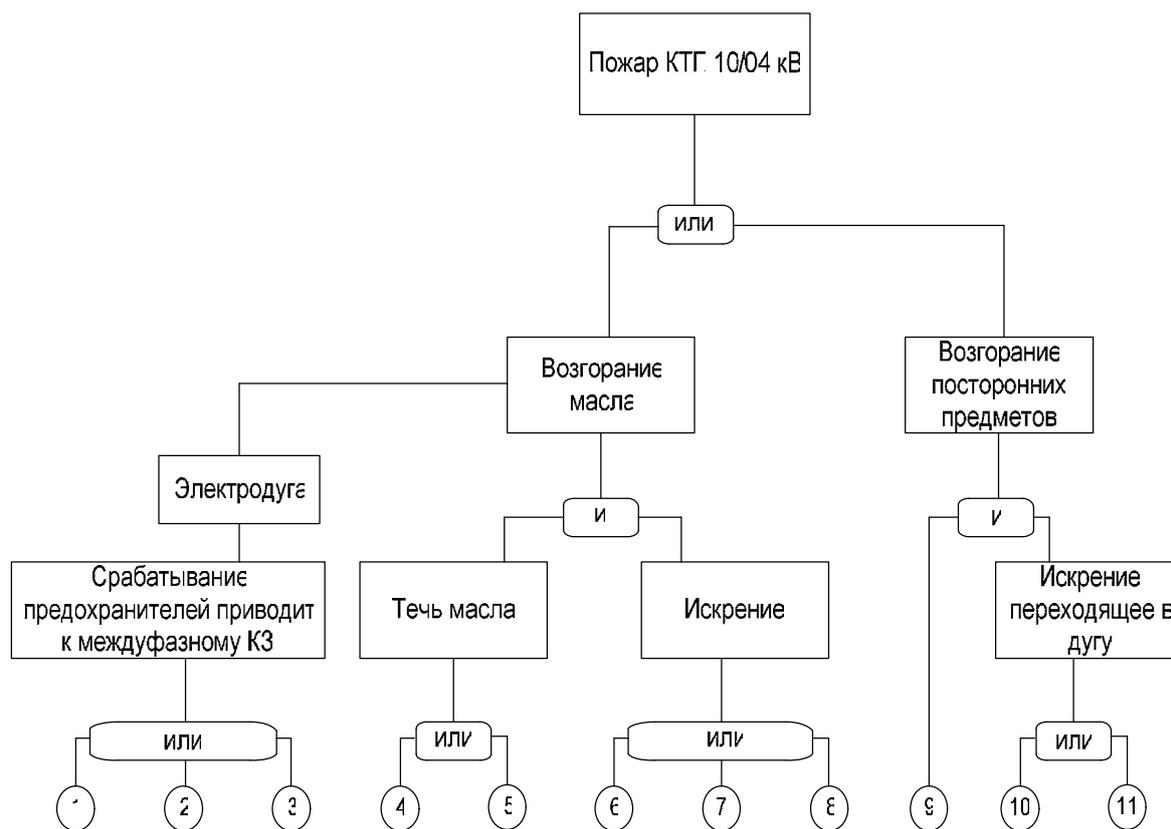


Рисунок 1 - «Дерево отказа», пожар КТП10/0,4 кВ

Таблица 1 - Исходные события «дерева отказа» (согласно рисунка 1)

№ п/п	Событие или состояние модели	Вероятность события $P_i$
1	Использование открытых плавких вставок вместо стандартных предохранителей	0,1
2	Применение нерасчетных предохранителей 10 кВ	0,08
3	Расслабление ламелей держателей высоковольтных предохранителей	0,04
4	Старение резиновых уплотнителей под крышкой бака трансформатора	0,02
5	Старение уплотнителей на проходных изоляторах трансформатора 10/0,4 кВ	0,03
6	Искрение в ослабленных врубных контактах вводного рубильника низковольтного шкафа	0,08
7	Ослабление контактов шинок низковольтного шкафа	0,05
8	Ослабление контактов проводников отходящих фидеров низковольтного шкафа	0,08
9	Наличие посторонних предметов: ветоши, гнезда птиц	0,01
10	Ослабление контактов в соединении токоведущих шин высоковольтного шкафа	0,04
11	Ослабление контактов в соединении шлейфов от питающей ВЛ 10 кВ к проходным изоляторам	0,01

Анализ «дерева отказа» позволяет выделить ветви прохождения сигнала к головному событию (в нашем случае на рис.1 их три), а также указать связанные с ними минимальные пропускные сочетания, минимальные отсечные сочетания.

Минимальные пропускные сочетания - это набор исходных событий-предпосылок (на рис. 1 отмечены цифрами), обязательное (одновременное) возникновение которых достаточно для появления головного события (аварии). Для «дерева», отображенного на рис. 1, такими событиями и (или) сочетаниями являются: {1}, {2}, {3}, {4•6}, {4•7}, {4•8}, {5•6}, {5•7}, {5•8}, {9•10}, {9•11}. Пропускные сочетания используются главным образом для выявления «слабых» мест.

Минимальные отсечные сочетания - набор исходных событий, который гарантирует отсутствие головного события при условии не-

возникновения ни одного из составляющих этот набор событий: {1•2•3•4•5•9•10•11}, {1•2•3•6•7•8•9•10•11}, {1•2•3•6•7•8•9•10•11•}. Минимальные отсечные сочетания используются главным образом для определения наиболее эффективных мер предупреждения аварии.

Анализ «дерева событий» («Event Tree Analysis» - ЕТА) - индуктивный метод определения возможных следствий и, если это требуется по условиям анализа риска, вероятностей (среднегодовых частот) реализации некоторого отправного события [5, 6]. ЕТА широко используется для анализа последствий нежелательных событий для сложных технических систем в электронике, ядерной технике, химико-технологических установках, оснащенных системами обеспечения безопасности.

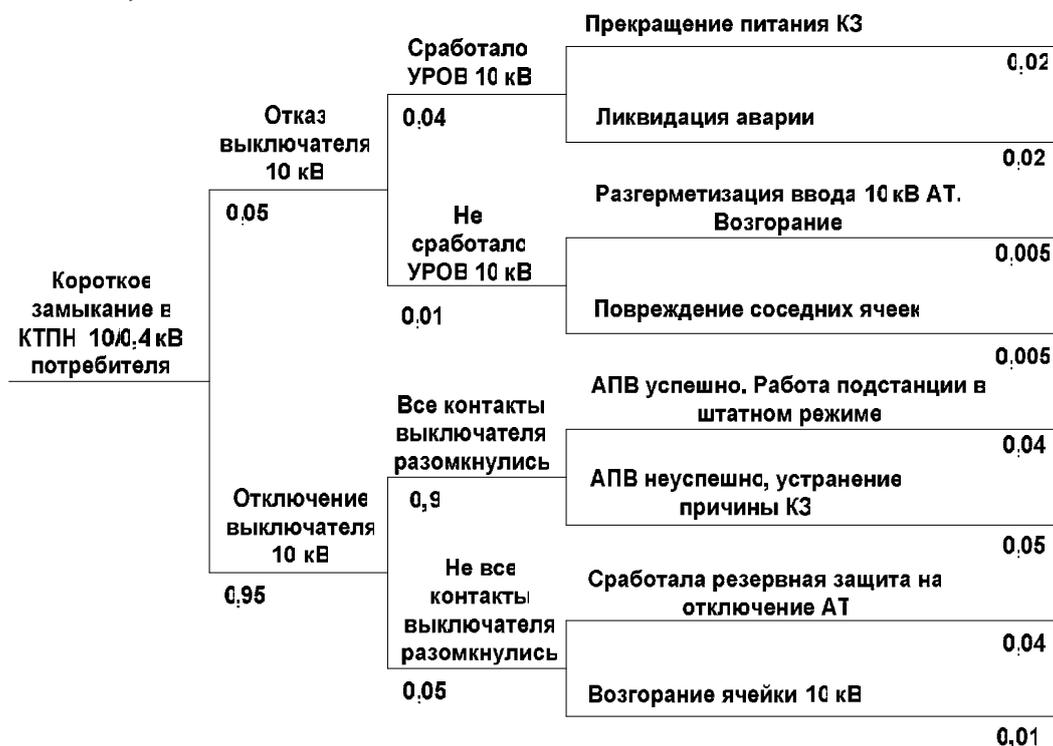


Рисунок 2 - «Дерево событий» аварии на КТП 10/0,4 кВ

Анализ «дерева событий» находит применение при исследованиях возможных путей развития аварийных процессов и распространения их за пределы ЭУ.

Пример «дерева событий» для количественного анализа различных сценариев аварий на подстанции, в том числе большой системной аварии на подстанции 500 кВ, которая произошла из-за КЗ на КТП 10/0,4 кВ и была упомянута выше, представлен на рис. 2. Цифры рядом с наименованием события показывают условную вероятность возникновения этого события. При этом вероятность возникновения иницирующего события (3-фазное КЗ в КТП 10/0,4 кВ) принята равной 1. Значение частоты возникновения отдельного события или сценария

пересчитывается путем умножения частоты возникновения инициирующего события на условную вероятность развития аварии по конкретному сценарию.

Вследствие недостатка статистических данных на практике рекомендуется использовать экспертные оценки и методы ранжирования риска, основанные на упрощенных методах количественного анализа риска. Использование диаграмм причинно-следственных связей типа дерево событий необходимо с целью априорной оценки параметров техногенных происшествий и выработки оптимальных мероприятий по их предупреждению или снижению возможного ущерба.

#### **Список использованных источников:**

1. Никольский О. К. Оценка риска сельских электрических сетей [Текст] / О. К. Никольский, Н. И. Черкасова // Техника в сельском хозяйстве. - 2013. - № 6. – С. 21 – 23.

2. Черкасова Н. И. Анализ состояния сельских электрических сетей 10 кВ в свете мониторинга отказов [Текст] / Н. И. Черкасова // Ползуновский вестник. – 2013. - № 4. – С. 49 – 55.

3. Положение о единой технической политике ОАО «Холдинг МРСК» в распределительном сетевом комплексе (редакционная статья) [Текст] // Энергетик. – 2011. - № 8

4. Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений СТП ВНИИГ 210.02. НТ – 04 – Санкт-Петербург, 2005.

5. ГОСТ Р 27.310-93. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. - М.: Издательство стандартов. 1993.

6. Стандарт МЭК. Техника анализа надежности систем. Метод анализа вида и последствий отказов. Публикация 812 (1985 г.).

*Реквизиты для справок: 658207, Россия, Алтайский край, г. Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Электроэнергетика», к.т.н., доцент, заведующий кафедрой, Нина Ильинична Черкасова – e-mail: [4ercas@bk.ru](mailto:4ercas@bk.ru), тел. +7(38557) 6-98-75; г. Рубцовск, ул. Веселоярский Тракт, 23. Филиал ОАО «Федеральная сетевая компания ЕЭС» - Западно-Сибирское предприятие магистральных электрических сетей Сибири, подстанция 220/110 кВ «Рубцовская», старший диспетчер Иван Сергеевич Грищук - e-mail: [phantomne@rambler.ru](mailto:phantomne@rambler.ru).*

## **СОВРЕМЕННАЯ ПОДГОТОВКА И ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРСОНАЛА**

С. Н. Черновалов

Россия, Алтайский край, г. Новоалтайск,  
Филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго»

*В статье рассмотрены современные методики и приемы после-вузовского образования и курсов повышения квалификации на базе учебных классов филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго» и ЧУ ДПО «СибКЭУЦ»*

*Ключевые слова: обучение, повышение квалификации, программа подготовки, «Сибирский корпоративный энергетический учебный центр».*

В современной энергетике кадровая политика не может, да и не должна строиться на тенденции игнорирования человеческого фактора. Отводя качеству человеческого ресурса второстепенную роль, мы рискуем очень многим: это и падение эффективности производства, рост аварий и производственного травматизма, и что самое важное - дальнейшее снижение конкурентоспособности всей российской экономики.

Чтобы соответствовать вызовам времени, обществу необходимо срочным образом поменять парадигму с накопления материальных ресурсов на накопление знаний. Только при этом условии можно сформировать новый тип работника - квалифицированного, умеющего адаптироваться к быстро изменяющемуся внешнему миру, способного принимать самостоятельные решения

В современных условиях технической и технологической модернизации отраслей и промышленных производств потребность в квалифицированных кадрах постоянно растет. С острой нехваткой специалистов столкнулись уже многие крупные предприятия. В связи с этим основной целью поддержки энергетической отрасли на современном этапе является сохранение существующего кадрового потенциала и опережающее его развитие.

В акционерных обществах с государственным участием, государственных корпорациях и на федеральных государственных унитарных предприятиях в соответствии с решениями разрабатываются программы инновационного развития компаний.

В них предусматриваются меры по обеспечению эффективного взаимодействия с ведущими высшими учебными заведениями, в частности:

- выбор опорных вузов и определение предметных (научных, технологических) направлений и объемов проведения совместных исследовательских (конструкторских, технологических) работ;

- формирование совместно с вузами исследовательских программ, предусматривающих в числе прочего определение механизмов обмена научно-технической и маркетинговой информацией, совместные работы в сфере прогнозирования научно-технического развития, создание системы управления исследовательскими (конструкторскими, технологическими) работами в вузах с учетом перспективных потребностей компаний и отраслей промышленности;

- реализация согласованных с вузами программ повышения качества образования и подготовки кадров для работы в высокотехнологичных отраслях промышленности, предусматривающих участие компаний в совершенствовании учебных программ и планов, участие сотрудников компаний в преподавательской работе, развитие системы практики и стажировки студентов, аспирантов и научно-преподавательского состава вузов в компаниях, развитие системы непрерывного образования персонала компаний;

- формирование организационных механизмов взаимодействия с вузами, включая взаимное участие сотрудников компаний и организаций науки и высшего образования в коллегиальных органах управления и консультативных органах указанных организаций.

ОАО «МРСК Сибири» сотрудничает с большим количеством профильных учебных заведений, а для филиала «Алтайэнерго» опорным вузом является «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова». Сотрудники филиала проводят ознакомительные лекции по ряду направлений, а также являются научными руководителями выпускников при подготовке дипломных проектов.

Кроме глубокого сотрудничества с АлтГТУ, также на базе филиала «Алтайэнерго» работает «Сибирский корпоративный энергетический учебный центр» деятельность которого направлена на повышение квалификации сотрудников энергокомпаний края.

Обучение в учебном центре проводится по учебным курсам, разработанным на основе государственных стандартов и типовых учебных программ подготовки рабочих и специалистов на производстве. Образовательный процесс в учебных центрах включает теоретическое и производственное обучение, производственную практику, стажировку

ку. Теоретическое обучение проходит в учебных классах и специализированных учебных кабинетах. Производственное обучение проводится в учебных мастерских, лабораториях, на полигонах, тренажерах, а также на предприятиях. Производственная практика и стажировка проходят непосредственно на рабочих местах предприятия, для которого осуществляется подготовка рабочих кадров и специалистов, на самостоятельных рабочих местах и штатных должностях.

Положительным моментом такого обучения является то, что работники помимо федеральных нормативных актов, осваивают еще и локальные нормативные акты, разработанные МРСК Сибири и филиалами (стандарты, инструкции, положения)

Повышение квалификации проходят не только рабочие профессии, но и инженерно-технический персонал, начальники районов электрических сетей, главные инженеры районов электрических сетей и производственных отделений.

Филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго» продолжает развивать внутрикорпоративное обучение на базе собственных учебных классов и пунктов тренировки персонала. Учебные классы представляют собой помещения, имеющие необходимое техническое оснащение для осуществления учебного процесса. Наличие учебных классов позволяет оперативно обучать большое количество работников филиалов по различным целевым программам, устранить недостаток знаний и практических навыков. В процессе обучения широко используются современные технические средства и техники преподавания. Проводятся семинары, круглые столы, тренинги.

В ходе обучения реализуется система контроля качества знаний и умений, обучающихся в виде: входного контроля, позволяющего определить наличный (исходный) уровень знаний и умений слушателей; промежуточного контроля, проводимого по завершении изучения раздела (темы). По окончании обучения проводится итоговый контроль знаний слушателей в форме экзамена.

Так как преподаванием профильных предметов занимаются сотрудники филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго», в ходе учебного процесса рассматриваются практические вопросы, возникающие при повседневной работе. Это позволяет обучаемым решать конкретные задачи своей профессиональной деятельности. Не остаются без внимания и общеразвивающие дисциплины: разделы физики, касаемые работы конкретной профессии (кинематика, статика и гидродинамика – для крановщиков и операторов БКМ, юридические основы – для инспекторов и т.п.).

Таким образом, послевузовское образование, а также повышение квалификации персонала при осуществлении деятельности предприятия является неотъемлемой частью производственного процесса любой современной энергетической компании, без которой невозможно нормальное функционирование и дальнейшее развитие отрасли.

**Список использованных источников:**

1. ТЭК. Стратегии развития. №6 ноябрь-декабрь 2010 [Электронный ресурс]. – Загл. с экрана. – Режим доступа: [http://www.tek-russia.ru/issue/articles/articles\\_106.html](http://www.tek-russia.ru/issue/articles/articles_106.html)
2. Обучение и развитие персонала [Электронный ресурс] – Загл. с экрана. – Режим доступа: <http://report2012ru.mrsk-1.ru/reports/mrskcentre/annual/2012/gb/Russian/501020.html>
3. «Образовательная программа. Тематический план курсов повышения квалификации» - Частное учреждение дополнительного профессионального образования «Сибирский корпоративный энергетический учебный центр», 2014.

*Реквизиты для справок: 658083, Россия, Алтайский край, г. Новоалтайск, ул. Дорожная, 48, филиал ОАО «МРСК Сибири» - «Алтайэнерго», производственное отделение Северо-восточные электрические сети, производственно-техническая служба, заместитель начальника службы, Сергей Николаевич Черновалов – e-mail: [Chernovalov\\_SN@ba.mrsk.ru](mailto:Chernovalov_SN@ba.mrsk.ru), тел. (38532) 6-12-30*

## **ИНДУКЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СНЯТИЯ ТЕРМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Д. Ю. Чигирёв

Россия, Самарская область, г. Самара,  
ФГБОУВПО «Самарский государственный технический университет»

*В статье рассмотрены вопросы моделирования электромагнитных и тепловых процессов системы индукционного нагрева для снятия термонапряжений в трубе высокого давления после проведения сварочных работ. Приведены расчетные параметры индуктора при различных температурах.*

*Ключевые слова: индуктор, магнитная проницаемость, температура, термонапряжение.*

При обеспечении надежности трубопроводов высокого давления принято считать, что разрушения трубопроводов происходят из-за дефектов. В связи с этим, большинство исследований направлено на диагностику и обнаружение дефектов, тогда как иные причины возникновения разрушений остаются без внимания. Одной из таких причин являются термические напряжения.

Нагрев и охлаждение металла при сварочных работах во время ремонта, как правило, вызывает появление внутренних напряжений в изделии. Величина и характер распределения этих напряжений изменяются в течение процесса нагрева или охлаждения. После полного выравнивания температур при охлаждении или нагреве в объеме сохраняются внутренние напряжения. Основная причина возникновения термических напряжений - неодинаковые скорости нагрева или охлаждения различных объемов изделия [1].

Для снятия термонапряжений принципиально можно использовать различные устройства, использующие нагрев открытым газовым пламенем, нагрев в печи сопротивления, нагрев галогенными лампами, нагрев токами повышенной частоты.

Нагрев трубопроводов ТЭЦ, ввиду больших габаритов, а так же проблематичности демонтажа ремонтируемого участка трубы, практически исключает применение технологии нагрева в газовой печи и печи сопротивления, в частности, нагрев открытым пламенем может привести к науглероживанию металла. Наиболее подходящей для ре-

шения поставленной задачи является разъемная индукционная установка, имеющая ряд преимуществ перед другими способами нагрева:

- индукционный нагрев обеспечивает получение высокого качества термической обработки. Тепло образуется в самом металле, что резко уменьшает возможность перегрева и обезуглероживания поверхности;

- количество тепла можно точно дозировать, поэтому процесс устойчив и хорошо поддается автоматизации;

- индукционный нагрев значительно улучшает условия труда рабочих [2].

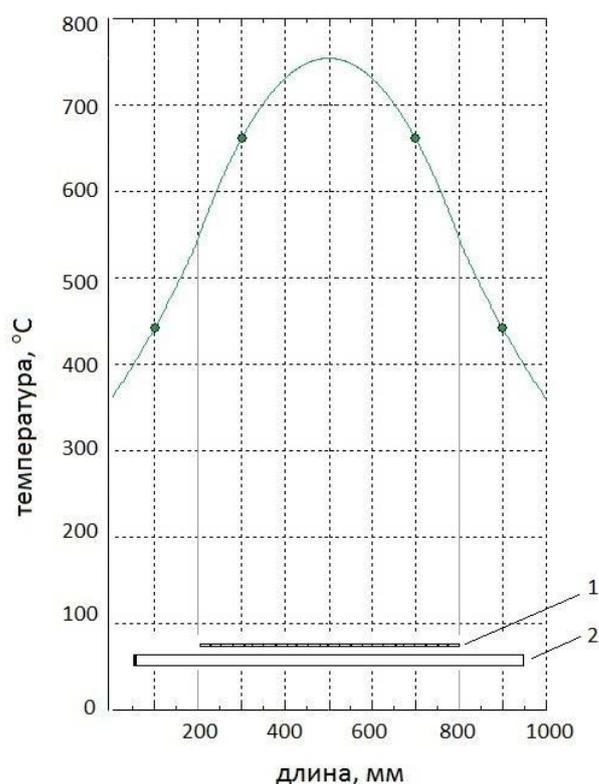
Условные проходы трубопроводов тепловых сетей проектируют до 1400 мм [3]. Параметры проектируемой индукционной установки рассчитаны для трубопровода высокого давления с условным проходом 250 мм ( $P_{ном}=140 \text{ кгс/см}^2$ ,  $t=560/545 \text{ }^\circ\text{C}$ ), наружным диаметром ( $D_H$ ) 325 мм, толщиной стенки ( $S$ ) 38 мм и внутренним диаметром ( $D_B$ ) 249 мм. Марка стали 12X1МФ [4].

Данная сталь имеет свои особенности – это пониженная теплопроводность, повышенная температура потери упругих свойств и возможность снижения сопротивления деформации. Указанные обстоятельства требуют ограничения скорости нагрева при отпуске для снятия термических напряжений. Отпуск происходит при температуре 720 - 740  $^\circ\text{C}$ , в течении 4 часов [5].

При проектировании индукционного нагревателя на первом этапе производится решение тепловой задачи для нагрева трубы. Целью является формирование распределения температуры, при котором в зоне шва обеспечивается заданная температура. Размер зоны прогрева принят равным 0,3 м в обе стороны от шва. Индукционный нагреватель отделен от трубы слоем теплоизоляции толщиной 5 мм. В качестве инструмента расчета температуры используется конечно-элементная модель на базе программы Elcut 5.6. Для корректного описания теплообмена на участке за теплоизоляцией использованы граничные условия третьего рода, соответствующие конвективному теплообмену. Такой выбор объясняется тем, что температура трубы на этом участке достаточно сильно снижена, что позволяет пренебречь потоками излучения. Дополнительно можно отметить, что внутри трубы теплообмен менее интенсивный, чем снаружи из-за отсутствия циркуляции воздуха. Результаты расчета тепловой задачи отражены в виде диаграммы температуры на поверхности трубы (рис.1). Температура под индуктором имеет необходимые для отпуска значения на расстоянии 0,120 м в обе стороны от шва, что является достаточным для качественного протекания процесса. Для достижения заданного распре-

ления температуры длина зоны тепловыделения составляет 0,6 м., а мощность в загрузке равна 44 кВт в установившемся режиме.

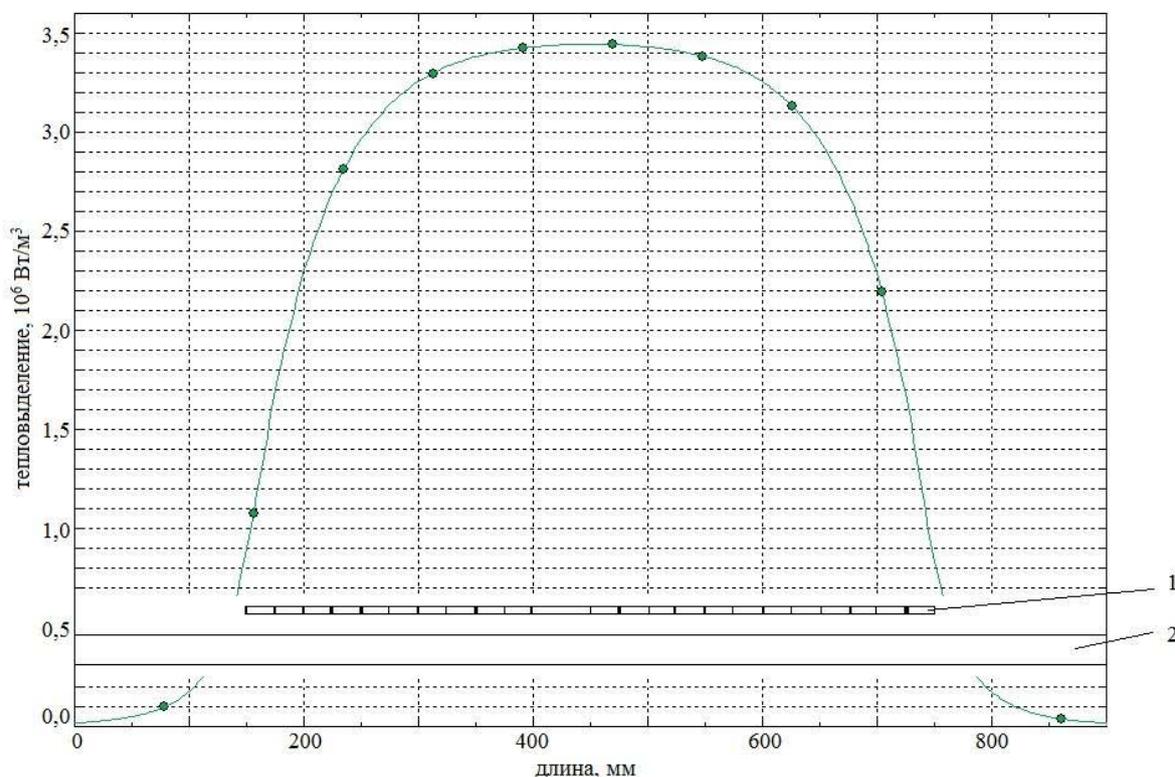
Электромагнитный расчет индуктора построен на конечно-элементной формулировке в терминах векторно-магнитного потенциала. Особенностью данной задачи является прогрев заготовки до температур близких к точке Кюри. Это сказывается на магнитной проницаемости в загрузке и глубине проникновения в металл. Если при удельном сопротивлении стали, равном 835 нОм·м при температуре 600 °С, и принятой частоте 50 Гц глубина проникновения составляет 1 см (при заданной мощности нагрева), то при температуре 750 °С и удельном сопротивлении 1000 нОм·м глубина проникновения равна 7 см. При переходе через точку Кюри эффективность нагрева снижается, но все же достаточна для ведения процесса на промышленной частоте. В других ситуациях (меньшая толщина стенки трубы, большее удельное сопротивление) рекомендуется применение более высоких частот при нагреве.



1 – индуктор; 2 – труба

Рисунок 1 - Распределение температуры в трубе под индуктором

Температура в трубе снижается при удалении от края индуктора со значения 520 °С до температуры окружающей среды на расстоянии 2 м.



1 – индуктор; 2 – труба

Рисунок 2 - Распределение объемной мощности тепловыделения под индуктором

В результате расчета при температуре до точки Кюри предельные параметры индуктора имеют значения, приведенные в таблице 1. При переходе через точку Кюри (магнитная проницаемость равна единице) происходит резкое увеличение мощности индуктора, для предотвращения которого необходимо уменьшение напряжения подведенного к индуктору. Скорректированные параметры индуктора, при пониженном напряжении приведены в таблице 2.

Таблица 1 - Параметры индуктора при температуре ниже точки Кюри

$P_2$ , кВт	$P_{\text{инд}}$ , кВт	$I_{\text{инд}}$ , кА	$U_{\text{инд}}$ , В	S кВА
44	48	1,85	100	185,3

При выборе конструктивного исполнения индукционной установки были рассмотрены варианты разъемной установки и установки, состоящей из двух отдельных магнитопроводов с проложенными внутри витками индуктора.

Таблица 2 - Параметры индуктора при температуре выше точки Кюри

$P_2$ , кВт	$P_{инд}$ , кВт	$I_{инд}$ , кА	$U_{инд}$ , В	S кВА
44	55,2	3,35	50	167,5

В первом случае охлаждение индуктора осуществляется водой внутри витков, во втором случае предлагается охлаждать магнитопровод, что дает возможность применения шин в качестве витков индуктора. Так же, при применении отдельных магнитопроводов, отпадает необходимость применения контактов для соединения витков индуктора, однако возникает вопрос о замыкании вихревых токов.

#### Список использованных источников:

1. Колачев, Б. А. Технология термической обработки цветных металлов и сплавов [Текст] : учебное пособие / Б. А. Колачев, Р. М. Габидулин, Ю. В. Пигузов. – М.: Металлургия, 1980. – 280 с.
2. Болховитинов, Н.В. Металловедение и термическая обработка [Текст] / Н. В. Болховитинов. - М.: Машгиз, 1961. – 463 с.
3. СНиП 41-02-2003.Тепловые сети. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004 – 52 с.
4. Никитина, И. К. Справочник по трубопроводам тепловых электростанций [Текст] / И. К. Никитина. – М.: Энергоатомиздат, 1983 – 176 с.
5. Лившиц, Л. С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений. [Текст] / Л. С. Лившиц, А. Н. Хакимов– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.

**Реквизиты для справок:** 443100, Россия, Самарская область, г. Самара, ул. Первомайская 18, учебный корпус №1, комн. 344, ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет», электротехнический факультет, кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий», аспирант Дмитрий Юрьевич Чигирёв – e-mail: chigiryov\_d@mail.ru.

Чтение электронного издания осуществляется с CD/DVD в режиме автозапуска. В случае если у вашего CD/DVD привода функция автозапуска отключена, вам необходимо запустить файл **ebook.exe**, который находится в корне директории диска.

Для чтения данного электронного издания с жесткого диска (HDD) компьютера, Flash-накопителя и т.д. и т.п., необходимо переписать всё содержимое CD/DVD в отдельную папку.

Требования к операционной системе (32- и 64-разрядная версии): Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8.

Титульные экраны электронного издания находятся в папке **bfiles**:

Титульный экран №1 - *tit1\_695x540.jpg*, титульный экран №2 - *tit2\_695x540.jpg*, титульный экран №3 - *tit3\_695x540.jpg*.

Для их чтения можно использовать любой просмотрщик растровой графики.

Издание в формате PDF (*англ. Portable Document Format*) находится в корневой директории диска - **book.pdf**.

Описание издания, титульные экраны и прочая информация в текстовом виде содержится в файле **readme.txt**. Данный файл расположен в корневой директории диска. Кодировка - *UTF-8*.

В папке **author** находятся данные, предназначенные исключительно для автора, издающей организации, и производителя электронного издания.

*Ваши замечания и пожелания направляйте по адресу [altgtu@mail.ru](mailto:altgtu@mail.ru).  
Центр ЭОР АлтГТУ, г. Барнаул, 2014 г.*

#### Файл **readme.txt**:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Алтайская торгово-промышленная палата

Филиал ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» - «Алтайэнерго»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ. АЛТАЙ – 2014

Сборник статей II Международной научно-технической конференции

ЦЭОР АлтГТУ

Барнаул • 2014

ISBN 978-5-7568-1091-2

=====

УДК 621.31

Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2014 [Электронный ресурс] : сборник статей II Международной научно-технической конференции

/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Электрон. дан. и прогр. - Барнаул: ЦЭОР АлтГТУ, 2014. - 1 электрон., опт. диск (CD-R);

12 см. - Рекомендуемые системные требования: ПК с част. ЦП 800 МГц и выше; Windows XP и выше; дисковод CD-ROM; Adobe Reader или др.

программа для чтения файлов формата PDF. - Загл. с этикетки диска. - ISBN 978-5-7568-1091-2

В сборнике представлены статьи ведущих специалистов в области электроэнергетики, а также ученых, преподавателей, докторантов, аспирантов, магистрантов, выпускников и студентов старших курсов высших учебных заведений Российской Федерации, Азербайджанской Республики и Республики Узбекистан, принявших участие в работе II Международной научно-технической конференции «Современные проблемы электроэнергетики. Алтай – 2014». Конференция состоялась 27 ноября 2014 года в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» на базе энергетического факультета при участии Управления Алтайского края по промышленности и энергетике, администрации города Барнаула, Алтайской торгово-промышленной палаты, филиала ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» - «Алтайэнерго» и организационной поддержке Методической школы им. О. И. Хомутова.

Материалы изданы в авторской редакции.

Редакционная коллегия (составители):

С. О. Хомутов, доктор технических наук, профессор, декан энергетического факультета АлтГТУ;

И. А. Гутов, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» АлтГТУ (координатор конференции);

В. И. Сташко, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» АлтГТУ.

ISBN 978-5-7568-1091-2

© Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, 2014

=====

Конференция посвящена памяти действительного члена Международной академии наук высшей школы, Заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, лауреата премии Правительства Российской Федерации в области образования, доктора технических наук, профессора, ректора АлтГТУ Хомутова Олега Ивановича

=====

Издательство:

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

Изготовитель:

Центр электронных образовательных ресурсов АлтГТУ  
656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46  
тел.: (3852) 29-09-46, e-mail: altgtu@mail.ru, сайт: http://altstu.ru

Заказ № 14007С

Носитель CD-R

Тираж 50 экз.

=====

Чтение электронного издания осуществляется с CD/DVD в режиме автозапуска. В случае если у вашего CD/DVD привода функция автозапуска отключена, вам необходимо запустить файл ebook.exe, который находится в корне директории диска.  
Для чтения данного электронного издания с жесткого диска (HDD) компьютера, Flash-накопителя и т.д. и т.п., необходимо переписать всё содержимое CD/DVD (кроме папки author) в отдельную папку.

Требования к операционной системе (32- и 64-разрядная версии):  
Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8.

Титульные экраны электронного издания находятся в папке bfiles:

Титульный экран №1 - tit1\_695x540.jpg, титульный экран №2 - tit2\_695x540.jpg, титульный экран №3 - tit3\_695x540.jpg. Для их чтения можно использовать любой просмотрщик растровой графики.

Издание в формате PDF (англ. Portable Document Format) находится в корневой директории диска - book.pdf.

Описание издания, титульные экраны и прочая информация в текстовом виде содержится в файле readme.txt. Данный файл расположен в корневой директории диска.

В папке author находятся данные, предназначенные исключительно для автора, издающей организации и производителя электронного издания.

Ваши замечания и пожелания направляйте по адресу altgtu@mail.ru.

Центр ЭОР АлтГТУ, г. Барнаул, 2014 г.