

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА — ЮГРЫ

БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА — ЮГРЫ
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ — 2020

РОССИЯ, СУРГУТ, 23–24 АПРЕЛЯ 2020 Г.

СБОРНИК СТАТЕЙ I ВСЕРОССИЙСКОЙ С МЕЖДУНАРОДНЫМ
УЧАСТИЕМ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦИИ



УДК 332.1:621.311 (063)

ББК 31.2

П75

Ответственный редактор:

Рыжаков Виталий Владимирович, к. ф.-м. н., заведующий кафедрой радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета специальность 05.12.13. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020 : сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции (Россия, Сургут, 23–24 апреля 2020г.). — М.: Знание-М, 2020. — 362 с.

ISBN 978-5-907345-30-0

DOI: 10.38006/907345-30-0.2020.1.344

Сборник содержит статьи на русском языке по широкому кругу вопросов в области электроэнергетики, электротехники, электроники, телекоммуникаций, инфокоммуникаций и связи и смежных им, которые обсуждались на I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции «Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России», 23–24 апреля 2020 года, Россия, г. Сургут.

Издание адресовано специалистам-практикам, научным сотрудникам, аспирантам и докторантам. Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей. Статьи представлены в авторской редакции. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

На дату публикации Сургутскому государственному университету принадлежат эксклюзивные права на первую публикацию каждой статьи, представленной в сборнике, а также неэксклюзивные права на их репродукцию в любом виде. Остальные права на каждую статью сборника остаются за авторами.

УДК 332.1:621.311 (063)

ББК 31.2

ISBN 978-5-907345-30-0

© Сургутский государственный университет. Кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики, 2020

© Издательство «Знание-М», 2020

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Яворский Р. Э.	Проректор по науке и технологиям БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. ф.-м. н. (Сургут);
Мальгин Г. В.	Проректор по образовательной деятельности ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет», к. т. н. (Нижевартовск);
Сысоев С. М.	Директор Политехнического института БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. ф.-м. н. (Сургут);
Рыжаков В. В.	Заведующий кафедрой Радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. ф.-м. н. (Сургут);
Сальников В. Г.	Профессор кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», д. т. н. (Сургут);
Умурзакова А. Д.	Заведующая кафедрой Энергетики и металлургии ТОО «Инновационный Евразийский университет», к. т. н. (Казахстан, г. Павлодар);
Кислов А. П.	Декан Энергетического факультета Павлодарского государственного университета имени С.Торайгырова, к. т. н. (Казахстан, г. Павлодар);
Мендыбаев С. А.	Доцент кафедры Радиотехники, электроники и телекоммуникаций Казахского аграрно-технического университета имени С.Сейфуллина, к. т. н. (Казахстан, г. Нур-Султан);
Абишев К. К.	Декан факультета Металлургии, машиностроения и транспорта Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова, к. т. н. (Казахстан, г. Павлодар);
Кислицин Е. Ю.	Доцент кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. т. н. (Сургут);
Горелов С. В.	Профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», д. т. н. (Новосибирск);
Вильбергер М. Е.	Декан факультета мехатроники и автоматизации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к. т. н. (Новосибирск);
Лукошков Д. С.	Директор Ханты-Мансийского филиала ПАО «Ростелеком» (Ханты-Мансийск);
Уржумцев Д. В.	Инженер отдела информационных технологий Среднеобского ПТУС филиал АО «Связьтранснефть» Сургут);
Евдокимов А. А.	Производитель работ треста «Сургутремстрой» ПАО «Сургутнефтегаз», к. т. н. (Сургут);
Сударикова С.В.	Ведущий специалист по охране труда управления электросетевого хозяйства НГДУ «Сургутнефть» ПАО «Сургутнефтегаз» (Сургут).

Содержание

Секция 1. «Энергосбережение и энергоэффективность в электроэнергетических системах и электрических сетях»

Зими́на А. В., Володки́на С. Д. Повышение энергоэффективности систем электроснабжения бытовых потребителей.....	9
Переладо́в М. Е., Сальнико́в В. Г., Смыко́в Ю. Н., Денчи́к Ю. И., Степа́нов А. А. Эффективная система электропередачи 0,4 кВ «берег — судно технического флота»	13
Иванова Е. В., Казаков С. С. Потенциал энергосбережения предприятия по выпуску медицинских препаратов.....	17
Скиданова А. Ю., Антипин Д. П. Определение оптимальной мощности внутрискважинных установок компенсации реактивной мощности куста нефтедобывающей скважины	20
Иманов Э. Д., Солодухина И. А., Фирсов А. В. Оценка эффективности перевода распределительных сетей на повышенное напряжение.....	25
Казанчева А. Н. Обзор подходов и технологий повышения энергоэффективности электрических сетей месторождений нефти и газа	29
Шаймарданов А. Ф., Евдокимов А. А. Методика анализа эффективности ветровых установок в системах изолированных поселений	32
Г. В. Иванов, Е. Ю. Кислицин, Е. Г. Кондрашкина, М. В. Рыжаков. Обеспечение электрической энергией электроприемников систем противопожарной защиты общественных зданий от возобновляемых источников энергии.....	38
Алиев Д. С. Энергосбережение при применении энергоэффективных электродвигателей переменного тока	42
Хомяков И. В., Шилов А. С., Щеголева С. А. Анализ элементов для интеграции систем менеджмента предприятий энергетической отрасли.....	46
Москалевич Г. Н. Энергетическая безопасность как составная часть общей системы безопасности государства.....	54
А. А. Краснюк, Д. П., Антипин Моделирование системы электроснабжения объектов нефтедобывающих предприятий и анализ мероприятий по снижению уровней кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех.....	58
Бурмистрова Е. А. Технологический аспект повышения качества функционирования электрических сетей. Анализ электромагнитных процессов в цикле ОАПВ на магистральных ЛЭП	63

Стерлядев А. А., Арсланова Я. А. Кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи, обусловленные низким качеством электроэнергии.....	69

Секция 2. «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики»

Каракулова Юлия Юрьевна, Паскарь Иван Николаевич. Цифровизация в электроэнергетике.....	73

Полуянович Н. К., Азаров Н. В., Дубяго М. Н., Огреничев А. В., Шурыкин А. А. Оценка надежности и прогнозирование ресурса кабельных систем с использованием метода искусственных нейронных сетей.....	77

Хамидулина Дарья Витальевна, Паскарь Иван Николаевич. К вопросу о цифровизации компаний.....	83

Бородина Е. А., Борисюк В. В., Еремеев М. В. Определение материала проводника по его удельному сопротивлению	87

Харламова Ю. О., Шилов А. С., Щеголева С. А. Проблемы и перспективы развития энергосистемы камчатского края.....	90

Демченко В. В., Бабич А. А. Колебания турбогенераторов электростанций распределенной генерации.....	96

Метенька Р. А., Иванов М. Н. Показатели качества электроэнергии в электротехнической лаборатории	103

Навозов И. С., Иванова Е. В. Моделирование энергосистемы для расчета установившегося режима	107

Игнатенко Е. С., Горелов С. В., Лебедькова Н. В. Защита ЧИП-конденсаторов от статического электричества на этапах производства.....	111

Бабич А. А., Демченко В. В. Исследование методов определения остаточного ресурса неизолированных проводов воздушных линий электропередач	114

Денчик Ю. М., Иванова Е. В., Иванов М. Н., Палагушкин Б. В., Романов М. Н., Сальников В. Г. Электромагнитная обстановка в электрических сетях Прииртышья.....	121

Денчик Ю. М., Иванова Е. В., Кислицин Е. Ю., Палагушкин Б. В., Романов М. Н., Сальников В. Г. Исследования качества функционирования электрической сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора	127

Шишкин А. В. Современные системы мониторинга и диагностики силовых трансформаторов.....	134

Антипов П. А. Отличие релейных защит, выполненных на микропроцессорах и электромеханических.....	140
Шепелев А. О. Анализ сходимости численных методов расчёта установившихся режимов с учётом температурной зависимости активных сопротивлений	153
Аков М. Ф., Пономарёва О. Л. Ликвидация асинхронного хода генераторов при параллельной работе с сетью	161
Владимиров Л. В., Ощепков В. А. Определение поврежденного присоединения при однофазном замыкании на землю	166
Королев А. А., Князев О. А., Иванов Д. М., Иванов М. Н. Вибродиагностика и балансировка электродвигателей	170
Стрелецкий Н. Б., Садовская Л. В. Применение системного подхода для повышения надёжности электроэнергетической системы в условиях гололёдно-ветровых ситуаций.....	174
Болтабаев Р. А. Влияние ветровых и гололедных нагрузок на линии электропередач среднего напряжения и мероприятия по повышению их надежности	181
Карпова В. С., Мятёж Т. В. Проектирование гибридной схемы электроснабжения с использованием «умного» накопителя.....	188
Кислицин Е. Ю., Доценко Д. А., Чирятьев К. В. Электробезопасность заземляющих устройств в нефтегазовой отрасли	194
Кийко А. А., Кирюшин А. В., Иванова Е. В. Исследование причин отключения высоковольтных линий электропередачи	200
Маринова А. Д. Диагностика кабельных линий электропередачи	204
Тыщенко А. А., Рысев П. В. Оценка влияния децентрализованной автоматизации распределительных электрических сетей на надёжность электроснабжения	207
Шаймарданов И. Ф. Определение состояния силового оборудования по температурному режиму	213
Сарбасова Н. Д., Умурзакова А. Д. К вопросу о проблеме обеспечения бесперебойного водоснабжения на основе погружных электродвигателей.....	219
Мамедов А. Н., Хаитов К. Х. Автоматизация устройств электрохимической защиты подземных энергетических сооружений.....	222
Пономарёва О. Л. Повышение напряжения до 20 кВ для распределительных электрических сетей России	226

Закиров Д. З., Евдокимов А. А., Ермакова Е. Н. Электрический генератор малой мощности для системы энергоснабжения удаленных потребителей.....	229
Асуева Х. Л. Повышение пропускной способности линий электропередачи с помощью установок продольной компенсации.....	235
Трубицын С. В. Мероприятия по повышению надёжности распределительных электрических сетей	241
Трунов М. Ю. Способы компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях	245
Карапита Н. В. Определение повреждённого присоединения в распределительных сетях напряжением 6–35 кВ с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю	249
Мищенко В. В. Система синхронизированных векторных измерений.	252
Ананьев Е. И. Диагностика электрооборудования распределительных электрических сетей напряжением 6–10 кВ с изолированной либо компенсированной нейтралью	258
Ревякин Е. Е., Сушков В. В. Моделирование процесса синхронизации изолированного «острова» и энергосистемы	261

Секция 3. «Проблемы и перспективы развития телекоммуникаций»

Харламова Ю. О., Шилов А. С., Щеголева С. А. Оценка качества в области телекоммуникационных услуг для повышения эффективности работы телекоммуникационных систем.....	265
Вильбергер М. Е., Попов Н. С., Домахин Е. А., Сингизин И. И., Аниброев В. И. Определение показателей качества сервоприводов с применением компьютерного зрения ...	270
Вильбергер М. Е., Попов Н. С., Домахин Е. А., Сингизин И. И., Аниброев В. И. Сравнительный анализ прикладных программных комплексов matlab-simulink и simintech при синтезе системы стабилизации скорости двигателя постоянного тока.....	274
Коваленко Д. В. Разложение нестационарного сигнала на частотные составляющие с применением различных методов цифровой обработки сигналов.....	279
Дёмко А. И., Семенов О. Ю. Источник питания автономного прибора.....	286
Назаренко Н. В. Направление развития компаний мобильных операторов в сегменте B2C, B2B и B2G.....	291
Толстикова Р. А. Система бесконтактного контроля температуры промышленного оборудования	295

Дробот П. Н., Трушин А. Д. Осцилляторные датчики различных величин для условий повышенного уровня электромагнитных помех	298
Карпов Александр О., Хафизов И. И., Хайруллина Л. Р., Карпов Алексей О. Современные проблемы качества цифровизации услуг в российской федерации.....	302
Семенова Л. Л. Моделирование фильтра калмана для оценки вектора состояний, описывающего перемещение бпла	305
Прохорова Е. В., Загитов С. Р. Исследование влияния порядка цифровых фильтров на обработку сигналов электрокардиограммы.....	310
Крыкун В. О., Марцинкевич В. Г., Рыжаков В. В., Чаппаров Ф. Х., Зайцев В. Ф. Анализ требований к инфокоммуникационной среде организации на основе модели бизнес-процессов	317
Уржумцев Д. В., Рыжаков В. В., Сысоев С. М., Зайнетдинов Р. В., Ярушков В. В. Управление инфокоммуникационным трафиком в программно-конфигурируемых сетях	321
Детков А. В., Рыжаков В. В., Гамидов Ф. М., Кондрашкина Е. Г., Рыжаков М. В. Управление энергопотреблением в распределенных сенсорных сетях	326
Татарников А. С., Рыжаков В. В., Лобанов П. Ю., Кондрашкина Е. Г. Сети радиодоступа для предоставления услуг промышленного интернета вещей.....	332
Осипова Н. Г., Акимов В. О. О возможностях платформы arduino	337

Секция 4. «Научно-методические вопросы преподавания инфокоммуникаций и электроэнергетики в вузе»

Карпов Александр О., Хафизов И. И., Хайруллина Л. Р., Карпов Алексей О. Управление качеством образовательного процесса на уроке проектной деятельности при использовании различных технологий	342
Пономарев И. Д. Обзор компаний cisco и huawei. Сравнение. Прохождение сертификации	344
Хомяков И. В., Шилов А. С., Щеголева С. А. Важность разработки системы по обучению персонала на предприятиях в сфере электроэнергетики	347
Боков В. Е., Мусинов А. Н., Мостовенко Л. В., Иванов Е. С., Демидов А. А., Васильченков Н. В., Белоглазов В. П. Внедрение виртуальной системы обучения и тренировки персонала на персональных компьютерах.....	350
Кондрашкина Е. Г., Рыжаков В. В., Чаппаров Ф. Х. Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков.....	357

Зими́на А. В.¹, Володи́кина С. Д.²

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва, г. Кемерово

²Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва, г. Кемерово

Повышение энергоэффективности систем электропитания бытовых потребителей

г. Кемерово

Аннотация: Проблема повышения энергоэффективности систем электропитания актуальна на сегодняшний день. Причиной её возникновения стали увеличение протяжённости электрических сетей, развитие энергетики, снабжение потребителей некачественной электроэнергией, увеличение потребления электроэнергии и большие потери. Для решения этой проблемы можно провести следующие мероприятия: использование глубокого ввода в системах электропитания, создание сети мини-ТЭЦ или реконструкция изношенных или перегруженных участков сети.

Ключевые слова: повышение энергоэффективности, бытовые потребители, сокращение затрат.

Zimina A. V.¹, Volodkina S. D.²

¹Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo

²Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, Kemerovo

Improving energy efficiency of household consumers' power supply systems

Kemerovo

Abstract: The problem of improving the efficiency of electricity supply systems is relevant today. The reason for the emergence is the large length of electric networks, the development of energy, the supply of poor electricity to consumers, the increase in electricity consumption and the large losses. You can perform the following actions to solve this problem: use of deep input in power supply systems, creation of a mini-CHP network or reconstruction of worn-out or overloaded sections of the network.

Keywords: improving energy efficiency, household consumers, reducing expenses.

Развитие экономики страны требует соответствующего развития электроэнергетики. Первостепенным вопросом её совершенствования является вопрос повышения эффективности использования энергетических ресурсов. Работа над данной проблемой ведется многими учеными и научно-исследовательскими организациями по России и всему миру.

В данной статье рассмотрим некоторые методы повышения энергоэффективности бытовых потребителей в городских и сельских сетях.

Вопрос повышения энергоэффективности актуален прежде всего тем, что в связи со стремительным ростом населения и промышленности, а, следовательно, увеличением протяженности сетей и распространением энергетических комплексов, увеличивается и потребление электроэнергии.

Помимо этого, предпосылками для решения данной проблемы послужили следующие обстоятельства:

1. Неудовлетворительное состояние электроснабжения сельских и городских жителей. К примеру, от 40 до 90% всех аварийных отключений на воздушной линии 0,4 и 10 кВ приходится именно на сети, снабжающие сельских потребителей, что свидетельствует о низкой надежности электроснабжения [1].

2. Более 35 % сельских потребителей получают некачественную электроэнергию, причиной чего является несимметрия, несинусоидальность и отклонения напряжения. Данная проблема несет за собой последствия, выраженные неправильной работой электроприемников, нарушением технологического процесса и, следовательно, наносит серьезный ущерб сельскохозяйственным предприятиям.

3. Потери в линиях городских сетей на уровне напряжения 0,4 и 10 кВ составляют 26 и 21% соответственно, в то время как в других технически развитых странах величина относительных составляет не более 10%.

Энергоэффективность систем электроснабжения подразумевает рациональное и эффективное использование мощности, потребляемой от источников электроэнергии при сохранении параметров качества сети, питающей промышленных и бытовых потребителей.

Отсюда можно сделать вывод, что мероприятия по увеличению энергоэффективности должны быть преимущественно направлены на решение таких задач как:

1. Передачу электроэнергии от источников к приемникам (потребителям) с минимальными потерями.

2. Повышение эффективности электропотребления и качества электроснабжения потребителей.

Наиболее результативный способ решения указанных задач заключается в применении технических решений, методов и средств, способных в реальных условиях работы при разнообразных воздействиях, как со стороны источников, так и со стороны приёмников электроэнергии, обеспечить выполнение следующих действий:

1. Повышение пропускной способности линий электропередачи (ЛЭП) с минимизацией потерь мощности при транспорте электроэнергии.

2. Компенсацию реактивной мощности и стабилизацию параметров качества электроэнергии (электроснабжения) в точках подключения потребителей [2].

В настоящее время при планировании развития систем электроснабжения необходимо делать упор на использование в проектировании электростанций и подстанций энергоэффективного оборудования, которое позволит уменьшить удельный расход топлива, расход электроэнергии на собственные нужды, а также потери при передаче электроэнергии потребителю. Вывод из эксплуатации неэффективных (с высоким удельным расходом топлива) энергоблоков и электростанций поможет снизить денежные затраты на их эксплуатацию, что тоже немаловажно.

Также одной из мер повышения энергоэффективности СЭС городов является использование глубокого ввода.

Глубокий ввод представляет собой систему электроснабжения, которая позволяет максимально приблизить питающую сеть высокого напряжения к потребителю. Использование глубокого ввода приводит к сокращению числа ступеней трансформации, что способствует уменьшению потерь электроэнергии в распределительной сети городов.

Рассмотрим использование глубокого ввода в системах электроснабжения городских потребителей одного из населённых пунктов Кузбасса. По плану населённого пункта там располагаются объекты жилой инфраструктуры. По графику (рис. 1) видно, что потери мощности в линиях напряжением 20 кВ оказались в 2 раза меньше потерь при использовании напряжения 10 кВ. Можем сделать вывод о целесообразности использования нестандартного уровня напряжения 20 кВ при проектировании системы электроснабжения городских потребителей.

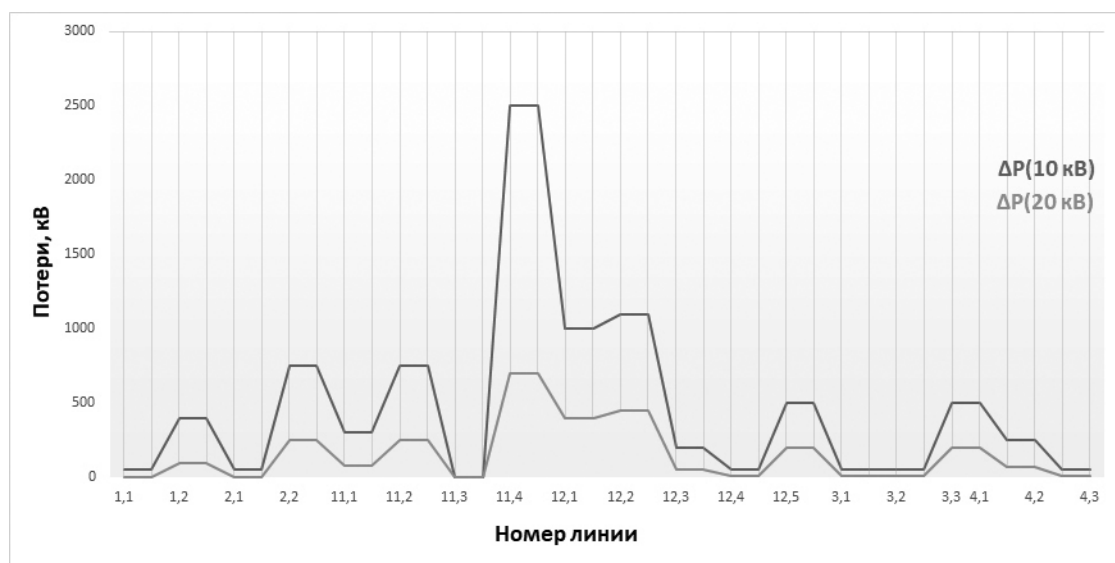


Рис. 1. График сравнения потерь мощности в сетях 10 и 20 кВ

Основными проблемами на пути повышения надежности передачи электрической энергии в сельской местности являются неравномерность графиков нагрузки, большая протяженность линий электропередач, а также неправильный выбор сечений линий сельских сетей на этапе проектирования. Добиться повышения надежности и экономичности систем электроснабжения в сельской местности возможно, если будут приняты меры по реконструкции электрических сетей и проведены мероприятия по сокращению потерь электроэнергии при ее передаче.

Также можно отметить, что несимметрия нагрузки фаз приводит к явным отрицательным отклонениям напряжения, в особенности, у более удаленных потребителей и к дополнительным потерям электроэнергии как в линиях, так и в трансформаторах. Эту проблему в настоящее время возможно решить с помощью выравнивания нагрузки по фазам, что скорее всего снизит потери электроэнергии в сетях сельских потребителей почти на 50% [3].

В сельских сетях в связи с удаленностью потребителя от источника электроэнергии (подстанций) одной из эффективных мер по уменьшению потерь при передаче электричества является постепенный переход на применение децентрализованного энергоснабжения. Использование мини-ТЭЦ, возобновляемых источников энергии и в качестве топлива – биогаз и другие местные энергоресурсы (ведь при относительно небольшой единичной мощности мини-ТЭЦ их использование будет наиболее целесообразно) позволит покрыть большой для сельской местности процент потребления.

В качестве мероприятий, повышающих энергетическую эффективность электрических сетей, могут рассматриваться такие мероприятия, как:

1. Учёт возможности использования глубокого ввода при проектировании систем электроснабжения, а также выравнивания нагрузки по фазам, особенно, в сельской местности.
2. Создание сети мини-ТЭЦ с меньшими затратами времени и средств по сравнению с новым строительством энергетических предприятий (например, новой крупной ТЭЦ) уменьшит дефицит мощности.
3. Реконструкция изношенных и перегруженных участков электрических сетей напряжением 6 кВ и 0,4 кВ с заменой проводов на провода с большим сечением и на самонесущие изолированные провода позволит существенно снизить потери электроэнергии в электрических сетях города при ее транспортировке и повысить надежность и качество электроснабжения потребителей.

Список использованной литературы

1. В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие. 2-е изд. — М.: ИПК госслужбы, 2001 г.
 2. Пути снижения потерь электроэнергии в электрических сетях [электронный ресурс] 2011. URL: http://energetik-ltd.ru/statii/statii8/puti_snijeniya_poter_elektroenergii_v_ekektricheskih_setyah (дата обращения 25.12.2019)
 3. Мероприятия по снижению потерь электрической энергии в распределительных сетях [электронный ресурс] 2018. URL: <http://www.energsovet.ru/stenergo.php?idd=155> (дата обращения 25.12.2019)
-

Переладов М. Е.¹, Сальников В. Г.², Смыков Ю. Н.³,
Денчик Ю. И.⁴, Степанов А. А.⁵

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

³ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

⁴ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

⁵ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

Эффективная система электропередачи 0,4 кВ «берег — судно технического флота»

г. Новосибирск

Аннотация: Решение задачи повышения надёжности фидера 0,4 кВ электропередачи «берег — судно речного технического флота» в части повышения надёжности и уменьшению переходных сопротивлений

Ключевые слова: колонка электроснабжения, электроснабжение судна, судно технического флота, электрический соединитель

Pereladov M. E.¹, Salnikov V. G.², Smykov Yu. N.³,
Denchik Yu. I.⁴, Stepanov A. A.⁵

¹FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

²FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

³FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

⁴FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

⁵FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

Effective 0.4 kv «shore — based technical fleet» power transmission system

Novosibirsk

Abstract: The solution to the problem of increasing the reliability of the 0.4 kV feeder of the «shore-to-river technical fleet» power transmission in terms of increasing reliability and reducing transient resistances

Keywords: power supply column, ship power supply, technical fleet ship, electrical connector

В условиях развития речного и морского судоходства повышаются требования к обеспечению эффективной работы системы электроснабжения береговых объектов и электропередач «берег-судно технического флота». В связи с этим особенно требуется надёжность линии электропередачи «берег — судно технического флота». Данная статья посвящена рассмотрению системы подключения кабельной линии 0,4 кВ с целью повышения надёжности работы контактных соединений на берегу северных рек.

На рис. 1 представлена схема замещения фидера электропередачи «берег — техническое судно». Объектом исследования является акватория речного порта реки.

В нашей стране, в силу климатических особенностей, обширностей территорий, большое количество судоходных рек, важную роль в системе логистики отводится речному и морскому

транспорту. Труднодоступные районы страны, территории, прилегающие к Северному морскому пути, в силу отсутствия связующих сухопутных артерий, способны снабжаться только современными, энерговооруженными судами.

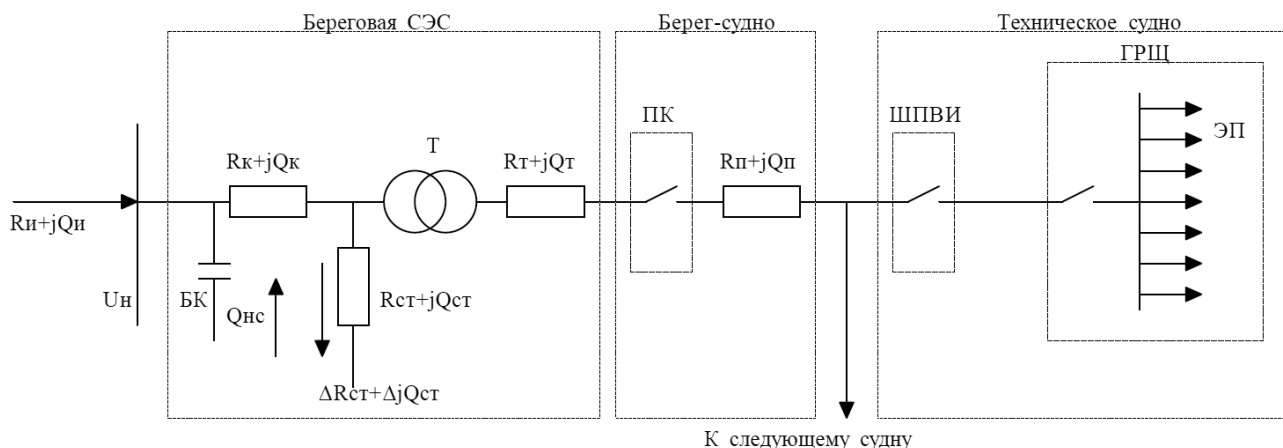


Рис. 1. Схема замещения фидера электропередачи «берег — судно технического флота», с направленными потоками мощностей фидера.

Обозначения: R_k , R_t , R_p ; X_k , X_t , X_p — соответственно, активное и реактивное сопротивления кабеля 10 кВ, трансформатора и штатного кабеля 0,4 кВ; $\Delta P_{ст}$, $\Delta Q_{ст}$ — потери активной и реактивной мощности в стали трансформатора; U_n — напряжение источника питания; P_n , Q_n — активная и реактивная мощности, поступающие от источника питания в судовую электрическую сеть; P_p , Q_p активная и реактивная мощности судовых электроприемников; $R_{ст}$, $X_{ст}$ — активные и реактивные сопротивления, характеризующиеся соответствующие потери мощностей в трансформаторе; T — береговой трансформатор; ПК — портовая колонка (электропитания судна с берега); ГРЩ — главный распределительный щит; ЭП — электрический потребитель; ШПВИ — шкаф питания внешнего источника;

Оправданная стратегическая экспансия на север возможна только техническим флотом с большой долей автоматизации.

В связи с развитием кибернетических систем необходимо продумать возможности внедрения саморегуляции в системах питания судна от энергетических установок речных акваторий, поскольку, затрагивая вопросы энергоэффективности питания судна наиболее оптимальным считается электроснабжение технического флота с берега посредством колонок электропитания. Плюсами можно назвать экономическую выгоду перед судовыми установками, так как береговая электроэнергия дешевле, экологичнее, поскольку уменьшается уровень шума, вибраций и снижается уровень загрязнения от выхлопа судовой электроустановки, а также более высокий коэффициент полезного действия. Нельзя забывать про возможность автоматического контроля количества потребляемой энергии.

Обобщая выше сказанное, контроль качества электроэнергии и электромагнитной обстановки (ЭМО), а также автоматизация процесса реагирования на их изменение, позволяет повысить надежность, безотказность и долговечность работы электроэнергетической системы судна при электроснабжении с берега.

Таким образом, создание цифровой модели электроэнергетической системы судна способно привести к ряду достижений в области энергоэффективности, поскольку быстрая загрузка данных посредством колонки электропитания из пришвартованного в акватории судна способно оценить класс судна и быстро обеспечить нужным количеством электроэнергии бортовые установки — выполнить согласование в автоматическом режиме суммарной мощности и подачи заявки на подключение к береговой сети одновременно в параллельном режиме.

В плане защиты комплекс электроснабжения судна с берега (КЭСБ) обеспечивает удаленное аварийное отключение с нескольких постов управления таким образом, чтобы отключалась кабельная линия, идущая от КЭСБ. Согласно инструкции по электроснабжению судов от береговых сетей [1] после проверки правильности порядка следования фаз электромеханик производит выключение на ГРЩ фидеров тех приемников, которые не будут работать при электроснабжении судна от береговой сети, кроме фидеров пожарных насосов, и ограничивает суммарную электрическую нагрузку на береговую сеть до мощности, указанной в заявке на подключение к береговой сети.

Помимо процесса подключения судна к береговой сети содержатся и другие требования, поэтому необходимы решения, позволяющие упростить, ускорить время подключения и отключения, а также предусмотреть меры повышения надежности и качества электроснабжения судна от береговой электрической сети. Одной из данных мер можно с уверенностью назвать оцифровку параметров электрических машин судовой электроэнергетической системы.

Подытоживая все выше сказанное, создание кибернетической системы, предусматривающую оцифровку параметров судовой энергетической системы, показывает детализированную картину ЭМО и каждый отдельный потребитель, влияющий на неё, что в свою очередь ведет к более эффективному и рациональному использованию ресурсов и дальнейшей оптимизации качества электроэнергии, таких как:

- 1) подключение несимметричных нагрузок на участках сети с возможно большей мощностью к. з.;
- 2) выделение несимметричных нагрузок значительной мощности на отдельные трансформаторы;
- 3) равномерное распределение однофазных нагрузок по всем фазам.

$$i_A = \frac{U_A}{U_A \left(\frac{L_A}{r_A} p + 1 \right)}; \quad (1)$$

$$i_B = \frac{U_B}{U_B \left(\frac{L_B}{r_B} p + 1 \right)}; \quad (2)$$

$$i_C = \frac{U_C}{U_C \left(\frac{L_C}{r_C} p + 1 \right)}; \quad (3)$$

Уравнения (1)–(3) позволяют моделировать каждую фазу нагрузки в отдельности, то есть допускают моделирование несимметричной нагрузки. Эти уравнения позволяют моделировать как симметричные, так и несимметричные режимы подключения нагрузки по отдельным фазам [2, с. 181].

Развитие электроснабжения судов технического флота с берега является тенденцией дальнейшей эволюции логистической инфраструктуры речного и морского флота. Все применяемые аналоги колонок электропитания судов с берега имеют старую техническую базу, в следствие этого повсеместного распространения не получила и подрывает имидж компании по внедрению данной системы.

В силу повсеместного использования малых судов, проглядывается реальная перспектива в потребности колонок электропитания судов с берега.

Оглядываясь на другие страны видно, как наши соседи преуспевают в развитии технологии питания судов. Необходимо выйти на мировой стандарт качества и оптимизировать процесс преобразования электроэнергии для подключения судов иностранного производства.

Для этого предлагается дополнительная установка преобразователей для обеспечения частоты питания 60 Гц.

Одним из основополагающих элементов современной комплекса электроснабжения судна с берега является наличие унифицированной системы для быстрого подключения и отключения судов. Разработан электрический соединитель, который позволяет производить быстрое отключение и подключения различных судов. Получен положительный результат формальной экспертизы заявки на изобретение данного электрического соединителя [3]. Контактное соединение имеет сопротивление $R \rightarrow 0$. При разработке были учтены следующие факторы: надежность и простота при эксплуатации в различных климатических зонах, долговечность и низкая себестоимость, опыт эксплуатации других типов электрических соединителей.

Применение данного электрического соединителя позволит по-новому взглянуть на модель развития транспортной отрасли в целом.

Данное техническое решение принято к внедрению и будет получен экономический эффект.

Список использованной литературы

1. Инструкция по электроснабжению судов от береговых сетей. РД 31.21.81 — 79. М., ЦРИА «Морфлот», 1980, 32 с.
 2. Аветисян Д. А. Автоматизация проектирования электрических систем. — М.: Высш. шк., 1998. — 331 с., ил.
 3. Заявка на изобретение РФ № 2018126581, 18.07.2018. Электрический соединитель // Патент России. 2020. Бюл. № 2 / Смыков Ю. Н., Палагушкин Б. В., Дёмин Ю. В., Реутов С. Н., Иванова Е. В., Иванов Д. М., Денчик Ю. М., Сальников В. Г.
-

Иванова Е. В., Казаков С. С.

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск

Потенциал энергосбережения предприятия по выпуску медицинских препаратов

г. Новосибирск

Аннотация: В статье дан анализ энергосберегающих мероприятий на предприятии по выпуску медицинских препаратов. Показаны возможные пути повышения энергоэффективности предприятия и снижения энергетической составляющей выпускаемой продукции.

Ключевые слова: энергосберегающие мероприятия, энергоэффективность, модель расхода электроэнергии, потребление электроэнергии.

Ivanova E. V., Kazakov S. S.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

Energy saving potential on release of medical drugs

Novosibirsk

Abstract. The article provides an analysis of energy-saving measures at the enterprise for the production of medical preparations. Possible ways of increasing the energy efficiency of the enterprise and reducing the energy component of the products are shown.

Keywords: energy-saving measures, energy efficiency, electricity consumption model, electricity consumption.

В нынешних экономических условиях, цена на электроэнергию существенным образом влияет на затраты производства продукции, в которых доля расходов на оплату электроэнергии составляет до 60%. Контроль потребления энергоресурсов, является важнейшей задачей в процессе реализации прибыльной и эффективной работы предприятий.

Сегодня многие отечественные компании вообще не имеют представления о структуре энергопотребления. Они не знают, какие объекты потребляют больше электроэнергии, а какие меньше, не могут изобразить свою модель расхода энергии [1].

Цель исследования — построение модели расхода электроэнергии, повышение энергоэффективности предприятия.

Предприятие, выпускающее медицинские препараты, является крупнейшим в России производителем лекарственных средств и имеет большие и энергоемкие производственные площади. В период с 2015 по 2019 год, на предприятии увеличилось потребление электроэнергии в связи с интенсивным ростом производства. В табл. 1 представлены данные потребленной мощности.

Рост нагрузки в летнее и зимнее время, связан с сезонным запуском систем кондиционирования, работы котельной, работами подрядных организаций на площадках вновь сооружаемых корпусов, включением на время зимнего периода электрических котлов и прочего оборудования.

Таблица 1.

Мощности потребления за период 2015–2019 год

Период наблюдения, год	Мощность потребления		
	P, кВт	Q, кВАр	S, кВА
2015	375293,24	126256,86	395961,8803
2016	530748,07	179768,21	560366,0617
2017	760255,28	232952,81	795144,7054
2018	802248,72	262289,4	844037,1663
2019	856944,12	274666,14	899885,9446

По представленным данным на рис. 1 можно судить о довольно высоком коэффициенте мощности, составляющем порядка 0,92–0,94. При более детальном анализе графиков потребления электроэнергии наблюдается снижение коэффициента мощности, вследствие нерационального использования электрооборудования.

На предприятии проводят серьезную целенаправленную работу по снижению энергоемкости производства. В первую очередь это техническая паспортизация электрохозяйства, которое состоит из основных и вспомогательных устройств, предназначенных для обеспечения предприятия электрической энергией.

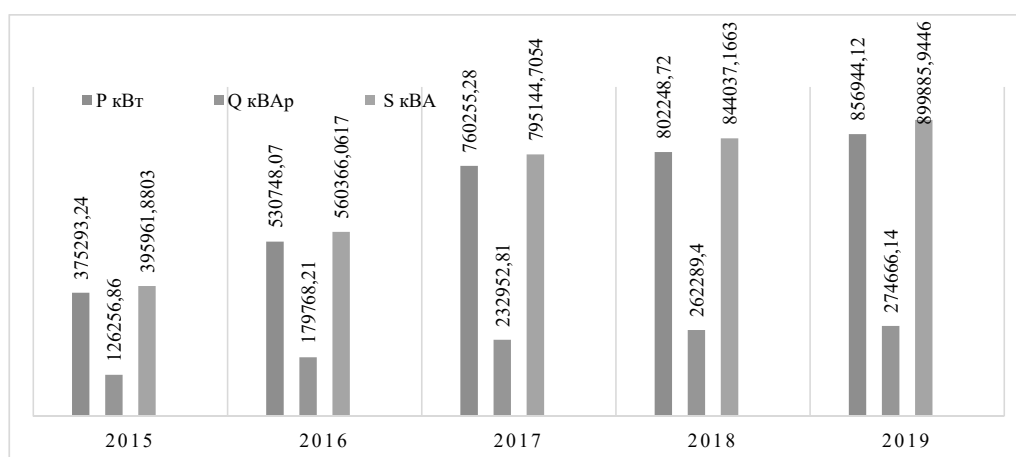


Рис. 1. Мощности потребления.

В результате исследования выявлены причины неэффективного использования электроэнергии: маленькая загрузка электродвигателей и трансформаторов, что ведет к высоким потерям электроэнергии в системе электроснабжения.

С целью сокращения потребления электрической энергии и повышения энергетической эффективности на предприятии разработана программа по энергосбережению. Она представляет собой экономически обоснованный комплекс организационно-технических мероприятий, в результате внедрения которого будет обеспечена экономия энергоресурсов.

В рамках этой программы в первую очередь проведена замена люминесцентных ламп на светодиодные светильники. Следующим этапом является установка датчиков движения в местах общественного пользования.

Для регулирования потребляемой мощности асинхронными двигателями в зависимости от фактической нагрузки и снижения пусковых токов устанавливаются частотные преобразователи, которые обеспечат плавный пуск и регулировку скорости вращения двигателя, что позволит увеличить межремонтный интервал, продлить срок эксплуатации электродвигателей.

Электрооборудование предприятия получает питание от трансформаторной подстанции, на которой установлены два трансформатора ТМГ 1600/10 и два трансформатора ТСГДЛ 2500/10. Некоторые трансформаторы работают с нагрузкой около 30%. В связи с этим принято решение о переводе части потребителей на недогруженные трансформаторы.

Модернизация старой РУ-0,4 кВ включает замену большого количества промежуточной коммутационной аппаратуры (рубильники) на новые коммутационные аппараты, что позволит повысить надежность системы электроснабжения и снизить потери электроэнергии в электрической сети 0,4 кВ.

Основой для формирования и дальнейшего совершенствования инструментального обеспечения станет система контроля и учета потребления электроэнергии-автоматизированная система контроля и учета электроэнергии. Она позволит полностью контролировать процесс энергопотребления и оперативно получать актуальную информацию в режиме «здесь и сейчас».

Принимаемые меры по повышению энергоэффективности предприятия позволят сократить потери электроэнергии в системе электроснабжения и снизить энергетическую составляющую в себестоимости продукции.

Список использованной литературы

1. Повышение качества функционирования линий электропередачи: монография / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников; под редакцией В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. — 2-е изд. — Берлин: Директ-Медиа, 2015. — 558 с.
-

Скиданова А. Ю., Антипин Д. П.

БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Определение оптимальной мощности внутрискважинных установок компенсации реактивной мощности куста нефтедобывающей скважины

Сургут

Аннотация. В работе рассматривается вопрос оптимизации выбора мощности внутрискважинного компенсатора реактивной мощности (ВКРМ) и анализ места его расположения в системе электроснабжения кустовых нефтедобывающих скважин.

Ключевые слова: внутрискважинный компенсатор реактивной мощности, потери мощности в сети, установки электроцентробежных насосов, оптимизационные методы в электроэнергетике.

Skidanova A. Y., Antipin D. P.

Surgut State University, Surgut

Determination of the optimal power of the in-well depth installations for the compensation of the reactive power of the bush of an oil-producing well

Surgut

Abstract. The paper considers the issue of optimizing the choice of power of the downhole reactive power compensator (DPFC) and analyzing its location in the power supply system of cluster oil wells.

Keywords: downhole reactive power compensator, power loss in the network, installation of electric centrifugal pumps, optimization methods in the electric power industry.

На сегодняшний день основными способами повышения эффективности механизированной добычи нефти — уменьшения потерь мощности — в установках электроцентробежных насосов (УЭЦН) являются: применение энергоэффективного оборудования с максимально высоким коэффициентом полезного действия, оптимизация подбора скважинного оборудования, энергомониторинг, создание регламентов по выполнению энергоэффективного дизайна, внедрение концепции интеллектуальных месторождений и увеличение сечения питающего кабеля [4–6].

Недавно, [2, 3] для компенсации реактивной мощности в питающих кабельных линиях погружных электродвигателей (ПЭД) в составе установок электроцентробежных насосов, было предложено устанавливать компенсирующие устройства — внутрискважинные установки реактивной мощности ВКРМ — непосредственно вблизи электродвигателей.

Для решения задачи оптимального использования установок ВКРМ в системах электроснабжения нефтедобывающих скважин предварительно была рассмотрена задача по определению мощности компенсирующего устройства (КУ) при его установке на некоторой глубине одной скважины так, чтобы выполнялось условие: падение напряжения в месте установки не должно превышать 10% от напряжения в начале участка.

Оптимизационная задача формулируется следующим образом:

$$\Delta P(Q_e; \ell) \rightarrow \min, \varphi(Q_e; \ell) = 0, \quad (1)$$

$$\varphi(Q_k; \ell) = \Delta U - \frac{P_i \cdot r_0 + (Q - Q_k) \cdot x_0}{U_2} \cdot (\ell_0 - \ell_i); \quad (2)$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^5 \frac{P_i^2 + (Q_i - Q_k)^2}{U_2^2} \cdot r_0 \cdot (\ell_0 - \ell_i). \quad (3)$$

где $\varphi(Q_e; \ell)$ — функция связи переменных Q_e и ℓ , ΔP — потери мощности, P_n — активная нагрузочная мощность; Q_k — реактивная мощность устанавливаемого устройства ВКРМ; Q_n — реактивная нагрузочная мощность; U_2 — напряжение на выводах погружного двигателя; r_0 — погонное активное сопротивление кабельной линии; ℓ_0 — [км], длина кабельной линии, от повышающего промышленного трансформатора до погружного электродвигателя; ℓ_i — длина (глубина) на которой нужно расположить ВКРМ. С условием (ограничением) на допустимое отклонение напряжения, которое согласно ГОСТ 32144–2013 [1] составляет 10%.

Следуя методу неопределенных множителей, запишем функцию Лагранжа и определим оптимальное место расположения установки компенсации реактивной мощности:

$$L = \sum_{i=1}^5 \frac{P_{ii}^2 + (Q_i - Q_k)^2}{U_2^2} \cdot r_0 \cdot (\ell_0 - \ell_i) + \lambda_i \cdot (\Delta U - \frac{P_{ii} \cdot r_0 + (Q_i - Q_{ki}) \cdot x_0}{U_2} \cdot (\ell_0 - \ell_i)), \quad (4)$$

где λ_i — неопределенный множитель Лагранжа.

Известно что, в точке минимума функции L ее частные производные равны нулю, исходя из этого условия найдем производные по неизвестным параметрам:

$$\begin{cases} \frac{dL}{d\lambda_i} = 0 \\ \frac{dL}{dQ_{ki}} = 0 \\ \frac{dL}{d\ell_i} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Из системы (5) найдем интересующие нас параметры:

$$\begin{cases} Q_{ki} = Q_i - \frac{P_{ii}}{x_0} \cdot (\sqrt{r_0 + x_0} - r_0) \\ \ell_i = \frac{0.09 \cdot U_1^2}{P_i \cdot r_0 + (Q - Q_k) \cdot x_0} \end{cases} \quad (6)$$

Для исходных данных представленных в табл. 1, где был выбран нефтяной куст состоящий из 5 скважин, которые питаются от общей шины, принимаем, что U_1 и U_{iii} для всех двигателей будут одинаковыми.

Расчётные значения реактивной мощности ВКРМ и глубины установки по системе (6) приведены в табл. 2.

Анализ результатов (табл. 1 и 2) показывает, что полная компенсация по условию падения напряжения не является технико-экономически обоснованной, так как на некоторых участках компенсация реактивной мощности не требуется вообще.

Таблица 1.

Исходные данные для расчета.

$\Delta U_0, \%$	$Q_n, \text{кВар}$	$P_n, \text{кВт}$	$l_0, \text{км}$
11,3	26,88	2,343	2,343
13,7	33,6	2,27	2,27
10,0	23,52	2,393	2,393
13,6	33,6	2,26	2,26
9,8	23,52	2,323	2,323

Таблица 2.

Результаты расчета.

	$Q_k, \text{кВар}$	$l_i, \text{км}$
1	25.87	2.227
2	32.43	1.741
3	22.7	2.487
4	32.43	1.741
5	22.7	2.487

Поэтому была рассмотрена задача оптимизации с условием: известной общей компенсируемой реактивной мощности и установкой устройств ВКРМ на глубине ПЭД:

$$\Delta P(Q_e; \ell) \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^5 Q_{k_{ii}} - Q = 0. \quad (8)$$

Запишем формулу Лагранжа с учетом условия (8):

$$L = \sum_{i=1}^5 \frac{P_n^2 + (Q_i - Q_k)^2}{U_2^2} \cdot r_0 \cdot \ell_{0i} + \lambda (\sum_{i=1}^5 Q_{ki} - Q_{необх}), \quad (9)$$

где $Q_{необх} = 68 \text{кВар}$ — это половина суммы всех найденных мощностей компенсирующих устройств по системе (6); $\sum_{i=1}^5 Q_{ki}$ — сумма мощностей внутрискважинных компенсирующих устройств.

Так как в точке минимума производные равны нулю, то получим систему из 6 уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dQ_{ki}} = 0 \\ \frac{dL}{d\lambda} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Система уравнений (10) для Лагранжиана (9) имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dQ_{ki}} = \frac{2 \cdot (Q_i - Q_{ki}) \cdot l_{0i} \cdot r_0}{U_2^2} - \lambda = 0, \\ \frac{dL}{d\lambda} = \sum_{i=1}^5 Q_{ki} - Q_{необх} = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Из (11) выразим переменную λ :

$$\lambda = \frac{(\sum_{i=1}^5 Q_i - Q_{необх}) \cdot 2 \cdot r_0}{U_2^2 \left(\sum_{i=1}^5 \frac{1}{l_{0i}} \right)}. \quad (12)$$

Подставляя выражение (12) в (11) получим значения оптимальных мощностей установок ВКРМ:

$$Q_{ki} = Q_i - \frac{\sum_{i=1}^5 Q_i - Q_{необх}}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{l_{0i}}}. \quad (13)$$

Полученные мощности компенсирующих устройств и места установок показаны табл. 3:

Таблица 3.

Мощности компенсирующих устройств

	Q_k , кВт	l_{0i} , км
1	11,25	2.343
2	20,5	2.270
3	8,2	2.393
4	20,4	2.26
5	7,75	2.323

Таким образом, была поставлена и решена задача по выбору оптимальной мощности установок ВКРМ расположенных вблизи двигателя, при условии, что номинальное напряжение U_{ii} всех двигателей одинаковы.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
 2. Копырин, В. А. Улучшение показателей эффективности электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов добычи нефти при использовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности: дис. на соиск. учен. степ. канд.технич. наук (2019) / Владимир Анатольевич Копырин; ФГ БОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» — Тюмень, 2019. — 137 с.
 3. Пат. 145053 Российская федерация, МПК G05F1/70, H02J3/18. Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности / В. А. Копырин, Н. В. Гара, А. Л. Портнягин, О. В. Смирнов — №2014116437/07; заявл. 23.04.2014; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25. — 5 с.
 4. Якимов, С. Б. Оптимизация сечения кабеля УЭЦН — простая и эффективная технология энергосбережения / С. Б. Якимов, М. Н. Каверин, В. П. Тарасов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2012. — № 3. — С. 53–57.
 5. Якимов, С. Б. О новых перспективах применения ПЭД с повышенным напряжением питания для снижения капитальных и операционных затрат / С. Б. Якимов, М. Н. Каверин, В. П. Тарасов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2015. — № 4. — С. 34–38.
 6. Якимов, С. Б. Современное состояние и перспективные направления снижения тепловых потерь в кабельных линиях УЭЦН большой мощности в ОАО «НК «Роснефть» / С. Б. Якимов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2016. — № 3. — С. 40–46.
-

Иманов Э. Д.¹, Солодухина И. А.², Фирсов А. В.³.

¹Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

²Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

³Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Оценка эффективности перевода распределительных сетей на повышенное напряжение

г. Сургут

Аннотация: В данной статье рассмотрены основные факторы, влияющие на эффективность передачи электроэнергии в распределительных сетях. Основными критериями при оценке эффективности линии электропередачи являются относительные потери напряжения, допустимая длина воздушной линии по потерям напряжения. В расчетах были использованы воздушные линии напряжением 6 и 10 кВ. Использование воздушных линий электропередач 10 кВ позволит уменьшить потери электрической энергии, повысить пропускную способность и увеличить дальность ее передачи.

Ключевые слова: воздушные линии электропередач, потери напряжения, повышение надежности электроснабжения.

Imanov E. D.¹, Soloduhina I. A.², Firsov A. V.³.

¹Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra «Surgut State University», Surgut

²Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra «Surgut State University», Surgut

³Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra «Surgut State University», Surgut

Evaluating the efficiency of switching distribution networks to high voltage

Surgut

Abstract: This article discusses the main factors that affect the efficiency of electricity transmission in distribution networks. The main criteria for evaluating the efficiency of a power transmission line are the relative voltage losses and the allowable length of the overhead line for voltage losses. The calculations used 6 and 10 kV overhead lines. The use of overhead power lines of 10 kV will reduce the loss of electrical energy, increase throughput and increase the range of its transmission.

Keywords: overhead power lines, voltage losses, increased reliability of power supply.

Воздушные линии номинального класса напряжения 6 кВ являются «артериями» электроснабжения рассредоточены на многие километры. Поэтому транспортировка является важным аспектом в передачи электроэнергии к потребителю. Передаваемая электроэнергия долж-

на быть установленного качества в любой интервал времени и передаваться в необходимом потребителю количестве при минимальных затратах.

За последние годы в России наблюдается значительный рост реконструкций и модернизаций распределительных сетей, так как существующие воздушные линии электропередач напряжением 6 кВ не справляются с возросшей нагрузкой и в большинстве случаев находятся на пределе и в последней фазе своего жизненного цикла. Согласно данным Минэнерго физический износ распределительных сетей составляет более 70 %, что в 1,5–2,5 раза выше, чем в других крупных странах. Также не стоит забывать про моральный износ электрооборудования, который достиг своего пика. Высокий уровень изношенности приводит к снижению: надёжности работы оборудования, надёжности энергоснабжения потребителей, качества передаваемой электрической энергии.

Для того, чтобы уменьшить затрат на передачу электроэнергии необходимо повысить номинальное напряжения сети. Это позволит существенно снизить ток, протекающий по линии, а значит уменьшаться потери электрической энергии, увеличится пропускная способность и дальность ее передачи. Большинство развитых стран, такие как США, Австрия, Германия, Италия, Франция, Финляндия, уже полностью отказались от развития электрических сетей класса напряжения 6 кВ и перешли на более высокий класс напряжения 10 кВ.

Выше изложенные факты приводят к осмыслению и стремлению предпринять серьезные усилия по техническому перевооружению, реконструкции, модернизации, а также развитию электрических сетей, для того чтобы обеспечить достаточную пропускную способность, бесперебойное, надежное и качественное электроснабжение потребителей.

Целью статьи является обоснование перевода распределительных сетей на повышенное напряжение.

1) Рассмотрим потери напряжения в распределительных сетях. Исследования выполняются для участка воздушной линии без ответвлений с неизолированными сталеалюминевыми проводами. При первоначальных расчетах можно принять, что передаваемая полная мощность, длина линии и сечения жил проводников одинаковые.

Относительная потеря напряжения вычисляются по формуле:

$$\Delta U = \frac{100 \times P \times l}{\gamma \times S \times U^2} \quad (1)$$

где P — мощность, Вт;

l — длина воздушной линии, м;

γ — удельная проводимость, Ом·мм²;

S — сечение проводника, мм²;

U — номинальное напряжение сети, В.

Относительная потеря напряжения для 6 и 10 кВ:

$$\Delta U_6 = \frac{100 \times P \times l}{\gamma \times S \times U_6^2}; \quad (2)$$

$$\Delta U_{10} = \frac{100 \times P \times l}{\gamma \times S \times U_{10}^2}. \quad (3)$$

После математических преобразований получаем:

$$\frac{\Delta U_6}{\Delta U_{10}} = \frac{100 \times P \times l \times \gamma \times S \times U_{10}^2}{100 \times P \times l \times \gamma \times S \times U_6^2} = \frac{U_{10}^2}{U_6^2} = \frac{10^2}{6^2} = 2,7.$$

Из расчета видно, что при переводе линии напряжением 6 кВ на напряжение 10 кВ относительные потери напряжения уменьшились в 2,7 раза.

2) Рассмотрим допустимую длину воздушной линии по потерям напряжения. Исследования выполняются для участка воздушной линии без ответвлений длиной 1 км с неизолированными сталеалюминевыми проводами. Число часов использования максимум нагрузки $T_{\text{нб}} = 3000$ ч.

Расчет для передачи мощности 500 кВА на напряжении 10 кВ.

Расчетный ток воздушной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{нагр}}}{\sqrt{3} \times U_n}, \quad (2)$$

где $S_{\text{нагр}}$ — мощность, передаваемая по линии, кВА;

U_n — номинальное напряжение линии, кВ.

$$I_p = \frac{500}{\sqrt{3} \times 10} = 28,86 \text{ А.}$$

Выбор сечений проводится по экономической плотности тока [1]:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I}{j_{\text{эк}}}, \quad (3)$$

где $j_{\text{эк}}$ — экономическая плотность тока, А/мм²;

I — ток, протекающий по линии, А.

$$F_{\text{эк}} = \frac{28,86}{1,3} = 22,2 \text{ мм}^2.$$

Выбирается сечение 25 мм², марка провода АС-25.

Выбранное сечение проверяется по длительно допустимому току [1]:

$$I_p = 28,86 \text{ А} < 142 \text{ А} \text{ — условие выполняется.}$$

Потеря напряжения в воздушной линии:

$$\Delta U_{\text{вл}} = \frac{S_{\text{нагр}} \times \cos \varphi \times r_0 + S_{\text{нагр}} \times \sin \varphi \times x_0}{U_n^2} \times l \times 100\%, \quad (4)$$

где r_0 — активное сопротивление, Ом/км;

x_0 — индуктивное сопротивление, Ом/км;

$\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки для воздушной линии (0,95);

l — длина воздушной линии, км;

$$\Delta U_{\text{вл}} = \frac{500 \times 0,95 \times 1,170 + 500 \times \sqrt{1 - 0,95^2} \times 0,440}{10^2} \times 1 \times 10^{-3} \times 100 = 0,624.$$

Допустимая длина воздушной линии по потерям напряжения:

$$L_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{н}}}{\Delta U_{\text{вл}}}, \quad (5)$$

$$L_{\text{доп}} = \frac{10}{0,624} = 16 \text{ км.}$$

Аналогично производятся расчеты для напряжения 6 кВ:

$$L_{\text{доп}} = 4,6 \text{ км.}$$

Исходя из расчетов видно, что применение напряжения 10 кВ позволит увеличить длину распределительной сети, при этом значительно уменьшится сечение воздушной линии.

Заключение. Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что внедрение распределительных сетей классом напряжения 10 кВ выгоднее и эффективнее, так как с их помощью мы сможем увеличить длины распределительных сетей, уменьшить сечение воздушной линии, и самое главное это уменьшение относительных потерь напряжения в линии в 2,7 раза.

Список использованной литературы

1. Ананичева С. С. Практические задачи электрических сетей: учебное пособие / С. С. Ананичева, М. А. Калинкина. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», 2012. — 112 с.
 2. Блок В. М. Выбор оптимальных сечений кабелей с учетом экономических показателей // Электрические станции. — 1945. № 9, 10. — с. 8–12.
 3. Зуев Э. Н. К вопросу об экономической плотности тока в современных условиях // Электро. — 2000. — № 1.
 4. ГОСТ 839–80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередач.
 5. ГОСТ 29322–2014 Напряжения стандартные.
-

Казанчева А. Н.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

Обзор подходов и технологий повышения энергоэффективности электрических сетей месторождений нефти и газа

г. Сургут

Аннотация: В статье рассмотрена проблема повышения энергоэффективности распределительных электрических сетей месторождений нефти и газа. Производится обзор перспективной технологии повышения энергоэффективности на примере технологии Smart Grid.

Ключевые слова: система электроснабжения, энергоэффективность, потери мощности и электроэнергии, полезная энергия, показатели качества электроэнергии.

Kazanceva A. N.

Surgut state University, Surgut

Overview of approaches and technologies to improve energy efficiency of electric networks of oil and gas fields

Surgut

Annotation. The article deals with the problem of increasing the energy efficiency of electric distribution networks of oil and gas fields. A review of a promising technology for improving energy efficiency using Smart Grid technology as an example is made.

Keywords: puck power supply system, energy efficiency, power and electricity losses, useful energy, electricity quality indicators.

Россия занимает ведущие позиции в мировой системе оборота энергоресурсов, особенно значимы позиции страны на мировом рынке углеводородов. При рассмотрении основных положений «Энергетической стратегии России на период до 2030 года», в качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в области энергетической отрасли страны одной из задач будет являться разработка и практическая реализация умных энергосетей нового поколения. Данные сети позволят обеспечить высокие показатели электроэнергии в уже действующие системы энергетики, а также позволят организовывать системные и распределенные сети в Единой энергетической системе страны [3].

В настоящее время формируется тенденция цифровизации электросетевого комплекса. Цифровизация может осуществляться путем внедрения и развития «умной энергетики» — Smart Grid (умная сеть).

Умная сеть включает в себя совокупность программно-аппаратных средств, предназначенных для автоматизации программным комплексом, который позволяет, на основе имеющейся информации, полученной от всех объектов системы и промежуточных элементов сетей, правильно распределяет всю имеющуюся энергию между потребителями. При этом обеспечивается стабильность энергосети с точки зрения оценки напряжения и частоты [4]. Защищенность всей системы достигается путём уменьшения зависимости от централизованных электростанций, способности сетей и оборудования к самодиагностике.

К преимуществам, которые может обеспечить данная модернизация можно отнести: во-первых, теоретическое исследование базовых технологий построения пассивных сетей, например, пассивную систему передачи. Во-вторых, управление генерацией, потреблением и распределением электроэнергии за счёт коммутации. В перспективе возможного перспективного развития сетей на базе концепции умных сетей для перехода к интеллектуальной электроэнергетической системе месторождений нефти и газа, появится возможность к выявлению ряда слабых частей в области энергоэффективности производства добычи нефти и газа, что в свою очередь может привести к сокращению потерь электроэнергии в целом.

Массовое применение установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) на месторождениях определено их значительными преимуществами перед другими способами механизированной добычи нефти. Они заключаются в отсутствии длинной механической связи между приводом и насосом, поэтому погружные установки имеют значительно большую мощность, чем штанговые глубинные насосные установки (ШГНУ), что в свою очередь позволяет поддерживать большие объёмы отбора жидкости из скважины при допустимых значениях коэффициента полезного действия и надёжности установки [2]. На рис. 1 представлены основные составляющие оборудования установки электроцентробежного насоса.

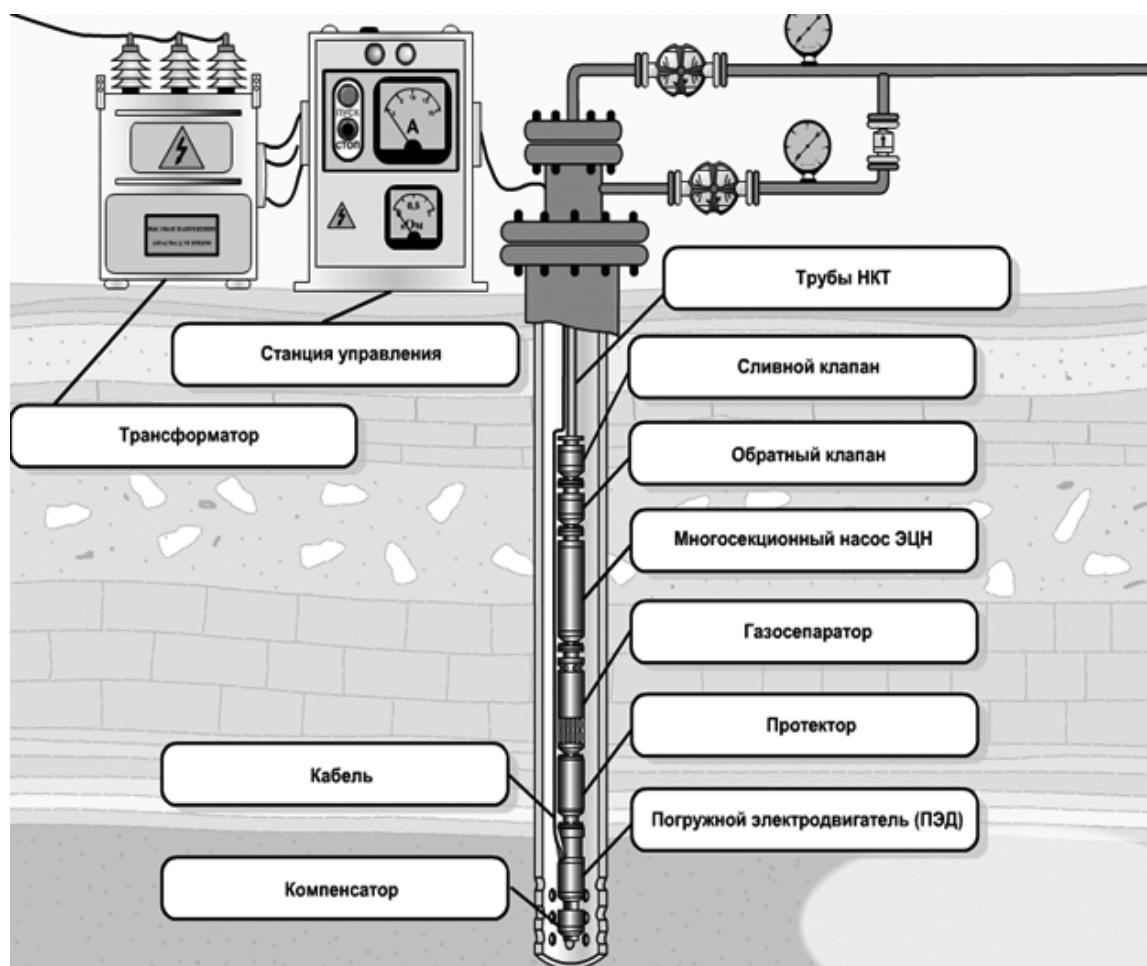


Рис. 1. Оборудование установки электроцентробежного насоса

Структура системы электроснабжения добывающей скважины несложная. В ней можно обозначить основные условия, которые позволят обеспечить рациональное применение электроэнергии. Предполагаемая структура электроэнергетической системы должна включать под-

держание нормального установившегося режим работы сетей высокого напряжения 35–220 кВ. В свою очередь сетевой распределительной компании следует обеспечить соблюдение нормированных технологических норм расхода электроэнергии на её передачу, а нефтегазодобывающее предприятие, соответственно, паспортный коэффициент преобразования электрической энергии в полезную работу [1].

Изучив потребление электроэнергии основных узлов установки электроцентробежного насоса, можно сделать вывод о том, что основной вклад в формирование потерь при добыче нефти вносят непосредственно электроцентробежный насос (44 %) и погружной электродвигатель (19 %). Следует учесть, что коэффициент полезного действия УЭЦН как энергетической установки составляет 30 %.

Основные факторы, обуславливающие эффективность внедрения умных сетей, позволят:

- Увеличить долю потенциального фонда для внедрения данной технологии;
- Оптимизировать режим работы без смены УЭЦН;
- Автоматизировать реагирование режима на изменение показателей;
- Контролировать ключевые элементы эксплуатации УЭЦН;
- Минимизировать возможные субъективные ошибки, относящиеся к человеческому фактору.

В последние годы в России активно развивается направление по импортозамещению. Так, в нашей стране развиваются несколько компаний в области умных сетей. Для примера в данной работе рассмотрена Федеральная сетевая компания. ОАО «ФСК ЕЭС» — оператор Единой национальной электрической сети является источником спроса на инновации в области электротехнического оборудования, технологий передачи электроэнергии и энергосбережения. В энергосистеме с активно-адаптивной электросетью общая система автоматизированного управления в режиме реального времени на основе текущих режимных параметров обеспечивает оптимизацию работы как собственно сети, так и субъектов рынка электроэнергии за счет адаптивных алгоритмов, предоставляя соответствующие рекомендации и управляющие воздействия. Кроме того, интеллектуальная сеть насыщается активными элементами, позволяющими в зависимости от ситуации изменять физические характеристики сети, увеличивать её пропускную способность и регулировать качество поставляемой электроэнергии.

Изучение технологий построения действующих электрических сетей посредством технологии Smart Grid для перехода к интеллектуальной электроэнергетической системе на месторождениях нефти и газа позволит решить вопросы энергоэффективности и электроснабжения при переходе от существующей (базовой технологии) к новой с минимальными издержками.

Список использованной литературы

1. Барбашов, И. В. Электрические сети электроэнергетических систем: монография / А. А. Виноградов, Е. К. Федотова. — Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2016. — 143 с.
2. Нефтегазопромысловое оборудование. Электроцентробежный насос: Методические указания к практическим занятиям / СанктПетербургский горный университет. Сост.: Д. Г. Петраков, К. С. Купавых. СПб, 2017. 42 с.
3. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года». URL: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/ (дата обращения 30.03.2020).
4. Smart Grid. Умные Сети. Интеллектуальные сети электроснабжения. URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Smart_Grid_\(Умные_Сети\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Smart_Grid_(Умные_Сети)) (дата обращения 30.03.2020).

Шаймарданов А. Ф.¹, Евдокимов А. А.²

^{1,2}БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Методика анализа эффективности ветровых установок в системах изолированных поселений

г. Сургут

Аннотация: В изолированных поселениях Российской Федерации себестоимость электроэнергии в несколько раз превышает стоимость энергии в ЕЭС; зачастую бытовая нагрузка в таких поселениях покрывается за счёт дизельных генераторов. В подобных ситуациях есть возможность снижения затрат на покупку топлива за счёт применения ветровых установок малой мощности, оптимизированных под конкретные условия региона.

Ключевые слова: изолированные электрические системы, ветродизельный комплекс, ветровые установки малой мощности

Shaimardanov A. F.¹, Evdokimov A. A.²

^{1,2}Surgut state University, Surgut

Method of analysis of the efficiency of wind plants in the isolated settlements systems

Surgut

Abstract: In isolated settlements the cost of electricity is several times higher than the cost of energy in the UES; often the load in such settlements is covered by diesel generators. In such situations, it is possible to reduce the cost of buying fuel through the use of low-power wind turbines optimized for the specific conditions of the region.

Keywords: isolated electrical systems, wind-diesel complex, low-power wind turbines

На данный момент в Российской Федерации на технологически изолированных территориях проживают около 20 миллионов человек, в основном в удалённых поселениях Сибири и Дальнего Востока [7]. Высокие цены на электроэнергию в подобных поселениях связаны со стоимостью закупки и доставки дизельного топлива.

Теоретически эти затраты возможно снизить за счёт применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ), не связанных с поставками топлива. В данной работе будет оценена эффективность вертикально-осевой ветровой установки, в первую очередь — максимально допустимых удельных капиталовложений, руб/кВт. Расчёт будет проводиться на примере села Корлики. Корлики — небольшое изолированное поселение на востоке Нижневартовского района; доставка грузов возможна только в период речной навигации летом.

Согласно данным, полученным из тендера №0187300010320000322 («Оказание услуг по перевозке грузов внутренним водным транспортом в населенные пункты Нижневартовского района: с. Корлики, д. Сосновый Бор, с. Ларьяк в навигацию 2020 года»), речная навигация возможна с мая по 30 сентября, три раза за год. Протяженность рейса от г. Нижневартовска до с. Корлики — 714 км. Часы стоянки — 64 часа за круговой рейс. Стоимость перевозок всех грузов — 3 769 256 рублей.

- 1 рейс: срок исполнения — май, количество груза — 80,5 т (57 477 тонно-километров);
- 2 рейс: срок исполнения — июнь, количество груза — 85 т (60 690 тонно-километров);
- 3 рейс: срок исполнения — сентябрь, количество груза — 87,5 т (62 475 тонно-километров);

Согласно данным из того же источника, стоимость перевозки одного тонно-километра равна 16,11 рублей. Итоговая стоимость доставки всего необходимого топлива (на 2020 год) — 264 558 рублей.

Стоимость закупки дизельного топлива оценена с помощью данных тендера №44651742 («Поставка ГСМ в населенный пункт Корлики Нижневартовского района ХМАО-Югры»). Согласно источнику, стоимость закупки одной тонны дизельного топлива составляет 59 300 рублей. Объёмы закупок на зимний период составляют 23 тонны дизельного топлива. Итоговая стоимость закупки топлива составляет 1 363 900 рублей.

Суммарная стоимость обеспечения с. Корлики топливом на зимний период 2020 года составляет примерно 1 628 458 рублей.

Стоимость одного литра дизельного топлива, доставленного в с. Корлики составляет:

$$C_{уд} = C_{ном} + C_{дост} = C_{ном} + \frac{l \cdot C_{т/км} \cdot \rho}{1000}, \quad (1)$$

где $C_{уд}$ — цена дизельного топлива, руб/л; $C_{ном}$ — цена покупки дизельного топлива, руб/л; $C_{дост}$ — цена доставки дизельного топлива, руб/л; l — расстояние до пункта доставки; $C_{т/км}$ — стоимость тонно-километра; ρ — плотность топлива ($\approx 0,86$ кг/л).

Согласно формуле (1) стоимость одного литра дизельного топлива равна 69,19 руб.

Объёмы потребляемой электрической энергии могут быть найдены в Схеме и программе развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2024 года [6]. Согласно этому документу объём выработанной электроэнергии за 2018 год составил 2099686 кВт*ч. Согласно тому же документу электроснабжение поселения осуществляется с помощью 4 дизельных генераторов, общей установленной мощностью 1640 кВт (табл. 1), располагаемая мощность — 969 кВт. Износ части генераторов превышает 70%.

Таблица 1

Генерирующие мощности по состоянию на 1 января 2019 года

Марка, модель оборудования, тип генератора		Мощность электростанции, кВт	Техническое состояние
		Установленная	
ADV-320, Volvo №1	Magnapuls 433CSL6220 №4335–11006, 2011 г	320	исправен
ADV-320, Volvo №2	Magnapuls 433CSL6220 №4335–11010, 2011 г	320	исправен
ADV-500, Volvo №1	Marelli MB17591, 2014 г	500	исправен
ADV-500, Volvo №2	Marelli MB17595, 2014 г	500	исправен
Итого		1640	

Согласно данным изготовителя, потребление топлива генератора ADV-320 составляет 59,6 л/ч.

Стоимость электроэнергии равна стоимости топлива, расходуемого для получения 1 кВт*ч с помощью генератора ADV-320:

$$C_{\text{кВт*ч}}^{\text{диз}} = C_{\text{уд}} \frac{S_{75}}{0,75 P_n} / \eta, \quad (2)$$

где $C_{\text{кВт*ч}}^{\text{диз}}$ — стоимость израсходованного топлива на единицу энергии, руб/кВт*ч; $C_{\text{уд}}$ — цена дизельного топлива, руб/л; S_{75} — расход топлива дизельного генератора ADV-320 при 75% нагрузки, л/ч; P_n — номинальная мощность генератора, кВт; η — КПД работы генератора по сравнению с изначальным состоянием (выбрано $\approx 0,8$).

Согласно формуле (1) стоимость одного кВт*ч равна 21,47 руб. Соответственно, годовая экономия на закупках топлива (годовой доход) при использовании комплекса ВЭУ со среднегодовой мощностью 1 кВт составляет 188 077 рублей.

Следует заметить, что были сделаны следующие допущения: не учтён вес тары при перевозке; КПД генератора выбран большим, чем обычно показывает практика; не учтена себестоимость энергии, произведенной генераторами другого типа; стоимость закупки и доставки дизельного топлива может быть несколько иной, чем указано в документации тендера.

Для обеспечения экономической эффективности стоимость электрической энергии, производимой ВЭУ, должна быть ниже вычисленного значения.

$$C_{\text{кВт*ч}}^{\text{ВЭУ}} < 21,47 \frac{\text{руб}}{\text{кВт*ч}}, \quad (3)$$

Себестоимость производства электроэнергии зависит от капиталовложений на сооружение ВЭУ и суммарных годовых издержек, в зависимости от величины среднегодовой мощности ветроустановки. Мощность ВЭУ зависит, в первую очередь, от скорости ветра в месте установки. Данные о скорости и направлении ветра могут быть получены из архивов ближайших метеостанций.

Таблица 2

Средняя и максимальная скорость ветра в 2018 году

Период	Средняя скорость, м/с	Максимальная скорость, м/с
Январь	1,84	10
Февраль	1,06	11
Март	2,55	18
Апрель	2,35	15
Май	2,06	12
Июнь	2,07	17
Июль	2,16	12
Август	2,05	14
Сентябрь	1,82	17
Октябрь	2,28	19
Ноябрь	2,06	15
Декабрь	1,96	12
Год	2,02	-

Сооружение ВЭУ большой мощности невозможно. ВЭУ малой мощности должны отвечать следующим критериям: низкая стартовая скорость ветра, малые капитальные затраты и годовые издержки, защита от оледенения.

Количество вырабатываемой за год энергии зависит от конструкции ветротурбины, характеристик генератора ВЭУ и реального распределения скорости ветра в течение времени.

Вырабатываемая мощность в конкретный момент времени зависит от напряжения и тока в обмотках якоря генератора ВЭУ [1]. Эти величины зависят, в свою очередь, от напряженности переменного магнитного поля в зазоре и скорости вращения ротора. Скорость вращения ротора зависит от момента сил, создаваемого ветром на роторе ветротурбины (который, в свою очередь, связан с разностью давлений воздуха на профиле лопасти и вызываемых этим подъемной силой и деформацией). Таким образом, в первую очередь мощность ВЭУ зависит от скорости ветра и геометрических характеристик лопастей.

Доля энергии, извлекаемой из ветра, характеризуется коэффициентом мощности C_p и быстроходностью Z [2].

$$C_p = \frac{A}{W} = 4 \frac{V_2}{V_1} \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right)^2; \quad (4)$$

A — работа лопастей ВЭУ; W — работа потока ветра перед турбиной; V_2 — скорость ветра за турбиной; V_1 — скорость ветра перед турбиной.

Величина C_p напрямую связана с моментом на валу ротора. Считается, что для вертикально-осевых ВЭУ C_p не превышает 0,4.

$$Z = \frac{\Omega \cdot R}{V}; \quad (5)$$

Ω — угловая скорость вращения турбины; R — радиус турбины (самых удалённых точек лопасти от оси вращения); V — скорость ветра перед турбиной.

Для каждой ВЭУ строится график зависимости $C_p(Z)$. C_p принимает максимальное значение при некотором Z_{opt} , зависящем от параметров ветротурбины и генератора.

Мощность ВЭУ можно рассчитать как:

$$P = M \Omega \eta_{эл} \eta_{мех} \eta_{пр} = C_p \frac{\rho \cdot v^3}{2} S \eta_{эл} \eta_{мех} \eta_{пр}; \quad (6)$$

M — момент вращения турбины; ρ — плотность воздуха; v — скорость потока воздуха; S — площадь сечения потока воздуха; $\eta_{эл}$ — КПД генератора; $\eta_{мех}$ — КПД системы передачи момента на вал ротора; $\eta_{пр}$ — КПД прочих систем (аккумуляторной батареи, инвертора и т. д. [4]).

С помощью моделирования возможно вычисление значений для M и Ω , однако для предварительных оценочных расчетов лучше задаться приближенными значениями S , C_p и $\eta_{эл,мех,пр}$ [3, 8]. В качестве используемой ВЭУ рассматриваются вертикально-осевые ВЭУ, представленные на рынке («Sokol Air», «Falcon Euro» и т. д. [9]).

$$P = 0,15 \frac{1,2 \cdot 2,02^3}{2} * 6,24 * 0,7 * 0,7 * 0,6 = 1,36 \text{ кВт}; \quad (7)$$

Отдельно следует заметить, что значительную часть времени ВЭУ не будет вращаться из-за того, что момента сил, создаваемого ветром на турбине, не будет хватать, чтобы превысить момент сопротивления вала ротора. Минимальный момент (и, соответственно, скорость ветра), при котором начинается вращение, может быть найден при моделировании. При предваритель-

ной оценке можно считать, что примерно в 11% случаев скорость ветра опускалась ниже 1 м/с (по данным метеостанции «Корлики»).

Применение выбранного варианта обеспечит среднегодовую мощность примерно 1,21 кВт, при капиталовложениях в непосредственно ветровую установку от 240 до 270 тысяч рублей.

Сопутствующие капиталовложения:

- инвертор мощностью 5 кВт — 90 650 рублей;
- аккумуляторные батареи общей емкостью 550 А*ч (6,6 кВт*ч) — 83 250 рублей;
- доставка (речным транспортом на расстояние 714 км при стоимости 16,11 рублей т*км) — 3 427 рублей;
- строительно-монтажные работы — от 150 000 до 300 000 рублей.

Суммарные капиталовложения K составят 567,3–747,3 тыс. руб. Годовые издержки при норме $\lambda = 0,05$:

$$И = \lambda K, \quad (8)$$

составляют 28,36–37,36 тыс. руб.

Приведенные затраты, согласно типовой методике:

$$З = C + E_{\text{н}} K \quad (9)$$

$E_{\text{н}}$ — нормативный коэффициент эффективности (принято 0,12 для ВЭУ); C — сумма текущих производственных затрат.

Приведенные затраты составляют примерно 96–127 тыс. руб.

Годовой доход от использования ВЭУ можно рассчитать по формуле:

$$Д = P^{\text{ВЭУ}} C_{\text{кВт*ч}}^{\text{диз}} * 8760 \quad (10)$$

Годовой доход от использования ВЭУ составляет 229 тыс. руб.

Срок окупаемости проекта:

$$T = \frac{K}{Д - И}, \quad (11)$$

составляет 2,82–3,89 года.

Вывод: оценена возможность применения ВЭУ для снижения расходов на обеспечение дизельным топливом удаленного поселения. Окупаемость проекта составляет менее десяти лет. Капиталовложения составляют до 747,3 тыс. руб.

Список использованной литературы

1. Вольдек А. И., Попов В. В.: Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов / Вольдек А. И., Попов В. В. — СПб.: Питер, 2010. — 350 с.
2. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И.: Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика: Учебник / Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. — Харьков: нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. — 519 с.
3. Лукутин Б. В., Климова Г. Н. Исследование работы инверторной дизельной электростанции на частичных характеристиках дизеля // Электричество. — 2009. — № 12. — С. 41–44.
4. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А.: Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учебное пособие / Лукутин Б. В., Муравлев И. О.,

Плотников И. А. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. — 128 с.

5. Пронин Н. В., Мартянов А. С. , Модель ветрогенератора ВЭУ-3 в пакете MATLAB/Пронин Н. В., Мартянов А. С. // Энергетика. — 2012. — № 18. — С. 143–146.

6. Схема и программа развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2024 года : ввод в действие с 1 января 2020 года — Ханты-Мансийск.

7. Харитонов В. П.: Автономные ветроэлектрические установки: / Харитонов В. П.: — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. — 280 с.

8. Шутов Е. А., Плотников И. А., Лушников С. С., Эффективность ветро-дизельной электрической станции на территории Томской области / Шутов Е. А., Плотников И. А., Лушников С. С. // Энергобезопасность и энергосбережение. — 2011. — № 4. — С. 16–18.

9. Сайт компании ЮСТ United Smart Technologies: [сайт]. URL: <http://ust.su/solar/catalog/windmills>

Г. В. Иванов¹, Е. Ю. Кислицин², Е. Г. Кондрашкина², М. В. Рыжаков⁴

¹Сургутский государственный университет, г. Сургут

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

³Сургутский государственный университет, г. Сургут

⁴Сургутский государственный университет, г. Сургут

Обеспечение электрической энергией электроприемников систем противопожарной защиты общественных зданий от возобновляемых источников энергии

г. Сургут

Аннотация: Предложен вариант внедрения в системы электроснабжения общественных зданий возобновляемых источников энергии (ВИЭ), что позволяет выполнить требования ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ. Из общего числа электроприемников здания выделена группа, электроснабжение которой возможно перевести на отдельный источник питания, основанный на использовании ВИЭ.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, система электроснабжения общественных зданий, распределительное устройство.

Ivanov G. V.¹, Kislicin E. Yu.², Kondrashkina E. G.³, Ryzhakov M. V.⁴

¹ Surgut state University, Surgut

² Surgut state University, Surgut

³ Surgut state University, Surgut

⁴ Surgut state University, Surgut

Ensuring electric energy to electric receivers of systems of fire protection of public buildings from renewable energy sources

Surgut

Abstract: The proposed option of introducing the power supply system of public buildings renewable energy sources (RES), which allows fulfilling the requirements of the Federal Law "On energy saving and increasing energy efficiency and amending certain legislative acts of the Russian Federation" dated November 23, 2009 No. 261-FL. Of the total number of building electrical receivers, a group has been identified whose power supply can be transferred to a separate power source based on the use of renewable energy sources.

Keywords: renewable energy sources, power supply system for public buildings, switchgear.

Системы электроснабжения общественных зданий проектируются исходя из требований, предъявляемых к электробезопасности и надежности электроснабжения электроприемников. Кроме того, схемы вводно-распределительных устройств или главных распределительных щитов (ВРУ, ГРЩ), предназначенных для приема электроэнергии от городской сети и распределения ее по потребителям здания, выбираются:

– по строению схемы внешнего электроснабжения. Например, если категория надежности электроснабжения проектируемого здания не ниже второй, применяются ВРУ или ГРЩ

на два ввода, чаще всего двухсекционные: каждая секция запитана от своего ввода, переключение между источниками питания осуществляется на вводе ВРУ или ГРЩ. Питание секций ВРУ или ГРЩ осуществляется от независимых источников питания энергосистемы;

– по наличию в здании электроприемников систем противопожарной защиты (СПЗ), которые относятся к электроприемникам первой категории надежности электроснабжения. К электрооборудованию систем противопожарной защиты (СПЗ) относятся: средства обеспечения деятельности подразделений пожарной охраны, системы обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, аварийное освещение на путях эвакуации, автоматическое пожаротушение, системы дымоудаления, внутреннего противопожарного водопровода, лифты для транспортирования подразделений пожарной охраны.

Питание электроприемников СПЗ осуществляется от панели противопожарных устройств (панель ППУ) [3]. При наличии в здании встроенной или пристроенной трансформаторной подстанции питание панели ППУ осуществляется двумя отдельными взаимно резервирующими линиями от распределительного устройства низкого напряжения трансформаторной подстанции. В противном случае панель ППУ подключается от линий, питающих ВРУ или ГРЩ здания, до аппарата защиты на вводе ВРУ или ГРЩ [2].

Такая схема системы электроснабжения позволяет обеспечить электроснабжение СПЗ при снятии напряжения со всех электроустановок здания, путем прекращения питания распределительных панелей ВРУ или ГРЩ.

Если при аварийной ситуации (пожаре) отключить отдельно распределительные панели не получается, отключают питающие высоковольтные линии при встроенной трансформаторной подстанции или питающие линии низкого напряжения (от трансформаторной подстанции) при ВРУ или ГРЩ в здании. Такое отключение приводит к прекращению электроснабжения электроприемников СПЗ (панели ППУ). Исправить эту ситуацию возможно применением независимого от энергосистемы резервным источником питания. Чаще всего таким источником питания является дизель-генератор.

Однако практика показала, что в некоторых случаях использование дизель-генераторов может быть неэффективным, поскольку они не работали в периоды крупных бедствий. Так было, например, во время Урагана Сэнди в больнице Кони-Айленда была затруднена эвакуация пациентов из-за отсутствия функционирующих дизель-генераторов. Отказ дизель-генераторов возможен в результате нарушений порядка проведения технического осмотра, отсутствия достаточного количества топлива.

Таким образом, энергетическая устойчивость систем электроснабжения общественных зданий стала жизненно важной в последние годы.

Одним из решений этой проблемы может быть внедрение в системы электроснабжения возобновляемых источников энергии для питания маломощных электроприемников СПЗ (системы дымоудаления, аварийного освещения). Кроме того, к этим источникам питания можно подключить часть приборов наружного освещения территории здания, что позволит повысить эффективность применения ВИЭ.

Рассмотрим возможность построения системы электроснабжения с интегрированным в неё ВИЭ на примере многофункционального комплекса в г.Сургуте Ханты-Мансийского автономного округа — Югры.

Внешние размеры здания — 54,28x19,5 м, высота здания — 33,050 м.

Выбор мощности источника питания электроприемников необходимо начинать с определения расчетной нагрузки.

Согласно расчету электрических нагрузок, мощность рассматриваемых электроприемников составляет:

- аварийное освещение — 2,5 кВт;
- система дымоудаления — 5,5 кВт;
- приборы наружного освещения прилегающей территории — 2,0 кВт.

Технические решения реализации проекта:

- панель ППУ на два ввода: один ввод от ВРУ здания, второй от автономного источника питания;
- установка собственного источника питания, включающего в себя солнечные батареи, накопители электрической энергии, инвертор.

В ходе подготовки материала был выполнен расчет мощности солнечных батарей и объема электрической энергии вырабатываемой проектируемой электростанцией.

Мощность солнечных батарей, необходимых для получения необходимого количества электрической энергии:

$$P_{сб} = \frac{P_p}{\eta},$$

где $P_{сб}$ — мощность солнечных батарей, кВт;

P_p — расчетная мощность электроустановки, кВт;

η — коэффициент полезного действия солнечной батареи.

Электрические характеристики фотоэлектрических модулей (мощность, напряжение, ток) имеют первостепенную важность, но при их выборе нельзя не обращать внимание и на такие параметры, как габариты, конструктивное исполнение, вес.

Энергия, вырабатываемая модулем мощностью P_w в течение выбранного периода времени определяется по выражению [1]:

$$W = \frac{kEP_w}{I},$$

где k — коэффициент поправки на потери мощности фотоэлектрических элементов, нагреваемых солнцем, учитывающий наклонное попадание лучей на их поверхность в течение дня;

E — инсоляция за выбранный период;

I — среднее значение интенсивности солнечного излучения, кВт/м².

Зная суммарную мощность солнечных батарей системы, можно найти количество солнечных батарей, разделив ее на мощность одной солнечной батареи.

Кроме того, был выполнен выбор преобразователя напряжения системы — инвертора. Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в переменное напряжение с частотой 50 Гц, которое затем можно использовать для питания нагрузки.

Мощность преобразователя определяется нагрузкой электроприемников с учетом коэффициента запаса, учитывающего увеличение мощности при включении.

В качестве собственного источника электроснабжения выбрали промышленную солнечную электростанцию мощностью 50 кВт. Общее количество солнечных батарей 150 шт. Солнечная энергия обеспечивает питание системы освещения и дымоудаления через источник бесперебойного питания. При его разряде питание системы автоматически переводится на резервный источник питания — вводно-распределительное устройство ВРУ-0,4 кВ комплекса.

Для уменьшения нагрузки на сеть в приборах освещения применяем энергосберегающие источники света, обеспечивающие достаточную освещенность при сравнительно невысоком потреблении электрической мощности.

На крышу здания планируется установить 150 солнечных панелей с параметрами выходной мощности 330 Вт при габаритных размерах панели 1950 мм х 990 мм. КПД панелей находится в диапазоне 17–19%. Солнечные панели устанавливаются под углом 70 градусов, что на 9 градусов больше широты города Сургута (61°25'). В этом случае упрощается обслу-

живание панелей, так как снег и осадки не задерживаются на поверхности батарей и естественным ходом сходят вниз.

На основании расчета объема вырабатываемой электрической энергии солнечной электростанцией построен график зависимости объема вырабатываемой электрической энергии от времени года.

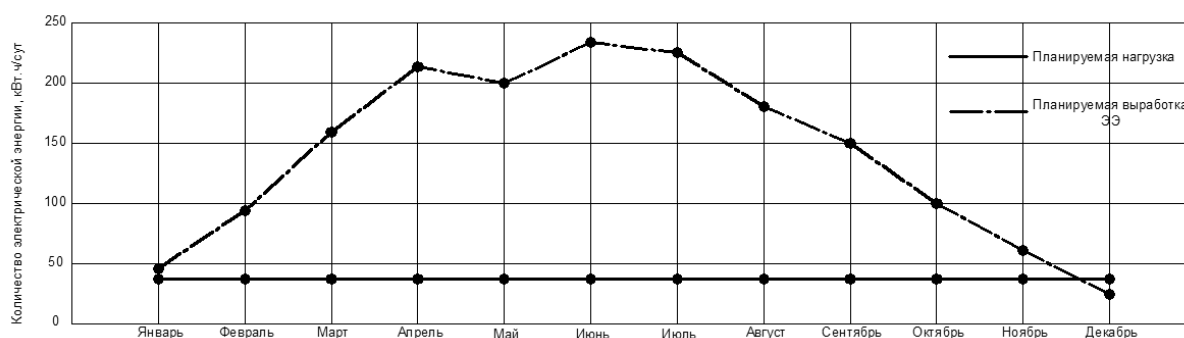


Рис. 1. График зависимости объема вырабатываемой электрической энергии от времени года.

Из представленных результатов расчета следует: предложенный автономный источник электрической энергии для электроснабжения электроприемников систем противопожарной защиты позволит обеспечить электрической энергией указанные электроприемники в течение всего года, в периоды максимальной и минимальной солнечной активности. Возможен дефицит мощности в период с декабря по январь, что можно компенсировать, переключив наружное освещение полностью на питание от ВРУ-0,4 кВ здания. Избыток электрической энергии в летние месяцы можно использовать для электроснабжения сторонних электроприемников, например архитектурного освещения фасада здания.

Представленное техническое решение:

- повысит надежность электроснабжения электроприемников систем противопожарной защиты;
- позволит выполнить требования ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 N 261-ФЗ, поскольку в летние месяцы часть электроприемников здания будет получать питание от солнечной электростанции.

Список использованной литературы

1. Особенности работы тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния в составе электростанции на широте г. Чебоксары / Е. И. Теруков, М. З. Шварц, Е. С. Аронова, Г. П. Охоткин // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы IX Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2011. С. 222–224.
2. Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности: свод правил СП 6.13130.2013 от 21 февраля 2013 года, утвержден приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) N 115.
3. Электроустановки жилых и общественных зданий правила проектирования и монтажа: свод правил СП 256.1325800.2016 от 29 августа 2016 года, утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от № 602/пр и введен в действие с 2 марта 2017 г.

Алиев Д. С.¹

¹Сургутский государственный университет, г. Сургут

Энергосбережение при применении энергоэффективных электродвигателей переменного тока

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассмотрены применения энергосберегающих асинхронных электродвигателей переменного тока. В наше время тема энергосбережения рассматривается на уровне международной и государственной политики. Ежедневно обсуждаются вопросы об ограниченности природных ресурсов, изменениях в климате и прочих проблемах. Постоянный увеличение цен на энергоресурсы прямым образом отражается в производственном процессе любого предприятия. Правильное решение данной проблемы видится в одном — необходимость экономить электроэнергию и проводить мероприятия, способствующие этому.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергосбережение, энергосберегающие асинхронные электродвигатели, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности.

Aliev D. S.¹

¹ Surgut state University, Surgut

Energy saving when using energy efficient ac motors

Surgut

Abstract. This article describes the application of energy saving asynchronous electric motors of alternating current. Nowadays, the topic of energy saving is considered at the level of international and state policy. Issues of limited natural resources, climate change, and other issues are discussed daily. The constant increase in energy prices is directly reflected in the production process of any enterprise. The correct solution to this problem is seen in one thing—the need to save electricity and carry out activities that contribute to this.

Keywords: energy efficiency, energy saving, energy-saving asynchronous electric motors, efficiency coefficient, power factor.

В соответствии с Федеральным законом РФ «Об энергосбережении» на промышленном предприятии должны быть разработаны мероприятия по экономии электроэнергии применительно к каждой электрической установке. В первую очередь это относится к электромеханическим устройствам с электрическим приводом, основным элемент которого электродвигатель.

Известно, что более половины всей производимой электроэнергии в мире потребляется электродвигателями в электроприводах. Поэтому экономия электроэнергии в электроприводах является актуальным.

Задачи энергосбережения требуют оптимального решения не только в процессе эксплуатации электрических двигателей, но и при их проектировании. При эксплуатации электродвигателя потери энергии наблюдаются в переходных процессах и в первую очередь при пуске. Эффективное использование энергетических ресурсов и в первую очередь электрической энергии является одним из основных направлений развития мировой экономики.

Под энергоэффективностью понимается рациональное и эффективное использование энергетических ресурсов, с помощью которого достигается уменьшение потребления электроэнергии при том же уровне нагрузочной мощности.

Освоение и внедрение электродвигателей высокой эффективности устраняет проблему необходимости увеличения установленной мощности электрооборудования и уменьшает выбросов вредных веществ в атмосферу. Кроме того, снижение величины шума и вибрации, увеличение надежности всего электропривода является неоспоримым аргументом в пользу применения энергоэффективных асинхронных электродвигателей переменного тока.

В процессе преобразования электрической энергии в механической энергии, часть энергии теряется в виде тепла в обмотках. Величина потерянной электрической энергии определяется энергетическими показателями электродвигателя. Применение энергоэффективных электродвигателей переменного тока позволяет существенно снизить потребление электрической энергии.

Одним из главных показателей энергоэффективности электродвигателя, является его коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1},$$

где P_2 — полезная мощность на валу электродвигателя,

P_1 — активная мощность, потребляемая электродвигателем из сети,

$\sum P$ — суммарные потери, возникающие в электродвигателе.

Из данной формулы видно, что, чем выше КПД (и соответственно ниже потери энергии), тем меньше энергии потребляет электродвигатель из сети для создания той же самой мощности P_2 .

Электрические двигатели являются основным потребителем энергоресурсов во всем мире. Одним из основных путей повышения экономичности электродвигателей является замена старых электрических машин с низкого коэффициента полезного действия на новые энергосберегающие с улучшенными характеристиками. Это так называемые высокопроизводительные или энергоэффективные электродвигатели.

Энергосберегающим, является электрические двигатели, в котором с применением системного подхода при их проектировании, изготовлении и эксплуатации повышены коэффициент полезного действия η , коэффициент мощности $\cos\varphi$ и надежность его работы при длительном эксплуатации.

На сегодняшний день по международным стандартам разработаны четыре класса энергоэффективности двигателей IE1, IE2, IE3 и IE4. IE означает «International Energy Efficiency Class» — международный класс энергоэффективности.

- IE1 стандартный класс энергоэффективности.
- IE2 высокий класс энергоэффективности.
- IE3 сверхвысокий класс энергоэффективности.
- IE4 максимально высокий класс энергоэффективности.

Ниже приведены кривые зависимости коэффициента полезного действия электродвигателя, соответствующего класса энергетической эффективности, от номинальной мощности.

Наглядное увеличение коэффициента полезного действия асинхронного электродвигателя, благодаря существенному росту коэффициента полезного действия в сравнении со стандартными асинхронными электродвигателями. Энергосберегающие асинхронные электродвигатели позволяют снизить эксплуатационные расходы, экономить электроэнергию и улучшить экологию предотвращая выбросы парникового газа CO_2 в атмосферу.

Начиная с 1 января 2017 года все европейские производители электродвигателей, согласно принятой директиве, будут производить электродвигатели класса энергоэффективности не ниже IE3.

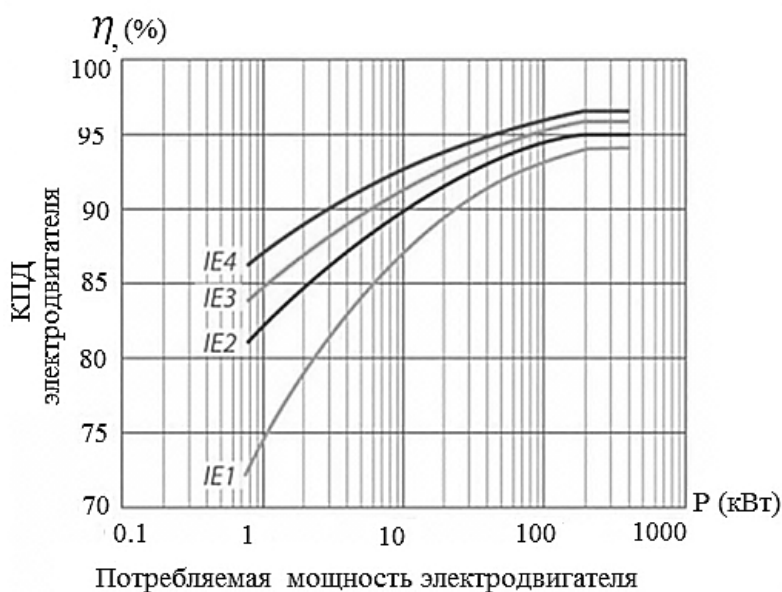


Рис. 1. Зависимость КПД от потребляемой мощности.

Еще одним важным параметром, характеризующим энергоэффективность электродвигателя, является коэффициент нагрузки $\cos\varphi$. Коэффициент нагрузки определяет долю активной мощности в полной, поступающей в электродвигатель из сети.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}}$$

где P – мощность электродвигателя,

S — полная мощность электродвигателя,

$U_{\text{л}}$ — напряжение линейное,

$I_{\text{л}}$ — сила тока линейное.

При этом только активная мощность преобразуется в полезную мощность на валу, реактивная мощность нужна лишь для создания электромагнитного поля. Реактивная мощность поступает в двигатель и возвращается обратно в сеть с удвоенной частотой сети $2f$, создавая тем самым в подводящих линиях дополнительные потери энергии. Таким образом, система, состоящая из двигателей с высокими значениями коэффициента полезного действия, но низкими значениями $\cos\varphi$, не может считаться энергоэффективной.

Переход к применению энергосберегающих электродвигателей позволяет:

- увеличить КПД электродвигателя от 1 до 10%;
- повысить надежность работы электродвигателя;
- уменьшает время простоев;
- уменьшить затраты на техническое обслуживание;
- повысить перегрузочную способность;
- увеличить устойчивость электродвигателя к тепловым перегрузкам;
- поднять устойчивость электродвигателя к ухудшению эксплуатационных условий;
- снижению и завышенному напряжению, искажению формы кривой напряжения, перекосу фаз и т. д.;
- уменьшить уровень шума;
- повысить коэффициент мощности;
- поднять скорость двигателя за счет уменьшения скольжения.

Отрицательным свойством электродвигателей с повышенными коэффициентами полезного действия по сравнению с обычными являются:

- От 10–30% выше стоимость;
- несколько больше масса;
- более высокая величина пускового тока.

С ростом энергоэффективности увеличивается и срок службы электродвигателя. Это объясняется следующим. Источником нагрева двигателя являются потери, выделяемые в обмотках. Потери в электрических машинах, подразделяются на основные, обусловленные протекающими электромагнитными и механическими процессами, и добавочные, обусловленные различными вторичными явлениями.

Не смотря на высокую результативность энергоэффективных решений, на сегодняшний день существует ряд препятствий для распространения энергоэффективных электродвигателей:

1. Замена только одного или двух электродвигателей на целом предприятии является несущественной мерой;
2. Низкий уровень информированности потребителей в области классов энергоэффективности двигателей, их различий и существующих стандартов;
3. Раздельное финансирование на многих предприятиях: распорядитель бюджета на закупки электродвигателей часто является не тем лицом, которое занимается вопросами снижения себестоимости выпускаемой продукции или несет ежегодные расходы на техническое обслуживание;
4. Приобретение электродвигателей в составе комплексного оборудования, производители которого часто в целях удешевления продукции устанавливают электродвигатели низкого качества;
5. В рамках одной компании расходы на приобретение оборудования и на потребление энергии за срок службы часто оплачиваются по разным статьям;
6. На многих предприятиях существуют запасы электродвигателей, как правило, того же типа и того же класса эффективности.

Список использованной литературы

1. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006.
2. Сафонов А. С. Основные мероприятия по повышению энергоэффективности электрооборудования АПК // Тракторы и сельхозмашины. № 6, 2014. С. 48–51. ГОСТ Р 54413–2011.
3. Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE).
4. Сафонов А. С. Применение энергоэффективных электродвигателей в сельском хозяйстве // Труды II Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники», выпуск II. Россия, г. Самара, 7 апреля 2015. ИЦРОН, 2015. С. 157–159.
5. Стандарт IEC 60034–30:2008 Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы КПД односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE).
6. Шумов Ю. Н., Сафонов А. С. Энергоэффективные асинхронные двигатели с медной обмоткой ротора, отлитой под давлением (обзор зарубежных публикаций) // Электричество. № 8, 2014. С. 56–61.
7. Шумов Ю. Н., Сафонов А. С. Энергоэффективные электрические машины (обзор зарубежных разработок) // Электричество. № 4, 2015. С. 45–47.

Хомяков И. В., Шилов А. С., Щеголева С. А.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Анализ элементов для интеграции систем менеджмента предприятий энергетической отрасли

г. Владивосток

Аннотация: В работе доказана актуальность регулирования информационной безопасности предприятий отрасли ТЭК. Показаны возможные пути внедрения системы менеджмента информационной безопасности и ее интеграции с другими системами менеджмента на предприятии. Авторами проведен анализ элементов для интеграции наиболее часто используемых систем менеджмента на предприятиях отрасли ТЭК.

Ключевые слова: интегрированная система менеджмента, информационная безопасность, цифровая энергетика.

Khomiyakov I. V., Shilov A. S., Schegoleva S. A.

Far Eastern Federal University, Vladivostok

Analysis of elements for integration of management systems of energy industry enterprises

Vladivostok

Abstract: The paper proves the relevance of regulation of information security of enterprises in the fuel and energy sector. Possible ways of implementing the information security management system and its integration with other management systems at the enterprise are shown. The authors analyzed the elements for integrating the most frequently used management systems in the fuel and energy sector.

Keywords: integrated management system, information security, digital energy.

В настоящее время стремления к развитию энергосистем в мире набирает обороты, тем самым вынуждая энергосистем к «цифровому переходу» — принципиальной смене внутренней архитектуры и управления. В Российской Федерации единая энергосистема тоже нуждается в реформировании, так как увеличивающаяся неэффективность электроэнергетики становится сдерживающим фактором развития экономики. Стоит отметить, что сегодня данный переход не требует глобальной трансформации, его надо выполнять постепенно.

Цифровизация это актуальная тенденция для повышения эффективности работы отраслей, включая энергетическую. Что же подразумевается под цифровизации электроэнергетики России? Под «Цифрой» принято понимать принципиальную часть архитектуры четвертой промышленной революции, так называемой «Индустрии 4.0».

Даная тенденция не обошла и Российскую Федерацию. Так в 2017 году цифровизация экономики была включена в перечень основных направлений стратегического развития страны до 2025 года. Затем, летом этого же года, правительство утвердило программу «Цифровая экономика», подразумевающую как переход на принципиально иные принципы взаимодействия субъектов, так и развитие российских высокотехнологичных компаний.

Частью цифровой экономики стала цифровая энергетика — программа цифровизации всех отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК): электроэнергетики, нефтегаза и угольной сферы. Куратором данной программы стало Минэнерго.

В итоге для достижения главной задачи по цифровой трансформации энергетики проектом до 2024 года предусмотрен ряд мероприятий по четырем направлениям. Основным является направление по созданию условий для разработки и развития цифровых сервисов и решений. В его рамках предполагается выстроить систему управления, координации и мониторинга цифровой трансформации ТЭК Российской Федерации. Кроме того, планируется создать условия для разработки и развития цифровых сервисов и решений в единой информационной среде. Но прежде всего необходимо государственным управлением и контрольно-надзорной деятельностью обеспечить цифровизацию в отраслях ТЭК.

В результате возникает вопрос о том, как регулировать информационную безопасность на предприятиях отрасли ТЭК, которые начнут переходить на цифровую энергетику. В этом может помочь система менеджмента, а именно система менеджмента информационной безопасности (СМИБ). Для того, чтобы повысить эффективность необходимо провести интеграцию с внедренными уже на предприятиях системами менеджмента, такими как системы менеджмента качества (СМК), системы экологического менеджмента (СЭМ), системы энергетического менеджмента (СЭНМ) и системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья (СМБТиОЗ). В итоге предприятия, осуществившие интеграцию всех этих систем менеджмента, получают ряд преимуществ, которые будут большим плюсом в связи переходом на цифровую энергетику.

В марте 2018 года был выпущен и утвержден международный стандарт ISO 45001:2018 устанавливающий требования к системе менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. В результате для предприятий, внедривших OHSAS 18001:2007, был установлен трехлетний переходный период до марта 2021 года. В настоящее время предприятия должны перестроить свою систему менеджмента безопасности труда и охраны здоровья на соответствие ISO 45001:2018.

Отсюда следует, что интегрированные системы менеджмента с СМИБ OHSAS 18001:2007, должны быть актуализированы в связи с опубликованным международным стандартом ISO 45001:2018. Однако проведение актуализации интегрированной системы менеджмента не должно стать проблемой в основном для тех предприятий, у которых она была основана на интеграции с ISO 14001, так как международной организацией по стандартизации был разработан ISO 45001 на основе ISO 14001 [5].

На сегодня идентичного национального стандарта в РФ международному стандарту ISO 45001:2018 — нет, но действует ГОСТ Р 54934–2012/OHSAS 18001. Также в электронных источниках встречаются его не официальные переводы на русский язык. Наиболее встречаемыми являются переводы А. Горбунова и В. А. Качалова, которые мы использовали для анализа элементов интеграции систем менеджмента [6, 7].

В табл. 1 представлен анализ элементов для интеграции СМК, СЭМ, СМБТиОЗ, СЭНМ и СМИБ по национальным стандартам ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ Р ИСО 14001, ГОСТ Р ИСО 50001, ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 и переводу В. А. Качалова международного стандарта ISO 45001:2018.

Из проведенного анализа можно видеть, что анализируемые системы менеджмента имеют не малую часть элементов для интеграции. Например: политику, ответственность руководства, документированную информацию, внутренний аудит и т. д. Системы менеджмента качества, экологии и безопасности труда и охраны здоровья имеют почти полностью идентичную структуру, что позволит с лёгкостью интегрировать эти стандарты.

Таблица 1.
Анализ элементов для интеграции СМК, СЭМ, СМБТиОЗ, СЭнМ и СМИБ по национальным стандартам ГОСТ Р ИСО 9001, ГОСТ Р ИСО 14001, ГОСТ Р ИСО 50001, ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001 и переводу В. А. Качалова международного стандарта ISO 45001:2018 [14, 7]

Наименование подраздела, пункта						Элементы для интеграции
по ГОСТ Р ИСО 9001	по ГОСТ Р ИСО 14001	по ГОСТ Р ИСО/ МЭК 27001	по ISO 45001:2018	по ГОСТ Р ИСО 50001		
1	2	3	4	5	6	
4.1 Понимание организации и ее среды	4.1 Понимание организации и ее среды	-	4.1 Понимание организации и ее контекста	-	Единая система мониторинга и анализа информации о внешних и внутренних факторах, влияющих на стратегические направления, цели и результаты деятельности организации в области качества и экологии	
4.2 Понимание потребностей и ожиданий заинтересованных сторон	4.2 Понимание потребностей и ожиданий заинтересованных сторон	-	4.2 Понимание потребностей и ожиданий работников и других заинтересованных сторон	-	Единая система мониторинга и анализа информации о заинтересованных сторонах организации, их требованиях, потребностях и ожиданиях, а также совместная процедура определения требований к выходным параметрам потока создания ценности, направленным на удовлетворение заинтересованных сторон	
4.3 Определение области применения системы менеджмента качества	4.3 Определение области применения системы экологического менеджмента	4.2.1 Разработка системы менеджмента информационной безопасности (а)	4.3 Определение области применения системы менеджмента БТиОЗ	4.1 Общие требования	Установленные границы СМК, СЭМ, СМИБ, СМБТиОЗ и СЭнМ, и элементы для их интеграции, периодический анализ на наличие конфликта интересов, противоречий, дублирования функций и документации и т. д	
4.4 Система менеджмента качества и ее процессы	4.4 Система экологического менеджмента	4.1 Общие требования	4.4 Система менеджмента БТиОЗ	4.1 Общие требования	Единая система взаимосвязанных процессов СМК, СЭМ, СМИБ, СМБТиОЗ и СЭнМ, включая описывающую их документированную информацию и управление ими	

Наименование подраздела, пункта						Элементы для интеграции
по ГОСТ Р ИСО 9001	по ГОСТ Р ИСО 14001	по ГОСТ Р ИСО/ МЭК 27001	по ISO 45001:2018	по ГОСТ Р ИСО 50001		
1	2	3	4	5	6	
5.1.1 Общие положения	5.1 Лидерство и приверженность	5.1 Обязательства руководства	5.1 Лидерство и приверженность	4.2.1 Высшее руководство	Применение высшим руководством единых подходов, способов и механизмов демонстрации лидерства, приверженности и взятых обязательств в отношении СМК, СЭМ, СМИБ, СМБТиОЗ и СЭнМ, (включая целеполагание, интеграцию требований в бизнес-процессы, обеспечение ресурсами и т. д.)	
5.2 Политика	5.2 Экологическая политика	4.2.1 Разработка системы менеджмента информационной безопасности (b)	5.2 Политика в области БТиОЗ	4.3 Энергетическая политика	Единая политика либо согласованные политики СМК, СЭМ, СМИБ, СМБТиОЗ и СЭнМ, а также единые способы доведения политик до персонала организации	
5.3 Функции, ответственность и полномочия в организации	5.3 Функции, ответственность и полномочия в организации	-	5.3 Обязанности, ответственность и полномочия в организации	4.2.2 Представитель руководства	Единые механизмы и процедуры определения, доведения до сведения работников организации обязанностей, ответственности, полномочий и соответствующих функций	
6.1 Действия в отношении рисков и возможностей	6.1.1 Общие положения и 6.1.4 Планирование действий	4.2.1 Разработка системы менеджмента информационной безопасности (с-h); 4.2.2 Внедрение и функционирование системы менеджмента информационной безопасности (a-c)	6.1.1 Общие положения, 6.1.2 Выявление (идентификация) опасностей и оценка рисков и возможностей (кроме 6.1.2.1), 6.1.4 Планирование действий	-	Единая процедура (методика) управления рисками в организации, согласованные между собой действия в отношении рисков и возможностей	

Наименование подраздела, пункта					Элементы для интеграции
по ГОСТ Р ИСО 9001	по ГОСТ Р ИСО 14001	по ГОСТ Р ИСО/ МЭК 27001	по ISO 45001:2018	по ГОСТ Р ИСО 50001	
1	2	3	4	5	6
6.2 Цели в области качества и планирование их достижения	6.2 Экологические цели и планирование их достижения	-	6.2 Цели в области БТиОЗ и планирование их достижения	4.4.6 Энергетические цели и задачи и планы мероприятий по энергетическому менеджменту	Общие единые цели организации, сбалансированные цели в области качества, экологии, БТиОЗ и энергетики. Единая процедура по установлению, каскадированию, мониторингу целей организации, а также мотивации работников к их достижению
7.1 Ресурсы	7.1 Ресурсы	5.2.1 Обеспечение ресурсами	7.1 Ресурсы	-	Совместное управление ресурсами, а именно единая процедура принятия решений по управлению ресурсами, единая процедура согласования по обеспечению, распределению ресурсов (человеческие ресурсы, инфраструктура, среда для функционирования процессов, ресурсы для мониторинга и измерений)
7.2 Компетентность	7.2 Компетентность	5.2.2 Подготовка, осведомленность и квалификация персонала	7.2 Компетентность	4.5.2 Компетентность, подготовка и осведомленность	Общие согласованные перечни компетенций персонала организации, совместные планы обучения, программы и методы обучения
7.3 Осведомленность	7.3 Осведомленность	5.2.2 Подготовка, осведомленность и квалификация персонала	7.3 Осведомленность	4.5.2 Компетентность, подготовка и осведомленность	Общие каналы, способы и методы обеспечения осведомленности, единая система управления осведомленностью персонала
7.4 Обмен информацией	7.4 Обмен информацией	-	7.4 Обмен информацией	4.5.3 Обмен информацией	Общие каналы, способы и методы обмена информацией

Наименование подраздела, пункта					Элементы для интеграции
по ГОСТ Р ИСО 9001	по ГОСТ Р ИСО 14001	по ГОСТ Р ИСО МЭК 27001	по ISO 45001:2018	по ГОСТ Р ИСО 50001	
1	2	3	4	5	6
7.5 Документируемая информация	7.5 Документированная информация	4.3 Требования к документации	7.5 Документируемая информация	4.5.4 Документация	Общие процедуры управления документированной информацией, общие формы представления документированной информации. Единая процедура по созданию, актуализации документированной информации
8.1 Планирование и управление деятельностью на стадиях жизненного цикла продукции и услуг	8.1 Планирование и управление деятельностью	-	8.1.1 Общие положения	4.5.5 Управление операциями	Каскадирование единой системы показателей на процессы и операции, общий план с точки зрения менеджмента качества, экологического менеджмента, менеджмента БТиОЗ и энергетического менеджмента
-	8.2 Готовность к аварийным и другим нештатным ситуациям и ответные действия	-	8.2 Подготовка к аварийным ситуациям и реагирование на них	-	Совместные процедуры управления и реагирования на потенциально возможные чрезвычайные обстоятельства и аварийные ситуации в области экологии и БТиОЗ
9.1 Мониторинг, измерение, анализ и оценка	9.1 Мониторинг, измерение, анализ и оценка	4.2.3 Проведение мониторинга и анализа системы менеджмента информационной безопасности	9.1 Мониторинг, измерения, анализ и оценка показателей деятельности	4.6.1 Мониторинг, измерение и анализ; 4.6.2 Оценка соответствия законодательным и другим требованиям	Общие процедуры мониторинга, измерения, анализа и оценки, единые процедуры сбора данных

Наименование подраздела, пункта					Элементы для интеграции
по ГОСТ Р ИСО 9001	по ГОСТ Р ИСО 14001	по ГОСТ Р ИСО/ МЭК 27001	по ISO 45001:2018	по ГОСТ Р ИСО 50001	
1	2	3	4	5	6
9.2 Внутренний аудит	9.2 Внутренний аудит	6 Внутренние аудиты системы менеджмента информационной безопасности	9.2 Внутренний аудит	4.6.3 Внутренний аудит системы энергетического менеджмента	Общие процедуры проведения внутренних аудитов
9.3 Анализ со стороны руководства	9.3 Анализ со стороны руководства	7 Анализ системы менеджмента информационной безопасности со стороны руководства	9.3 Анализ со стороны руководства	4.7 Анализ со стороны руководства	
10.2 Несоответствия и корректирующие действия	10.2 Несоответствия и корректирующие действия	8.2 Корректирующие действия; 8.3 Предупреждающие действия	10.2 Инцидент, несоответствие и корректирующее действие	4.6.4 Несоответствия, корректирующие и предупреждающие действия	Единая процедура анализа причин несоответствий и разработки корректирующих действий
10.3 Постоянное улучшение	10.3 Постоянное улучшение	8.1 Постоянное улучшение	10.3 Постоянное улучшение	-	Общие формы организации работников для вовлечения в деятельность по постоянному улучшению, совместные проекты по улучшениям

Из всех анализируемых систем менеджмента меньше всего элементов для интеграции имеет СМИБ, но это не делает менее значимым эффект от его интеграции с данными системами менеджмента на предприятиях в отраслях ТЭК.

Таким образом, при переходе к «Цифровой экономике» предприятиям отрасли ТЭК стоит разработать и внедрить систему менеджмента информационной безопасности. Для получения синергетического эффекта от внедрения стоит провести интеграцию СМИБ с другими системами менеджмента на предприятии. Проведенный анализ показал какие элементы системы менеджмента могут быть интегрированы.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 Системы менеджмента качества. Требования — Введ. 2015–11–01. М.: Стандартинформ, 2018. — 32 с.: ил.
 2. 3 ГОСТ Р ИСО 14001–2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению — Введ. 2017–03–01. М.: Стандартинформ, 2018. — 39 с.: ил.
 3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2006 Информационная технология (ИТ). Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования — Введ. 2008–02–01. М.: Стандартинформ, 2008. — 31 с.: ил.
 4. ГОСТ Р ИСО 50001–2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению — Введ. 2012–12–01. М.: Стандартинформ, 2013. — 60 с.: ил.
 5. Все, что нужно знать об ISO 45001 [Электронный ресурс]: новости. URL: <https://www.iso.org/ru/news/ref2271.html> (Дата обращения: 05.04.2020)
 6. Стандарт ISO 45001:2018, перевод для ознакомления [Электронный ресурс]: переводы. URL: [https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-45001-2018-\(rus\).pdf](https://pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-45001-2018-(rus).pdf) (Дата обращения: 06.04.2020)
 7. ISO 45001:2018 [Электронный ресурс]: стандарты ИСО. URL: <http://iso-management.com/wp-content/uploads/2018/12/ISO-45001-2018.pdf> (Дата обращения: 06.04.2020)
-

Москалевич Г. Н.

Минский инновационный университет, г. Минск

Энергетическая безопасность как составная часть общей системы безопасности государства

г. Минск

Аннотация: В статье рассматриваются основные теоретические подходы к определению понятия энергетической безопасности. Предлагается авторское определение энергетической безопасности. Подчеркивается, что энергоресурсы играют чрезвычайно важную роль в повышении качества жизни людей, они имеют огромное значение для энергетической безопасности любой страны. Предлагаются пути управления энергетической безопасностью Республики Беларусь, а также меры, способствующие созданию системы обеспечения энергетической безопасности.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, национальная безопасность, энергоресурсы, стратегия, угрозы.

Moskalevich G. N.

Minsk Innovation University, Minsk

Energy security as an integral part of the state's overall security system

Minsk

Abstract. The article discusses the main theoretical approaches to defining the concept of energy security. The author's definition of energy security is proposed. It is emphasized that energy resources play an extremely important role in improving the quality of life of people; they are of great importance for the energy security of any country. The author suggests ways to manage the energy security of the Republic of Belarus, as well as measures that contribute to the creation of an energy security system.

Keywords: energy security, national security, energy resources, strategy, threats.

Актуальность темы статьи обусловлена той безусловно важной ролью, которую играют энергоресурсы в совершенствовании экономики и повышении уровня жизни граждан в целом.

Сегодня проблемы энергетической безопасности стали одними из самых актуальных и острых. Это связано с тем, что энергоресурсы не только играют чрезвычайно важную роль в повышении качества жизни людей, но они имеют огромное значение и для энергетической безопасности любой страны. Вопросам энергетической безопасности мировое сообщество, а также руководство страны уделяют большое внимание.

Это связано также с тем, что, как справедливо подчеркивает П. В. Шестопалов, способность обеспечить национальную безопасность представляет собой один из главных критериев эффективности деятельности государства [4].

Для Республики Беларусь вопросы энергобезопасности традиционно являются приоритетными, поскольку они представляют собой важнейшую часть системной работы по обеспечению национальной безопасности страны, определяющей развитие экономики, уровня и каче-

ства жизни людей и нашего положения на международной арене. Эта тема находится в сфере постоянного внимания и контроля со стороны руководства страны.

Энергетическая безопасность входит составной частью в концепцию национальной безопасности любого государства. Эффективность и конкурентоспособность национальной экономики напрямую зависит от энергетической безопасности государства. Следует согласиться с мнением Л. Хухлындиной и А. Чиж, что от включения того или иного аспекта деятельности правительства в стратегию национальной безопасности страны зависит степень внимания, которое будет уделяться руководством страны, гражданами, иностранных государств на том или ином направлении, соответственно, в этом же направлении будут осуществляться определенные меры по укреплению национальной безопасности [3, с. 92].

Необходимо отметить, что в понятие энергетической безопасности страны некоторые специалисты вкладывают противоречивый и порой прямо противоположный смысл. Отсутствие единой трактовки связано, на наш взгляд, с глобальным характером термина.

Развитие экономики предполагает преодоление самых разных проблем, которые не решить без энергетики: борьба с низким уровнем жизни, решение медицинских и экологических проблем и многих других. Энергетическая безопасность — составная часть общей системы безопасности.

Понятие энергетической безопасности появилось на официальном уровне после сильнейшего энергетического кризиса 1973 г. Международное энергетическое агентство определило энергетическую безопасность как уверенность в том, что государство будет в состоянии распоряжаться энергией в нужном количестве и качестве — с учетом экономических условий [6].

Разработанная Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. называет энергетическую безопасность одним из главных стратегических направлений деятельности государства. В указанной Стратегии закреплено определение энергетической безопасности как состояния «защищенности страны, ее граждан, общества и экономики от возникающих внешних и внутренних угроз» [5]. Какие именно угрозы возникают — это определяют внешние и внутренние факторы.

Исходя из сказанного, энергетическую безопасность мы определяем, как состояние защищенности наиболее необходимых для жизни потребностей, связанных с возможностью использования энергоресурсов (с целью удовлетворения потребностей, обеспечивающих жизнедеятельность и развитие личности, общества и государства), от внутренних и внешних угроз, направленных на лишение такой возможности.

Под угрозой мы понимаем отсутствие данной защищенности.

Отсутствие доступа к энергетическим ресурсам (имеются данные, что это касается двух млрд. людей) грозит ухудшением названных глобальных проблем. Таким образом, данная проблема выходит далеко за рамки лишь экономических, в том числе торгово-финансовых, и энергетических аспектов. Исходя из этого, особо важным делом является создание в стране механизма энергетической безопасности.

На наш взгляд, создание системы энергетической безопасности зависит от осуществления следующих действий:

- от рационального управления энергетическим потенциалом;
- от поддержания базы энергетических ресурсов.

Для управления энергетической безопасностью Республики Беларусь представляется целесообразным обеспечить:

- мониторинг энергетической безопасности;
- выявление возникающих и прогнозирование появления новых угроз энергетической безопасности;

- поиск наиболее эффективных способов борьбы с угрозами;
- реализация разработанных мероприятий;
- анализ эффективности принятых мер.

С целью повышения эффективности действия системы энергетической безопасности государства российский ученый А. М. Мастепанов предлагает создать технологию, основанную на использовании «сценарных» методов управления [1]. Полагаем, что данная технология может быть достаточно эффективной и в Республике Беларусь.

Для создания системы обеспечения энергетической безопасности необходимо выполнение следующих мер:

- сформировать систему объективных показателей энергетической безопасности. С этой целью нужно собрать и произвести анализ состояния защищенности жизненно важных интересов населения, предприятий, государства в целом в настоящее время и в прогнозируемой перспективе и на основе анализа экспертов сформировать перечень показателей (количественных и качественных индикаторов с указанием связанных с ними угроз) [2];

- для идентификации уже существующих угроз энергетической безопасности провести мониторинг показателей;

- проводить периодический анализ выявленной ситуации и диагностику существующего и ожидаемого уровня энергетической безопасности экспертами;

- определять наилучшие пути устранения проблем и разрабатывать направленные на это комплексы мероприятий;

- – планировать и осуществлять реализацию комплекса мероприятий (с указанием затрат, их источника, сроков, исполнителей), проводить контроль выполнения и анализ эффективности мероприятий;

- – проводить подготовку специалистов, необходимых для обеспечения энергетической безопасности.

- – предотвращение нерационального использования энергоресурсов;

- – разработка и использование в сфере энергоресурсов конкурентоспособного отечественного оборудования;

- – контроль со стороны государства, органов исполнительной власти и местных органов управления за надежным энергоснабжением объектов, обеспечивающих безопасность государства.

Подытоживая сказанное, можно сделать следующие выводы.

Энергетическая безопасность представляет собой один из наиболее важных компонентов системы национальной безопасности любой страны.

Чтобы обеспечить энергетическую безопасность в Республике Беларусь, необходимо решить следующие первоочередные проблемы:

- – изменить структуру потребления энергоресурсов;

- – необходимо соблюдать единство целей и методов государственной энергетической политики и рассматривать это единство как наиболее важное условие обеспечения энергетической безопасности;

- – совершенствовать нормативно-правовую базу; основной целью при этом является устранение и преодоление противоречий, определение круга ответственности и т. д.

Таким образом, подытоживая сказанное, можно сделать вывод, что энергетическая безопасность представляет собой один из наиболее важных компонентов системы национальной безопасности любой страны.

Список использованной литературы

1. Мастепанов А. М. Топливо-энергетический комплекс России на рубеже веков — состояние, проблемы и перспективы развития / Справочно-аналитический сборник. М.: Издательство ИАЦ «Энергия», 2009. Том 1 — 480 с.; Том 2 — 472 с.
 2. Проблемы энергетической безопасности в современном мире. URL: <http://www.ini21.ru/?id=319> (дата обращения: 24.03.2020).
 3. Хухлындина, Л. М., Энергетическая безопасность в системе национальной безопасности государства / Л. М. Хухлындина, А. М. Чиж // Актуальные проблемы международных отношений и глобального развития: сб. науч. ст. Вып. 1 / сост. Е. А. Достанко; редкол.: А. М. Байчоров (гл. ред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2013. С. 90–99.
 4. Шестопалов П. В. Энергетическая безопасность: определение понятия и сущность // Вестник университета. 2014. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energeticheskaya-bezopasnost-kak-sostavlyayuschaya-natsionalnoy-bezopasnosti-gosudarstva> (дата обращения: 30.03.2020).
 5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-п) // Система ГАРАНТ. URL: [energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_\(utv._N1715-p_13.11.09\).doc](http://energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_(utv._N1715-p_13.11.09).doc) (дата обращения: 28.03.2020).
 6. Energy Dictionary/World Energy Council. Paris: Jouve SI, 1992.
-

А. А. Краснюк, Д. П. Антипин

г. Сургут, БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО — Югры»

Моделирование системы электроснабжения объектов нефтедобывающих предприятий и анализ мероприятий по снижению уровней кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех

В статье представлена модель системы электроснабжения нефтедобывающих объектов, разработанная с помощью программного комплекса MatLab. Анализ данных измерений электроснабжающей организации показывает наличие кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех. Проведено моделирование и сравнительный анализ режимов работы сети с использованием различных способов уменьшения гармонических составляющих напряжения.

Известно, что в системе электроснабжения нефтедобывающих предприятий наблюдается неблагоприятная электромагнитная обстановка (ЭМО) [4], [6], связанная с кондуктивными низкочастотными электромагнитными помехами, которые обусловлены наличием нелинейной нагрузки.

На основе алгоритма расчёта вероятностного появления в сетях электроснабжения кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех [1] и результатов производственных измерений показано их наличие на шинах 6–35 кВ.

Так согласно методу определения наличия кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех вероятность их появления не должна превышать 5% [5]. Расчёт показал вероятность появления по коэффициенту 5-й гармоники составил $P(K_{u(5)})=100\%$, и 7-й гармонике составил $P(K_{u(7)})=42\%$, что превышает допустимую вероятность $P_{\text{доп}}(K_{u(n)})=5\%$.

Для анализа мероприятий по улучшению качества электроэнергии в программном комплексе MatLab/Simulink была построена модель системы электроснабжения нефтедобывающих объектов, показанная на рис. 1.

Представленная модель учитывает насыщение силовых трансформаторов и зависимость параметров от нагрузки [2 и ссылки там].

Для повышения качества электроэнергии по параметрам несинусоидальности применяются активные и пассивные фильтры высших гармоник. Смоделирована работа сети с активным и пассивным фильтрами высших гармоник, с целью сравнения эффективности применения каждого из них.

Моделирование проводилось с учетом зависимости сопротивления кабеля от токовой нагрузки и распределённости температуры по длине кабельной линии (КЛ), рассчитанного по следующей формуле [2]:

$$R_{\text{п}} = R_{\text{пров}} * \left[1 + \alpha * \left(t_{\text{в}}(l) - 20 + 8,3 * J^2 * \sqrt{\frac{F}{300}} \right) \right],$$

где $\rho_{\text{Cu}} = 1,95 * 10^{-8} \text{ Ом} * \text{м}$ — удельное сопротивление меди; $F = 35 \text{ мм}^2$ — сечение провода; $J = \frac{I}{F}$ — плотность тока; I — величина тока в проводе линии; l — длина КЛ; $\alpha = 0,0041$ — температурный коэффициент меди

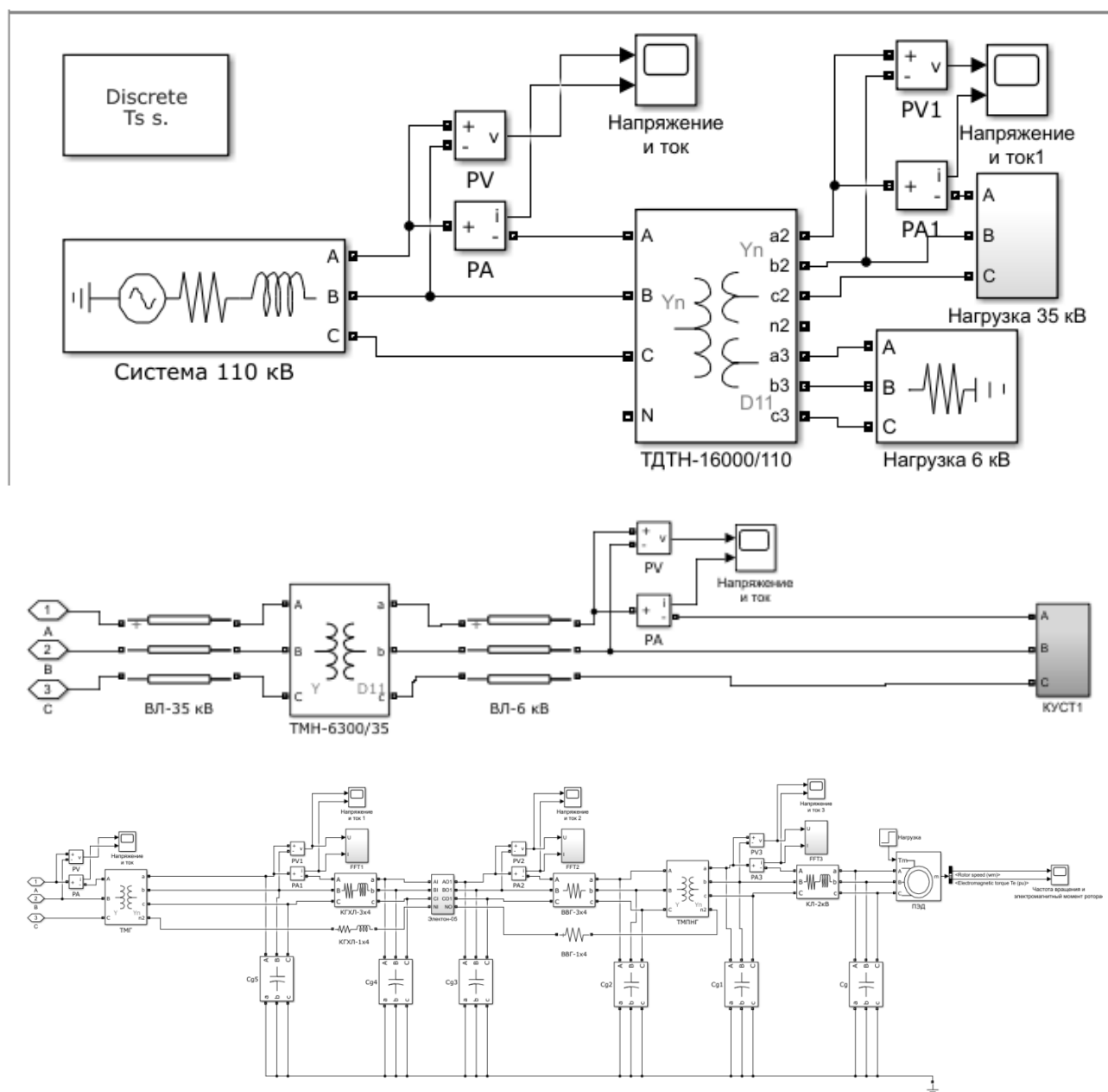


Рис. 1. Модель сети электроснабжения нефтедобывающего объекта.

На шинах 6 кВ рассматриваемой сети подключены непосредственно нефтедобывающие скважины с шинами 35 кВ соединены удаленные нефтяные скважины.

Пассивные фильтры были рассчитаны на 5 и 7 гармонику, так как данные гармоники оказывают наибольшее влияние на качество, вследствие высоких значений, выходящих определяемых ГОСТ [3]. Параметры фильтра, индуктивность и емкость была рассчитана согласно методике [8].

$$C_n = \frac{Q_n}{2\pi f n U_{\phi, \text{ном}}^2}$$

где $Q_n = 1,3 * U_{\phi, \text{ном}} * I_n$ — реактивная мощность n -й гармоники; $U_{\phi, \text{ном}}$ — номинальное фазное напряжение сети; I_n — действующее значение тока n -й гармоники; $f = 50 \text{ Гц}$ — частота сети.

Тогда для резонансного контура пассивного фильтра индуктивность определяется:

$$L_n = \frac{1}{(2\pi f n)^2 C_n}$$

В табл. 1 приведены расчётные параметры фильтров на 5 и 7 гармоники.

Таблица 1

Параметры пассивных фильтров

№ гармоники	C, мкФ	L, мГн
5	1,664	243,54
7	0,3639	568,27

Коэффициент искажения несинусоидальности напряжения был рассчитан по ГОСТу 32144–2013 и через мощность искажений [7]. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов коэффициента несинусоидальности K_U

	Без фильтров	С активным фильтром	С пассивным фильтром
U, кВ	6,5	6,4	6,6
I, А	43,4	61,74	43,88
S, кВА	153,37	204,06	151,13
S_0 , кВА	147,99	204,01	150,38
D, кВА	40,26	4,68	14,96
K_{DU} , %	26,25	2,29	9,90
K_U , %	12,14	1,82	3,08

Где S — полная измеряемая мощность;

S_0 — полная мощность на основной гармонике;

D — мощность искажений;

K_{DU} — коэффициент несинусоидальности, рассчитанный по мощности искажений.

В табл. 3 представлен гармонический состав кривых напряжения и тока до и после применения фильтров.

Применение активного фильтра обеспечивает снижение мощности искажений на порядок, как следствие, в разы уменьшается влияние n-х гармонических составляющих на все элементы исследуемой сети. Из табл. 3 видно, что пассивный фильтр снижает уровень только той гармоники, на которую рассчитан, но в контуре пассивного фильтра может возникнуть резонанс на другой гармонике, что может привести к выходу его из строя или другого оборудования сети.

Активный фильтр дает увеличение тока сети 6–35 кВ, и как следствие, полной мощности, при этом изменение напряжения незначительно. Поэтому в уже действующую сеть 6–35 кВ, рассчитанную на определённые максимальные мощности, установка может быть неприемлема по техническим условиям эксплуатации (допустимые токи). В целом при проектировании или глубокой реконструкции сети применение активных фильтров более эффективно в сравнение с пассивными фильтрами, с точки зрения показателей качества электроэнергии.

Таблица 3

Гармонический состав моделируемой сети на шинах 6 кВ до 20-й гармоники

Напряжение, %			№ гармоники	Ток, %		
Модель	С АФ	С ПФ		Модель	С АФ	С ПФ
100,00	100,00	100,00	1	100,00	100,00	100,00
0,12	0,09	0,05	2	1,25	0,08	1,31
1,43	0,12	0,70	3	6,29	0,21	6,66
0,16	0,12	0,10	4	0,37	0,01	0,50
9,56	0,50	0,29	5	21,93	0,79	1,50
0,23	0,01	0,12	6	0,19	0,01	0,19
3,71	0,79	0,95	7	6,71	0,99	4,09
0,12	0,05	0,06	8	0,15	0,02	0,19
0,83	0,35	0,34	9	1,17	0,31	1,38
0,16	0,06	0,08	10	0,21	0,02	0,18
3,41	0,30	1,65	11	3,00	0,22	3,27
0,17	0,06	0,03	12	0,26	0,01	0,28
2,34	0,36	0,90	13	2,48	0,17	2,56
0,09	0,04	0,05	14	0,14	0,00	0,12
0,87	0,28	0,38	15	0,84	0,17	0,87
0,18	0,04	0,09	16	0,03	0,02	0,05
2,16	0,25	0,87	17	1,12	0,06	1,04
0,19	0,07	0,09	18	0,13	0,00	0,08
1,09	0,12	0,51	19	0,89	0,04	0,90
0,08	0,02	0,05	20	0,02	0,01	0,04

Список использованной литературы

1. Антипин Д. П., Краснюк А. А., Иванов Д. М. Алгоритм расчёта вероятностного появления в сетях электроснабжения нефтедобывающих скважин кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех — Актуальные проблемы автоматизации и энергосбережения в ТЭК России: материалы Всероссийского с международным участием научно-практического семинара. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2018. — 186 с.
2. Герасименко А. А., В. Т. Федин. Передача и распределение электрической энергии / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. — 2-е изд. — Ростов н/Д: Феникс, 2008. — 715 с
3. ГОСТ 32144–2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ) — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.

4. Давыдов М. С., Денчик Ю. М., Иванова Е. В. и др., Экспериментальное исследование гармонического воздействия на электрическую сеть (0,4–2) кВ глубинной скважины добычи нефти — Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока 2016, №3–4 154–160 с.
 5. Данилов, Г. А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников; под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. — 559 с.
 6. Денчик Ю. М., Сальников В. Г. и др., Энергоэффективность систем электроснабжения истощающихся нефтедобывающих скважин — Вестник кибернетики — СурГУ 2016, №1 87–97 с.
 7. Куско, А. Качество энергии в электрических сетях / А. Куско, М. Томпсон. — М.: Додэка Электротехника, 2008. — 336 с.
 8. Лукутин, Б. В. Силовые преобразователи в электроснабжении. Расчет режимов работы выпрямителя: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов спец. 140211 «Электроснабжение» ИДО / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев. — Томск: Изд. ТПУ, 2009. — 28 с.
-

Бурмистрова Е. А.

*БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры
«Сургутский государственный университет», г. Сургут*

Технологический аспект повышения качества функционирования электрических сетей. Анализ электромагнитных процессов в цикле ОАПВ на магистральных ЛЭП

г. Сургут

Аннотация. Произведен анализ электромагнитных процессов на аварийной фазе в цикле ОАПВ магистральных ВЛ. Показано, что применение математической модели, учитывающей распределенность параметров ВЛ, приводит к результатам, отличающимся от общепринятых при оценке параметров тока подпитки и восстанавливающегося напряжения. Такой подход рекомендуется при проектировании магистральных ВЛ 500 кВ.

Ключевые слова: Воздушная линия, короткое замыкание, однофазное автоматическое повторное включение, ток подпитки дуги, аperiodическая составляющая, восстанавливающееся напряжение.

Burmistrova E. A.

Surgut State University, g. Surgut

Technological aspect of quality improvement functioning of electric networks. Analysis of electromagnetic processes in the SPAR cycle on transmission lines

Surgut

Abstract. The analysis of electromagnetic processes in the emergency phase in the SPAR cycle of the main overhead lines is performed. It's shown that the use of a mathematical model that takes into account the distribution of the OHL parameters leads to results that differ from those generally accepted when evaluating the parameters of the seed current and the transient recovery voltage. This approach is recommended when designing 500 kV trunk high-voltage lines.

Keywords: Aerial power line, short circuit. Single-phase auto-reclosing, seed current, aperiodic component, transient recovery voltage.

Безаварийная работа магистральных линий электропередач 500 кВ обеспечивает надежные межсистемные связи, что необходимо для обеспечения передачи значительной мощности при удаленности генерирующих узлов энергосистемы от потребителей. Однофазные короткие замыкания на ВЛ-500 являются, согласно статистике, наиболее частым видом повреждений по трассе, и ликвидируются путем осуществления однофазного отключения и повторного включения аварийной фазы (цикл ОАПВ). При этом снижение передаваемой мощности в течение цикла не превышает одной третьей от исходной, что не является критичным при рассмотрении условий соблюдения устойчивости межсистемной связи. Трехфазное АПВ, обычно применяемое при всех видах устраняемых повреждений ВЛ 110 кВ, на магистральных

линиях 500 кВ применяется лишь при неуспешном ОАПВ, когда повторное включение аварийной фазы осуществляется на неустраненное однофазное короткое замыкание. Это увеличивает длительность цикла ликвидации аварии и сводит на нет смысл применения ОАПВ на магистральных ВЛ, как средство повышения надежности межсистемной связи и сохранения условий устойчивости.

Причинами «неуспешности» ОАПВ могут являться недостаточно точная оценка возможных электромагнитных процессов в цикле ОАПВ на стадии проектирования, что может приводить к малоэффективным техническим решениям, а в некоторых случаях и к решениям, приводящим к опасным процессам в цикле ОАПВ, при которых теряется сам смысл применения однофазного отключения ВЛ, то есть во время эксплуатации магистральной ВЛ каждое однофазное КЗ неизбежно будет сопровождаться завершающим циклом ТАПВ.

Длительность нормального цикла ОАПВ $t_{\text{ОАПВ}}$ обычно составляет от 1 до нескольких секунд, и основным критерием ее выбора для конкретной магистральной ВЛ является, согласно [2], величина тока подпитки дуги $I_{\text{п}}$ в течение «бестоковой» паузы, который протекает через разогретый канал дуги однофазного КЗ за счет электростатических и электромагнитных связей аварийной и здоровых фаз при отключении аварийной фазы с двух сторон (рис. 1). Неоправданное завышение длительности до нескольких секунд утяжеляет условия устойчивости, а также приводит к недоотпуску электроэнергии в течение этого времени. С другой стороны, опасность снижения времени «бестоковой» паузы цикла ОАПВ состоит в высокой вероятности повторного включения аварийной фазы на неустраненное КЗ.

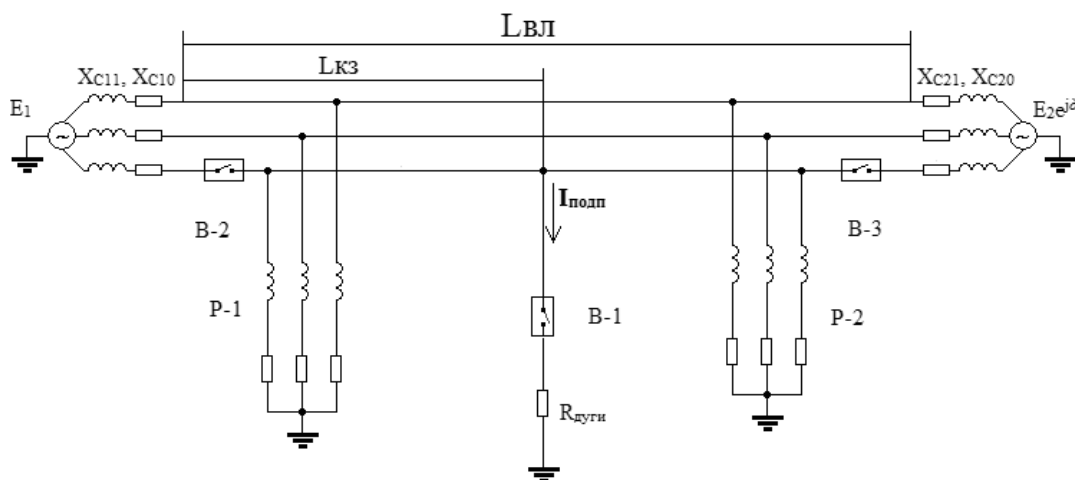


Рис. 1. Расчетная схема магистральной ВЛ-500 в цикле ОАПВ.

Как правило, на магистральных ВЛ-500 длиной 200 км и более применяются линейные шунтирующие реакторы для компенсации реактивной мощности ВЛ. Наличие реакторов, с одной стороны, позволяет применить известные технические решения по снижению тока подпитки дуги, а с другой стороны, может привести к опасным переходным процессам в цикле ОАПВ, имеющих резонансный характер при восстановлении напряжения на аварийной фазе. При использовании рекомендаций [2], которые основаны на анализе квазистационарных процессов в течение цикла ОАПВ в схемах замещения с сосредоточенными параметрами, возможна ориентировочная оценка как величины тока $I_{\text{п}}$, так и $U_{\text{в}}$ конкретной схеме магистральной ВЛ. Эти 2 параметра являются, согласно рекомендациям [2], основными для выбора длительности «бестоковой» паузы ОАПВ исходя из величины $I_{\text{п}}$ и анализа степени опасности попадания процесса восстановления напряжения в резонансную область при наличии реакторов.

Для магистральных ВЛ длиной 100–150 км осуществление цикла ОАПВ не вызывает трудностей. Для ВЛ большей длины, когда применяются шунтирующие реакторы, эффективное и надежное осуществление ОАПВ требует применение дополнительных мер. Среди традиционных технических мероприятий по снижению тока подпитки и восстанавливающегося напряжения могут быть названы следующие:

- компенсация междуфазных емкостных связей путем применения дополнительного реактора в нейтрали, то есть 4-лучевого реактора;
- кратковременное шунтирование аварийной фазы во время «бестоковой» паузы;
- применение резистора в нейтрали шунтирующего реактора;
- применение выключателя в нейтрали шунтирующего реактора;
- отключение реактора на аварийной фазе на время паузы ОАПВ.

В упрощенной постановке задачи при учете только квазистационарных процессов в сосредоточенных схемах замещения каждая из этих мер может быть проанализирована с точки зрения эффективности и достаточности, в зависимости от таких параметров, как длина ВЛ, мощность установленной реакторной группы и пр., не ориентируясь на характеристики переходных процессов на всех стадиях цикла ОАПВ.

Современные возможности современных ПК и программного обеспечения позволяют произвести моделирование электромагнитных процессов в магистральной ВЛ в переходном режиме, начиная от стационарного режима передачи электроэнергии и момента возникновения однофазного КЗ, и завершая моментом восстановления нормального режима после повторного включения выключателей с двух сторон ВЛ.

Учет распределенности параметров ВЛ и волнового характера процессов при моделировании позволяет выйти на новый уровень представления характеристик электромагнитных процессов на каждой из стадий цикла ОАПВ с целью более тщательного анализа эффективности традиционных мер, а также возможной степени их опасности. Основными временными интервалами в цикле ОАПВ, переходные процессы внутри которых имеют значение с позиции надежного осуществления ОАПВ, являются (рис. 2):

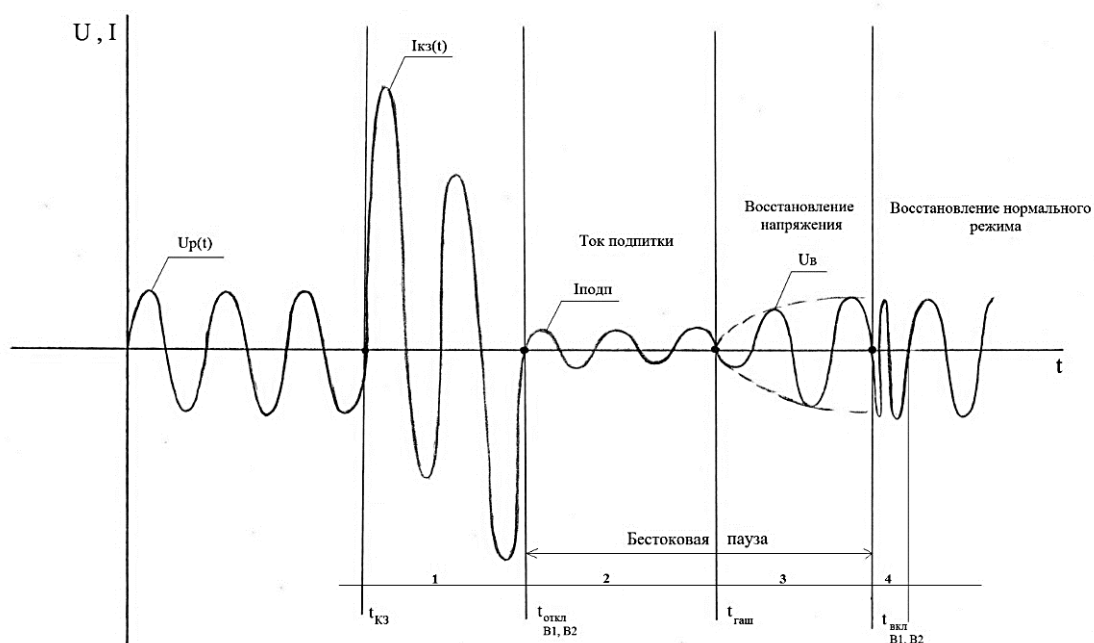


Рис. 2. Переходные процессы на аварийной фазе во время цикла ОАПВ.

- 1-й интервал горения дуги КЗ;
- 2-й интервал горения дуги подпитки после отключения аварийной фазы с двух сторон;
- 3-й интервал восстановления напряжения после гашения дуги подпитки;
- 4-й интервал развития коммутационных перенапряжений после включения выключателями аварийной фазы с двух сторон.

Проведенные в работе исследования характеристик переходных процессов в цикле ОАПВ для магистральных ВЛ различной протяженности, при моделировании в вышеупомянутой постановке, позволили выявить некоторые явления и закономерности, которые не могут быть никак учтены при упрощенной постановке задачи,

Интервал горения дуги подпитки. Расчет величины периодической составляющей тока подпитки I_p дает близкие результаты как в упрощенной, так и в полной постановке задачи.

Оценка величины I_p исходя только из электростатических связей фаз не дает достоверных результатов. В зависимости от места КЗ на ВЛ, существенный вклад в общую величину I_p вносит электромагнитная составляющая тока подпитки, которая, в свою очередь, зависит от величины передаваемой мощности по ВЛ в момент аварии.

В форме тока подпитки дуги существует явно выраженная высокочастотная волновая составляющая, имеющее значение для дополнительного разогрева дугового канала.

Ток подпитки дуги, как правило, имеет явно выраженную апериодическую составляющую, имеющую определяющее значение для условий самопогасания дуги, причем начальная амплитуда апериодической составляющей $I_{a(0)}$ может многократно превышать величину I_p (рис. 3), при этом дуга с током подпитки до выравнивания I_p и $I_{a(0)}$ превращается в практически дугу постоянного пульсирующего тока, условия погасания для которой совершенно иные, чем для дуги переменного тока. Можно утверждать, что до значительного затухания $I_{a(0)}$ погасание дуги будет маловероятным. Происхождение высоких значений величины $I_{a(0)}$ может быть объяснено на упрощенной схеме рис. 3. При прекращении протекания тока КЗ после перехода через ноль при удаленности шунтирующего реактора ток в реакторе не равен нулю, и магнитная энергия, запасенная в индуктивности реактора, образует эту апериодическую составляющую.

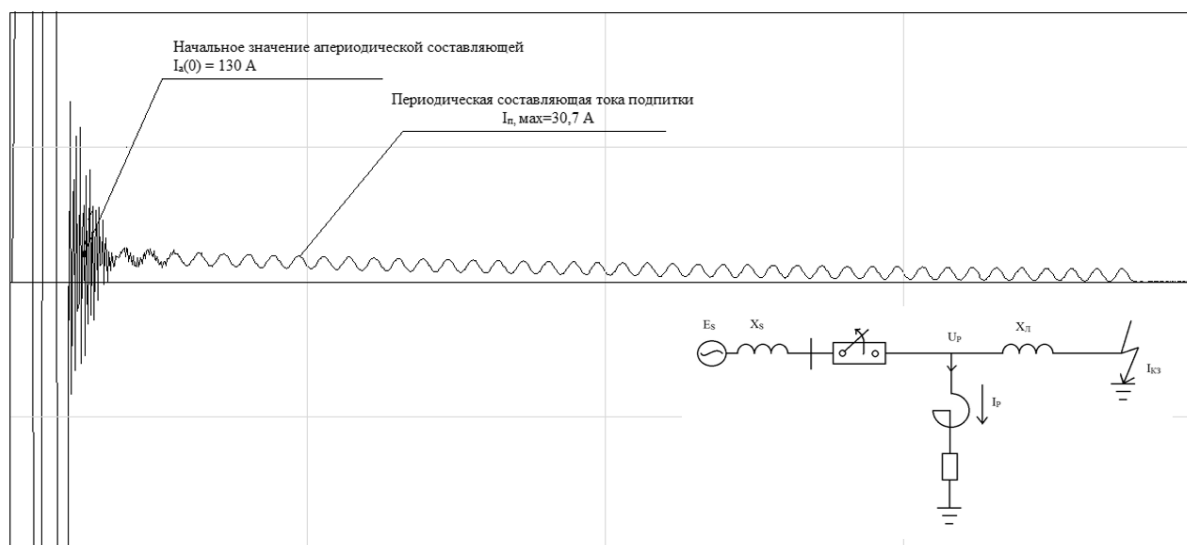


Рис. 3. Форма тока подпитки дуги и упрощенная схема для объяснения наличия апериодической составляющей

Таким образом, выбор критерия погасания дуги только по величине периодической составляющей тока подпитки I_p , как рекомендовано в [2], явно недостаточен. Возникает естественный технический вопрос: остается ли применение 4-х лучевого реактора как средства уменьшения тока подпитки I_p эффективным, если 4-й луч слабо влияет на величину аperiodической составляющей?

Интервал восстановления напряжения. При наличии шунтирующих реакторов возможно попадание в резонансную область при определенных сочетаниях параметров 3-х или 4-лучевого реактора и величин фазных и межфазных емкостей проводов ВЛ. Однако, как показали расчеты переходных процессов в конкретных схемах, близких к резонансным, учет активного сопротивления нулевого канала ВЛ при принятии условий грунтов с удельным сопротивлением 500 Ом·м приводит к более оптимистическим результатам, нежели оценки в упрощенном варианте моделирования (рис. 4).

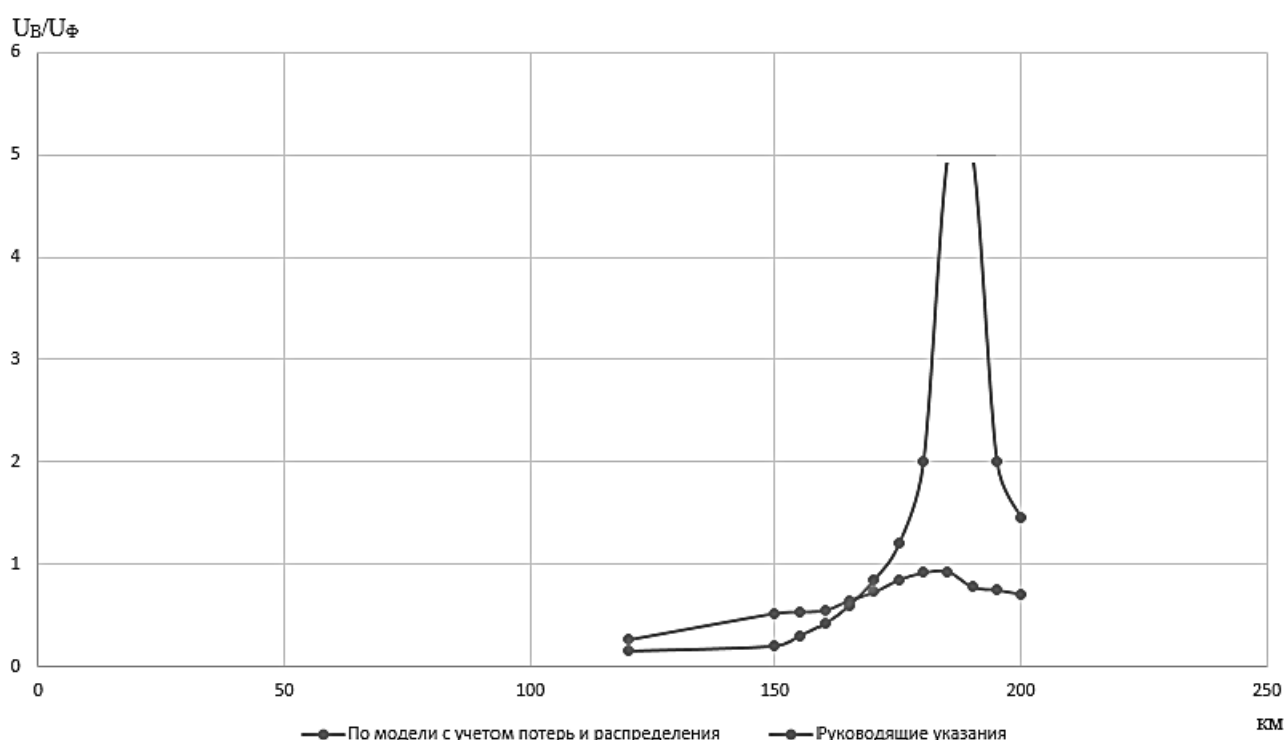


Рис. 4. Уровни восстанавливающегося напряжения на 3 интервале цикла ОАПВ

Интервал развития коммутационных перенапряжений. Должен быть обязательно учтен на стадии проектирования магистральных ВЛ с позиции выбора параметров защитных аппаратов (линейных ОПН). Результаты исследования процессов на данной стадии в конкретных схемах ВЛ показывают, что высокие кратности перенапряжений с уровнем до $(3,0-4,0)U_{фм}$ могут возникать при определенном сочетании моментов коммутации выключателями аварийной фазы при взаимном наложении переходных процессов, включении на противозаряд при завершающей коммутации и т. д. При анализе процессов необходим учет импульсной короны на проводах ВЛ, иначе могут быть получены завышенные оценки уровней перенапряжений. Любое техническое решение по повышению эффективности цикла ОАПВ, не сопровождаемое решениями по защите от коммутационных перенапряжений на стадии завершения цикла ОАПВ и восстановления нормального режима, не приведет к ожидаемым результатам, если

развитие перенапряжений приведет к перекрытию изоляции ВЛ или выходу из строя применяемых линейных ОПН при некорректном выборе их параметров.

Список использованной литературы

Книги

1. Кадомская К. П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник/ К. П. Кадомская, Ю. А. Лавров, А. А. Рейхердт.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006 .-368с. — (« Учебники НГТУ»).
2. Руководство по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений, РД 153–34.3–35.135–99,1999год.

Статьи из сборников

1. Бурмистрова Е. А., Голдобин Д. А., Исследование тока подпитки дуги в квазистационарном и переходном режимах на аварийной фазе ВЛ 500 кВ в цикле ОАПВ: / в сб. Перспективы модернизации современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (10 ноября 2015г., г. Москва).-Москва: РИО ЕФИР, 2015, с.11–14.
 2. Бурмистрова Е. А., Квазистационарные и переходные процессы на аварийной фазе в цикле ОАПВ, Сборник материалов XIX открытой региональной студенческой научной конференции им. Г. И. Назина: мат-лы студент. науч. конф. (Сургут, 28–29 мая 2015 г.) / Сургут. гос. ун-т. — Сургут: ИЦ СурГУ, 2015. — С. 56.
 3. Бурмистрова Е. А., Голдобин Д. А., Разработка модели для исследования квазистационарных и переходных процессов в цикле ОАПВ ВЛ-500 кВ: / в сб. Наука: прошлое, настоящее, будущее: сборник статей Международной научно-практической конференции, ч. 2 (20 мая 2015 года, г. Уфа). Уфа: АЭТЕРНА, 2015, с.45–47.
-

Стерлядев А. А., Арсланова Я. А.

«Сургутский государственный университет», г.Сургут

Кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи, обусловленные низким качеством электроэнергии

Аннотация: рассмотрено влияние кондуктивных низкочастотных помех на показатели качества электроэнергии в электроэнергетических системах

Ключевые слова: кондуктивные помехи; качество электроэнергии; электромагнитная совместимость.

Sterlyadev A. A., Arslanova Y. A.

«Surgut State University», Surgut

Conductive low frequency electromagnetic interference, due to low power quality

Abstract: the influence of conductive low-frequency interference on the quality of electricity in electric power systems is considered

Keywords: conducted noise; quality of electric energy; electromagnetic compatibility.

Электроэнергетические системы (ЭЭС) представляют собой совокупность устройств для генерации, передачи, преобразования и потребления электрической энергии. В качестве устройств, генерирующих электрическую энергию, могут выступать, например, гидравлические и тепловые электростанции; в качестве устройств для передачи электрической энергии — линии электропередачи, для ее преобразования — трансформаторы, а для потребления — электрические двигатели и другие электрические нагрузки. И все эти процессы связаны с преобразованием энергии.

Задача ЭЭС заключается в бесперебойном снабжении качественной электрической энергией промышленных и иных объектов.

Интенсивное развитие электротехнологий сопровождается изменением условий потребления электрической энергии. Растет число используемых при генерации, преобразовании и потреблении электрической энергии электронных технологий, что в значительной мере увеличивает эффективность и степень надежности электроснабжения.

Впрочем, помимо положительных аспектов, которые характеризуют изменение условий потребления электроэнергии, существует так же ряд отрицательных.

И прежде всего — это снижение качества электроэнергии.

Низкие показатели качества электрической энергии (ПКЭ) усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО), вызывают появление в ЭЭС кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП), которые распространяются по сетям, а так же нарушают уровни электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств.

Электрическая энергия является одним из самых важных компонентов, необходимым для процесса производства. Качество электрической энергии оказывает значительное воздействие на технико-экономические характеристики и надежность работы электрического оборудования. Параметры, которые характеризуют качество электрической энергии, выходя за уста-

новленные допустимые пределы, в совокупности с другими факторами приводят к экономическим потерям из-за неоптимальной работы электроприемников и повышению брака продукции.

Реформирование электроэнергетики, переход к рыночным отношениям в рамках оптового и розничного рынков электроэнергии (мощности) с реструктуризацией РАО «ЕЭС» с разделением энергоснабжающих организаций на отдельные субъекты электроэнергетики с функциями производства, передачи, распределения и продажи/сбыта электрической энергии привело к противоречиям положений действовавшего стандарта по нормам качества электрической энергии ГОСТ 13109–97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» сложившимся реалиям.

С учетом этих условий был разработан новый национальный стандарт ГОСТ Р 54149–2010, преобразованный затем в межгосударственный стандарт ГОСТ 32144–2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Введение ГОСТ 32144–2013 позволило устранить неоднозначность в определении точки измерения показателей качества электрической энергии (ПКЭ), имевшуюся в ГОСТ 13109–97.

ГОСТ 32144–2013 устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии в точках передачи электрической энергии пользователем электрической энергии сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц.

Нормы ГОСТ 32144–2013 применяют при проектировании и эксплуатации электрических сетей, а также при установлении уровней помехоустойчивости электроприемников и уровней кондуктивных электромагнитных помех, вносимых этими приемниками. Оценка соответствия нормам проводится в течение расчетного интервала в одну неделю.

Качество электрической энергии неизменно является составной частью электромагнитной совместимости.

Электромагнитная совместимость электрооборудования и электрических сетей — это способность потребителей электроэнергии не вносить в электрическую сеть искажений, которые будут затруднять работу других потребителей.

Электромагнитная совместимость — это совокупность электрических, магнитных и электромагнитных полей, генерирующих электрооборудование, а так же воздействующих на все сферы жизнедеятельности человека.

Для технических устройств ухудшение электромагнитной обстановки приводит к ухудшению качества электроэнергии, нарушению их режимов функционирования, повреждению устройств релейной защиты и автоматики.

Каждый электрический приемник предназначен для работы при определенных условиях и параметрах электрической энергии (ток, частота, номинальное напряжение) соответственно для его нормальной работы должно быть обеспечено энергоснабжение с качественной электрической энергии.

Качество электроэнергии проявляется через качество работы каждого потребителя. Следовательно, если работа потребителя неудовлетворительна, а в каждом случае анализ качества потребляемой электроэнергии дает соответствие требованиям действующего ГОСТа, то виновато качество его изготовления или эксплуатации.

Но если же показатели качества электроэнергии в точке её передачи не соответствуют требованиям ГОСТ, то потребитель имеет право предъявить претензии к электросетевой организации.

В общем, показатели качества электрической энергии определяют степень искажения напряжения электрической сети из-за изменения нагрузки, влияния кондуктивных помех, создаваемых отдельными видами оборудования, и возникновения неисправностей, вызываемых, главным образом, внешними событиями.

Часть показателей качества электрической энергии характеризует помехи, продолжительно изменяющие характеристики напряжения, вызванные особенностями технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии (отклонения частоты, медленные изменения напряжения, искажения синусоидальности формы кривой напряжения, несимметрия и колебания напряжения).

Для их нормирования в ГОСТ 32144–2013 установлены показатели и нормы качества электрической энергии.

Другая часть показателей качества электрической энергии характеризует кратковременные помехи, возникающие в электрической сети в результате коммутационных процессов, грозовых и атмосферных явлений, работы средств защиты и автоматики, запланированных работ в электрических сетях, послеаварийных режимов (провалы напряжения и перенапряжения, импульсные напряжения, кратковременные прерывания напряжения).

Отклонение частоты — это изменение опорной частоты электрической системы от его определенной номинальной величины. Значение частоты напряжения определяется балансом активной мощности в системе. В случае возникновения дефицита активной мощности в системе, то есть дефиците мощности работающих в системе электростанций, происходит снижение частоты до такого значения, при котором устанавливается новый баланс вырабатываемой и потребляемой электроэнергии. В связи с тем, что снижение частоты связано с уменьшением скорости вращения электрических машин и уменьшением их кинетической энергии, а освобождающаяся при этом кинетическая энергия используется для поддержания частоты, частота в системе меняется медленно. При нарастающем дефиците активной мощности частота меняется быстро, создавая условия для возникновения лавины частоты.

Жесткие требования ГОСТ 32144–2013 к отклонениям частоты питающего напряжения обусловлены возможным влиянием частоты на режимы работы электрооборудования и ход технологических процессов производства.

Напряжение в узле электроэнергетической системы определяется балансом реактивной мощности по системе в целом и балансом реактивной мощности в узле электрической сети. Медленные изменения напряжения (под этим термином понимается отклонение напряжения, как правило, продолжительностью более 1 мин) ГОСТ 32144–2013 нормируются только для электрических сетей низкого напряжения 380/220 В.

В электрических сетях среднего и высокого напряжения ГОСТ 32144–2013 рекомендует принимать в качестве номинального согласованное для конкретного пользователя электрической сети напряжение при технологическом подключении в качестве напряжения питания.

Несинусоидальность напряжения, обусловлена нелинейными нагрузками потребителей электрической энергии, в ГОСТ 32144–2013 характеризуется гармоническими составляющими напряжения, и определяется значениями коэффициентов гармонических составляющих напряжения вплоть до гармоники 40-го порядка.

Несимметрия напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети. Чаще всего причиной возникновения несимметрии напряжений является неравенство нагрузок фаз. Несимметричные токи нагрузки, которые протекают по элементам системы электроснабжения, вызывают в них несимметричные падения напряжения. Вследствие этого на выводах электроприемников появляется несимметричная система напряжений.

Показателями качества электрической энергии являются коэффициенты несимметрии напряжений по обратной или нулевой последовательности соответственно, относящиеся к несимметрии напряжений.

Для провалов напряжения ГОСТ 32144–2013 установлена лишь их длительность (от 10 мс до 1 мин) и представлены статистические данные об относительной доле провалов разной глубины в общем числе провалов, но не приведены статистические данные о числе провалов за единицу времени (неделю, месяц и т. п.).

Не стоит забывать, что с введением ГОСТ 32144–2013 вопрос о поддержании качества электрической энергии, в условиях нынешнего состояния энергосистем, становится актуальным не только для энергоснабжающих организаций, но также и для потребителей.

Обеим сторонам систем электроснабжения необходимо учитывать, что экономические характеристики работы электрооборудования, безопасность и бесперебойность электроснабжения и, в большинстве случаев, количество и качество выпускаемой продукции существенно зависят от качества электроэнергии, передаваемой в распределительных сетях.

Список использованной литературы

1. Плотников М. П. Совершенствование методов расчета токов и напряжений в двухцепной воздушной линии электропередачи при несинусоидальных режимах. URL: WWW.DISS.SELUK.RU
 2. Куликов С. Г. Подавление кондуктивных ЭМП по току замыкания на землю от 6 до 35 кВ с изолированной нейтралью
 3. ГОСТ 13109–97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Издательство стандартов, 1998. — 32 с.
 4. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2013. — 10 с.
 5. ГОСТ Р 50397–2011 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2013. — 62 с.
 6. Дед, А. В. Экспериментальное исследование влияния несимметричной нагрузки на систему электроснабжения /А. В. Дед, Е. Н. Еремин // Омский научный вестник. — 2009. — № 1 (77). — С. 133–138.
 7. Дополнительные потери мощности в электрических сетях при несимметричной нагрузке / А. В. Дед [и др.] // Омский научный вестник. -2013. — № 1 (117). — С. 157–158.
 8. Дед А. В., Бирюков С. В., Паршукова А. В., Нормы качества электрической энергии // Омский научный вестник. 2015. №1 (137). С. 148–150.
-

Каракулова Юлия Юрьевна, Паскарь Иван Николаевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово

Цифровизация в электроэнергетике

г. Кемерово

Аннотация: В данной статье приведен анализ энергетических компаний России и зарубежных стран, в которых были запущены проекты по внедрению цифровых технологий. Описываются цифровые решения, которые способны вывести электроэнергетику на новый уровень.

Ключевые слова: энергетика, модернизация, энергоэффективность, цифровые технологии, энергосбережение, технология блокчейн.

Karakulova Julia Yuryevna, Paskar Ivan Nikolaevich

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo

Digitalization in electricity

Kemerovo

Abstract: This article lists energy companies in Russian and foreign countries that have launched projects to introduce digital technologies. Digital solutions that can take the power industry to a new level are described.

Keywords: Power industry, modernization, energy efficiency, digital technologies, energy saving, blockchain technology.

В самое ближайшее время цифровизация изменит наш мир. Страны, которые уже задумались о внедрении цифровых технологий, будут иметь большое преимущество перед другими игроками. На сегодняшний день компании топливно-энергетического комплекса внедряют такие технологии, как блокчейн, искусственный интеллект, роботизация, интернет вещей и BigData.

Так в 2017 году филиалами АО «СО ЕЭС» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемы Урала» (ОДУ Урала) и ПАО «ФСК ЕЭС» — МЭС Урала была установлена на подстанции (ПС) 500 кВ «Южная» в Екатеринбурге новая централизованная система противоаварийной автоматики (ЦСПА).

ЦСПА — это программно-аппаратный комплекс, который в данный момент времени автоматически сохраняет устойчивую работу энергосистемы при возникновении аварийных ситуаций. ЦСПА третьего поколения так же, как и ЦСПА второго и первого поколения имеет стандартную двухуровневую структуру: установленный в ОДУ Урала управляющий вычислительный комплекс (УВК) верхнего уровня и «низовое» устройство, размещенное на ПС 500 кВ «Южная». ЦСПА третьего поколения отличается надежностью и высоким быстродействием. Также этот комплекс включает в себя более усовершенствованные алгоритмы:

- алгоритм расчета статической устойчивости энергосистемы;
- алгоритм выбора управляющих воздействий по условиям обеспечения не только статической, но и динамической устойчивости — устойчивости энергосистемы в процессе аварийных возмущений;
- алгоритм оценки состояния электроэнергетического режима энергосистемы [2].

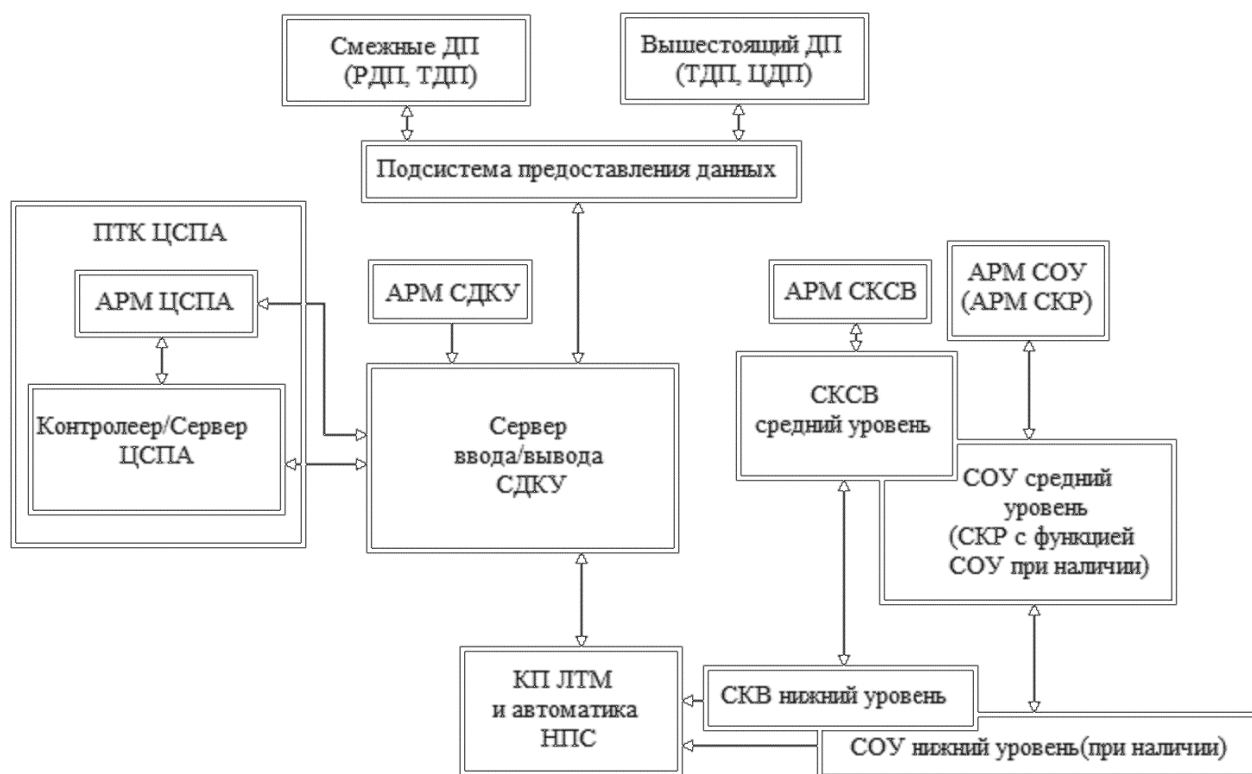


Рис. 1. Схема интеграции ЦСПА в систему диспетчерского контроля и управления (СДКУ)

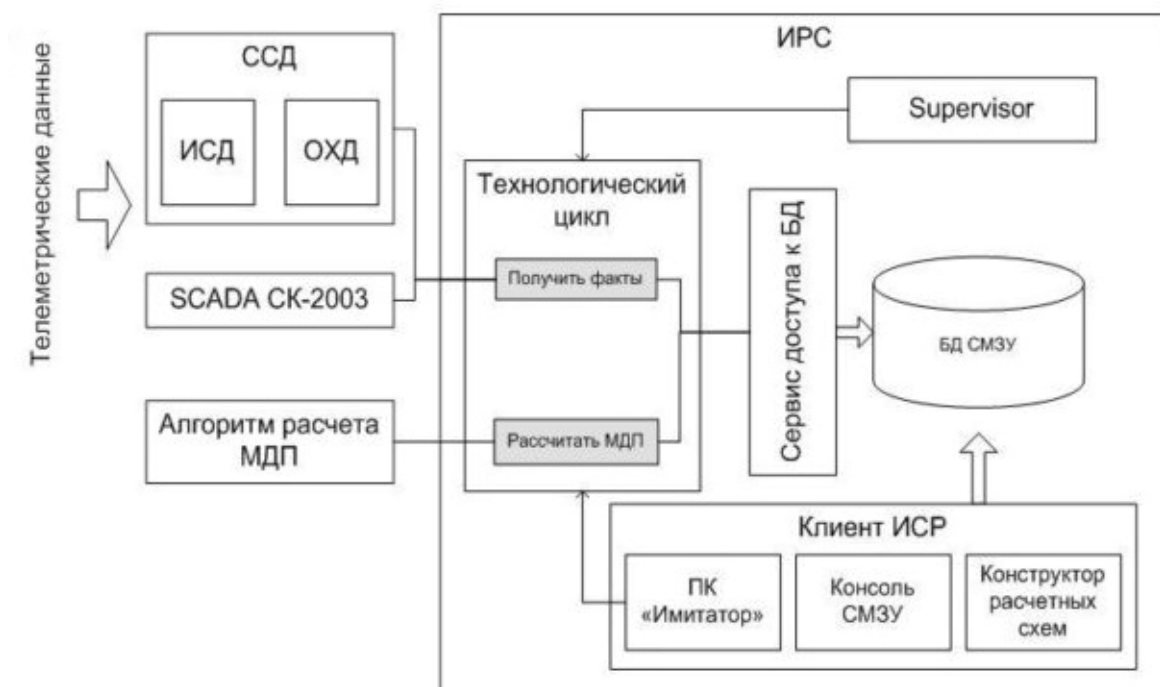


Рис. 2. Функциональная структура СМЗУ

Одновременно с ЦСПА компании устанавливают в своих филиалах систему мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ). Данная система является программно-техническим комплек-

сом, которая выполняет расчеты максимально допустимых перетоков (МДП) в данный момент времени, при этом учитывая текущее состояние схемно-режимной ситуации, предоставляя диспетчеру информацию о возможных в расчетный момент значениях МДП. СМЗУ позволяет использовать дополнительные возможности пропускной способности электрической сети, а также выбирать наиболее оптимальный алгоритм управления режимами энергосистемы без ухудшения ее надежности.

В 2018 году Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири ввел в эксплуатацию СМЗУ на контролируемых сечениях «Красноярск, Кузбасс — Запад» и «Братск — Иркутск» (ОЭС Сибири).

Внедрение СМЗУ в контролируемые сечения обеспечило максимальное использование пропускной способности электрической сети ОЭС Сибири для выдачи мощности Ангара-Енисейского каскада ГЭС в западную часть ЕЭС России [1].

Дальнейшее внедрение и усовершенствование таких комплексов, как СМЗУ и ЦСПА третьего поколения в различных энергетических компаниях России и их филиалах приведет к цифровизации энергетики. Применение этих цифровых и передовых технологий обеспечивает значительный положительный эффект при построении на их базе более эффективных моделей управления технологическими и бизнес-процессами.

Цифровые технологии так же коснулись и одну из крупнейших электросетевых компаний ПАО «Россети». Публичное акционерное общество «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» — дочернее общество ПАО «Россети» запустило проект по увеличению зарядных устройств на территории Сибири.

С появлением электромобилей в Сибири их количество с каждым годом продолжает увеличиваться. Так на начало 2020 года зафиксировано 327 электрокаров, что более чем в два раза превышает количество автомобилей на начало 2019 года, которое составляло всего 150 штук. В связи с этим компания «Россети» планирует до 2025 года увеличить количество зарядных устройств для электрокаров, которых будет более чем 110 штук [3].

Главной задачей данного проекта по увеличению «зарядок» для экологического транспорта является улучшение экологии в Сибири. Так, с увеличением зарядных устройств увеличится количество электромобилей, а это, в свою очередь, приведет к уменьшению выбросов углекислого газа (CO₂) в атмосферу.

Например, в Германии уже появились солнечные панели, биогазовое оборудование и ветряные мельницы. Но, несмотря на децентрализацию рынков, которая касается только игроков и технологий, торговля электроэнергией ведется без изменений, что не дает потребителям покупать электроэнергию напрямую у производителей. Чтобы полностью избавиться от централизации, немецкие компании, на сегодняшний день их более пятидесяти, запустили проект по внедрению блокчейна.

Блокчейн — это технология распределительных реестров, выстраивающаяся из цепочек блоков, содержащих информацию. Вся цепочка сделок и актуальный список владельцев хранятся на компьютерах независимых пользователей. Это дает преимущество, так как информация сохраняется при сбоях одного или нескольких компьютеров. Данная технология, которая способна работать поверх стека интернет — протоколов, позволяет заключать и автоматически исполнять сделки между участниками рынка без помощи банков и посредников.

Крупнейшая германская электрическая сеть Tennet совместно с производителем домашних систем хранения энергии Sonnen запустили данный проект. В частных домах были установлены накопители для выравнивания дисбалансов энергетической системы. Таким образом, более 6000 владельцев накопителей хранят для Tennet «сетевую» электроэнергию, а именно «избыточное» электричество, вырабатываемое ветряными электростанциями на севере Германии, которое сетевое хозяйство не в состоянии «переварить» [5].

Помимо применения этой технологии Германия активно помогает реализовывать внедрение блокчейна в других странах. Немецкая компания Siemens AG помогает развивать энергетическую систему Нью-Йорка, что способствует тесному сотрудничеству потребителей и производителей. Например, дом, на крыше которого установлены солнечные батареи, сможет продавать излишки электрической энергии местной школе [4].

Применение блокчейна не только дает возможность более выгодного и тесного сотрудничества производителей и потребителей электроэнергии, но и способствует реформированию рынка электроэнергии, который приведет к оптимальному соотношению предложение и спрос.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что цифровизация приведет к смене управления энергосистемой на базе цифровых технологий, что улучшит эффективность энергоснабжения. При этом компании получают возможность максимально контролировать процесс работы энергосистемы. Успешному внедрению цифровых технологий способствует готовность организаций к освоению нового цифрового оборудования и получению новых технологических процессов.

Список использованной литературы

1. Системный оператор единой энергетической системы «Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ СИБИРИ». [Электронный ресурс]. URL: http://so-ups.ru/index.php?id=odu_siberia_news_view&no_cache=1&tx_ttnews%5Bcat%5D=1%2C70&tx_ttnews%5Btt_news%5D=14919 (дата обращения: 04.04.2020).
 2. Системный оператор единой энергетической системы. [Электронный ресурс]. URL: [https://so-ups.ru/index.php?id=press_release_view&tx_ttnews\[tt_news\]=14803&cHash=b76e699e45](https://so-ups.ru/index.php?id=press_release_view&tx_ttnews[tt_news]=14803&cHash=b76e699e45) (дата обращения: 03.04.2020).
 3. Тйга.инфо. [Электронный ресурс]. URL: <https://tayga.info/152231> (дата обращения: 03.04.2020).
 4. Bankcomat. [Электронный ресурс]. URL: <https://bankcomat.org/news/germanskaja-energetika-aktivno-vnedrjaet-blokchejn.html> (дата обращения: 05.04.2020).
 5. RenEn. [Электронный ресурс]. URL: <https://renen.ru/blockchain-in-the-energy-sector-a-pilot-project-in-germany/> (дата обращения: 05.04.2020).
-

Полуянович Н. К., Азаров Н. В., Дубяго М. Н., Огреничев А. В., Шурыкин А. А.
Южный федеральный университет, г. Таганрог

Оценка надежности и прогнозирование ресурса кабельных систем с использованием метода искусственных нейронных сетей

г. Таганрог

Аннотация: Обоснована актуальность задачи создания нейросетей для оценки пропускной способности, расчёта и прогнозирования температуры жил силового кабеля в режиме реального времени на основе данных системы температурного мониторинга, с учетом изменения токовой нагрузки линии и внешних условий теплоотвода. Показана связь превышения допустимого значения температуры кабеля, процесса интенсивного теплового износа изоляции и надежности работы энергетического оборудования.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, нейронные сети, термофлуктуационные процессы.

Poluyanovich N. K., Azarov N. V., Dubyago M. N., Ogrenichev A. V., Shurykin A. A.
Southern Federal University, Taganrog

Reliability assessment and forecasting of cable system resource using the method of artificial neural networks

Taganrog

Abstract: The urgency of the task of creating neural networks for bandwidth estimation, calculation and forecasting the temperature of the lived in real time based on data temperature monitoring, to reflect changes in current load line and the external environment of the heat sink. The relationship between the excess of the permissible value of the PCL temperature, the process of intensive thermal wear of insulation and the reliability of power equipment is shown.

Keyword: Artificial intelligence, neural networks, thermal fluctuation processes.

Введение и постановка задачи

Непрерывная работа электросетевых систем невозможна без надежной и качественной работы электрических распределительных сетей 6–10/0,4 кВ, которые являются важной частью системы электроснабжения потребителей и находятся с ними в непосредственном взаимодействии [1]. В системах электроснабжения передача энергии посредством силовых кабельных линий (СКЛ) считается более перспективной, нежели использование воздушных линий [7]. При реконструкции и строительстве существующих объектов в качестве линий электропередачи применяют только СКЛ из сшитого полиэтилена (как правило одножилые).

Надежность работы кабельных линий, как и всего энергетического оборудования, во многом зависит от их технического состояния на рассматриваемый момент времени. При эксплуатации на эти линии непрерывно воздействуют различные неблагоприятные внешние и внутренние факторы. Под их действием состояние электрической изоляции силовых кабелей ухудшается, что с течением времени увеличивает вероятность отказов, представляющих собой пробой изоляции.

В процессе эксплуатации изоляция СКЛ подвергаются механическим, тепловым, химическим, электрическим, и другим видам воздействий, в результате чего происходит изменение её электрических свойств и, как следствие, некоторые изменения претерпевают и технические характеристики изоляционных материалов (ИМ) [2]. Основным фактором в работе СКЛ оказывающим неблагоприятное воздействие на состояние электроизоляции под нагрузкой является нагрев: ввиду потерь активной мощности в жиле, экране и других элементах выделяется тепло; при протекании по нему токов короткого замыкания (КЗ) (даже в течение времени срабатывания защиты) наблюдается быстрый рост температуры.

При работе жилы в температурном режиме близком к максимальному, начинается процесс интенсивного теплового износа изоляционных материалов кабеля (рис. 1). С ростом температуры нагрева жилы снижается удельное тепловое сопротивление изоляционного материала. Это способствует увеличению допустимого тока кабеля. Результаты эксплуатации СКЛ свидетельствуют о том, что основной причиной его отказов является снижение электрической прочности изоляции.

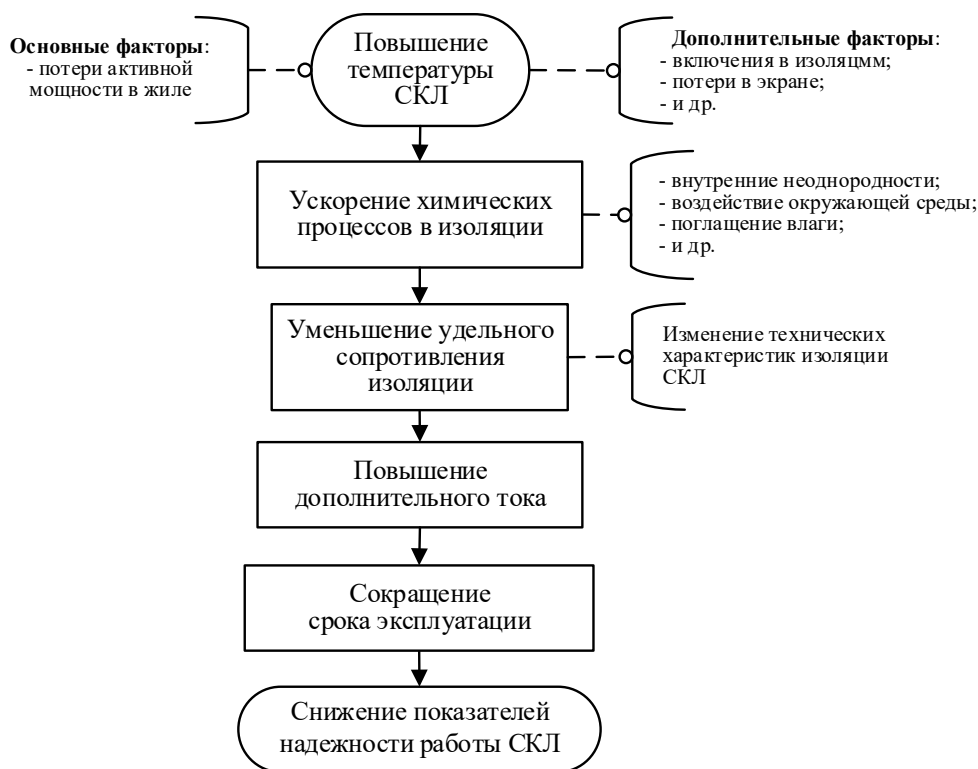


Рис. 1. Алгоритм связи повышения температуры и надежности СКЛ

Негативное действие на изоляцию повышенных температур

Рост температуры ускоряет протекающие в электроизоляционных материалах химические реакции, усиливаемые внутренними неоднородностями, воздействием окружающей средой, поглощенной влагой. Это снижает электрофизические свойства изоляции и приводит к пробое изоляционного промежутка или механическому разрушению изоляции.

Одним из решений указанной проблемы является мониторинг температуры кабеля во время работы [10]. Применение интеллектуальной системы прогнозирования приведет к повышению общей надежности энергосети и повышению энергоэффективности функционирования

энергетического сектора, уменьшению влияния человеческого фактора и снижению аварийных ситуаций. Негативное воздействие повышенных температур на изоляционные материалы подтверждается правилом Монтзингера, которое используется для выполнения экстраполяции результатов ускоренно проводимых испытаний на нагревостойкость: увеличение нормативной температуры на каждые $\Delta\theta = 8^\circ\text{C}$ сокращает тепловой срок службы изоляции в два раза. Это является обоснованием вывода о значительном влиянии температуры нагрева изоляции, особенно превышения нормально допустимых значений, на срок ее эксплуатации и в конечном итоге на показатели надежности работы кабельных линий. Временная зависимость до пробоя может быть объяснена на основе термофлуктуационной теории разрушения [7].

Таким образом контроль значений температуры нагрева изоляции позволяет получать обоснованную оценку состояния кабелей различного класса напряжения. Необходим мониторинг тепловых процессов кабелей в реальном времени для повышения надежности его эксплуатации. Однако жила кабеля, поверхность которой является наиболее нагретой областью изоляции, не доступна для непосредственного измерения температуры. Получить эти значения можно только расчетным путем.

Текущий анализ диагностических систем подтверждает, что имеется объективная научно-техническая проблема создания комплексных систем диагностирования, построенных на разносторонних принципах, дающих высокий уровень достоверности постановки диагноза и прогнозирования технического состояния кабельных линий (КЛ). Перспективным направлением является создание инфраструктуры диагностирования неисправностей КЛ, основанной на использовании искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети (ИНС) в задачах диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса изоляционных материалов могут служить в роли подсистемы выборки и принятия решений, а затем отдавать полученные данные другим подсистемам управления. Применение интеллектуальных систем диагностики и прогнозирования приведет к повышению общей надежности энергосети и повышению энергоэффективности функционирования энергетического сектора, уменьшению влияния человеческого фактора и снижению аварийных ситуаций.

Мониторинг СКЛ посредством волоконно-оптических датчиков на данный момент является единственным методом диагностики по всей длине линии. Температура на разных участках КЛ может отличаться при одинаковом токе жилы. Информация о состоянии кабельной линии, собранная в разные периоды времени позволяет наиболее точно определить места повреждений и неисправностей. Температура нагрева жилы напрямую влияет на ее пропускную способность.

Методы прогнозирования

В работе рассмотрены методы краткосрочного прогнозирования [6]. Краткая характеристика некоторых методов краткосрочного прогнозирования нагрузки приводится ниже.

Применение методов искусственного интеллекта имеет ряд крупных преимуществ. Это основной алгоритм нейросети [5], система нечеткого вывода [4], генетический алгоритм, рой [7], теория хаоса [8], и др. Упомянутые ранее методики прогнозирования, а также экспертные системы относятся к методам искусственного интеллекта.

Впервые предположили метод ИНС для STLF в 1991 году, Park D. C. и др., которые приняли участие в разработке нейросети для моделирования и прогнозирования нагрузки [9]. Нейросети, по своей сути, являются, в некоторой степени, чем-то вроде нелинейной функции, которая, в свою очередь, обладает возможностью аппроксимировать нелинейные взаимосвязи [10]. Путь данных в таких сетях от входа к выходу можно интерпретировать как линейные, так и нелинейные математические функции. Входы сети, в свою очередь, обладают возможностью являться выходом для остальных элементов самой сети. В качестве преимущества такой

технологии можно отметить возможность выполнения интеллектуальной обработки исследуемых данных, что по итогу дает возможность выполнять моделирование работы человеческого мозга. К минусам использования ИНС можно отнести то, что процесс обучения может оказаться относительно долгосрочным, и по итогу не дает гарантий на то, что сходимость прогнозных и фактических данных будет на должном уровне. Другим недостатком является то, что для оптимальной работы необходимо на практике, определяться с числом скрытых слоев, их размером, а также оптимальным набором входных данных.

Перед тем, как использовать ИНС для совершения прогнозирования, необходимо сначала решить ряд задач: разобраться с тем, какую использовать архитектуру ИНС; определить численность и способ связи для всех слоев и остальных элементов сети; определиться с выбором, какой следует воспользоваться связью, двунаправленной или однонаправленной, определиться, следует ли использовать цифровой формат [11]. На данный момент самой распространенной среди специалистов в области ИНС архитектурой построения нейросетей для целей прогноза величины численных значений электрической нагрузки следует сделать акцент в пользу архитектуры обратного распространения [4]. Чтобы иметь возможность работать с такой сетью, следует прибегнуть к использованию методики обучения с учителем. Обработка входных значений такой сетью происходит, постоянно, то есть в режиме реального времени. Реальные величины весовых коэффициентов, которые в последствии будут присвоены входным элементам искусственной нейросети, определяются в ходе процесса сравнения архивных данных (к примеру, сведения о времени и погоде) с целевыми выходными значениями (как например, данные о величине прогнозной нагрузки). Все вышеупомянутые операции и процедуры происходят во время процесса обучения ИНС. Однако, если использовать ИНС с неконтролируемым обучением, тогда отсутствует необходимость в выполнении предварительной подготовки оперативных данных для подконтрольного обучения. Методы и модели нейросетевого прогнозирования используемые для выбора оптимального при решении поставленной в работе задачи, представлены на рис. 2.

Экспериментальные исследования образцов кабеля

Для составления модели прогнозирования на базе искусственных нейронных сетей (ИНС) была выбрана система Mathlab. При прогнозирования температуры жилы кабеля (рис.3) создание, обучение и моделирование нейронной сети осуществлялось с помощью Neural Network Toolbox в системе Matlab. Исследованы термофлуктуационные процессы в силовом кабеле АПв Пу г-1х240/25–10 при реальной диаграмме действующего значения тока жилы кабеля и разработанной модели прогноза с использованием ИНС на глубоких ретроспективных данных температур исследуемого кабеля за 2015–2019 годы.

Приведены результаты прогнозирования температуры жилы кабеля ($\theta_{ж}$), с помощью ИНС для двух исследуемых образцов СКЛ №1, 3.

Заключение

Разработана нейронная сеть в целях определения температурного режима токоведущей жилы силового кабеля. При обработке данных выявлено, что максимальное отклонение результатов обучения ИНС от обучающих данных составило менее 2,5%. В целях увеличения точности требуется использование больше объема данных при обучении нейронной сети, а также доработка ее архитектуры. Разработанная нейросеть может быть применена для определения температурного режима токоведущей жилы СКЛ под нагрузкой, что позволит производить диагностику и прогнозирование ресурса электрической изоляции силового кабеля. Модель позволяет оценивать текущее состояние изоляции и прогнозировать остаточный ресурс СКЛ.



Рис. 2. Методы и модели нейросетевого прогнозирования

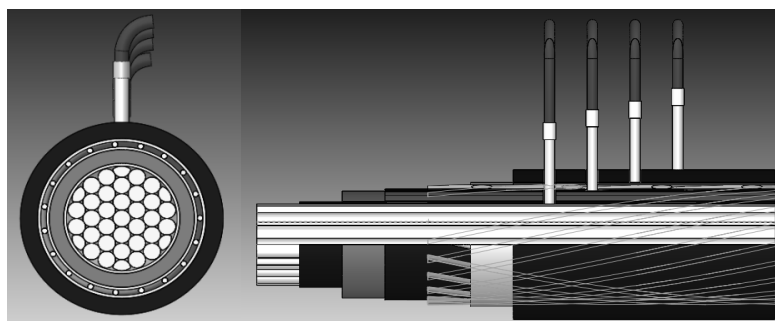


Рис. 3. Сечение кабеля и его эквивалентная тепловая схема замещения

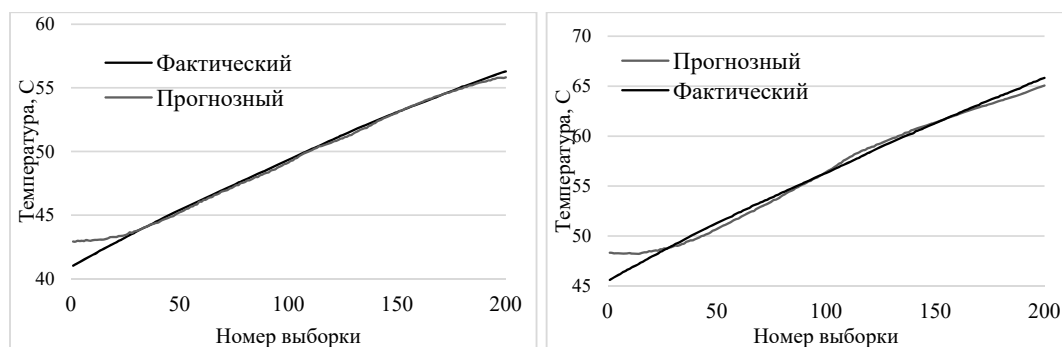


Рис. 3. График экспериментальных и прогнозируемых температур на образце СКЛ №1, 3

Список использованной литературы

1. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. М.: ОАО «Россети», 2013. С. 196.
 2. Анищенко В. А., Колосова И. В. Основы надежности систем электроснабжения. Мн.: БНТУ, 2007 г/
 3. Колмогоров А. Н. Представление непрерывных функций многих переменных суперпозицией функций одной переменной и сложением. ДАН, 1958. С. 953–956.
 4. М. Н. Дубяго, Н. К. Полуянович. Совершенствование методов диагностики и прогнозирования электроизоляционных материалов систем энергоснабжения. Монография / Южный федеральный университет. — Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета. С.2019. — 192.
 5. El-Sharkawi. Electric the load forecasting using an artificial neural network // El-Sharkawi, D. C. Park // IEEE Transaction on Power Systems, 1991,6 (2) P. 442–449.
 6. Gross G. Short-term load forecasting / G. Gross, F. D. Galiana // Proceedings of the IEEE, 1987,75(12). P. 1558–1571
 7. Azzam-ul-Asar. Short Term Load Forecasting Using Particle Swarm Optimization Based ANN Approach // Azzam-ul-Asar, ul Hassnain // International Joint Conference on Neural Networks, 2007, P. 1476–1481.
 8. Cheng W. H. Short-term load with multi-step prediction method based on chaos theory // W. H. Cheng, W. Chen // 2007, vol.19. P. 76–79.
 9. El-Sharkawi. Electric the load forecasting using an artificial neural network / El-Sharkawi, D. C. Park // IEEE Transaction on Power Systems, 1991, 6 (2) P. 442–449.
 10. Akhmedova S., Semenkin E. Co-operation of biology related algorithms meta-heuristic in ANN- based classifiers design // Proceedings of the 2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2014. 2014. P. 867–872.
 11. Peng M. Advancement in the application of neural networks for short-term load forecasting / M. Peng, N. F. Hubele, G. G. Karady // IEEE Transactions on Power Systems, 1992, vol. 7, P. 250–257.
-

Хамидулина Дарья Витальевна, Паскарь Иван Николаевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово

К вопросу о цифровизации компаний

г. Кемерово

Аннотация: В статье рассматривается понятие цифровизации; какие цифровые решения вводятся разными компаниями России и зарубежья для достижения тех или иных производственных эффектов, а также их заинтересованность в продолжении внедрения новых технологий.

Ключевые слова: Энергетика, модернизация, энергоэффективность, цифровые технологии, цифровая стратегия, технология блокчейн.

Khamidulina Daria Vitalyevna

Scientific director: Paskar Ivan Nikolaevich, Senior Lecturer

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo

On the issue of digitalization of companies

Kemerovo

Abstract: The article discusses the concept of digitalization; what digital solutions are introduced by different companies in Russia and abroad to achieve certain production effects, as well as their interest in continuing to introduce new technologies.

Keywords: Power industry, modernization, energy efficiency, digital technologies, digital strategy, blockchain technology.

Цифровизация представляет собой новый формат управления работой энергосистем, направленных на обеспечение оптимизации технологических и бизнес-процессов. Применение новых технологий обусловлено необходимостью высокой вариативности решений. Надёжные цифровые технологии, обеспечивающие конкурентные преимущества, являются неотъемлемой частью желаемого технического рывка.

От цифровизации ждут снижения издержек компаний; вывод на новый уровень показателей электропитания потребителей, тем самым повысив эффективность.

Для иллюстрации и понимания процесса цифровизации будут рассмотрены различные компании, внедряющие разные цифровые решения на своих предприятиях.

Опытный инновационный комплекс «Цифровая подстанция» на базе Московского нефтеперерабатывающего завода «Газпром нефти» представляет собой значащий этап, участвующий в формировании цифровой системы управления энергетическими объектами, а именно перевод в цифровой формат работы оборудования главной понизительной подстанции, питающей предприятие. Кроме того, этот этап важен ещё вследствие того, что более половины оборудования ПС, включая систему управления и диагностики, поставлено российским производителем.

Результатом применяемых цифровых решений является непрерывная диагностика устройств в режиме реального времени, обеспечивающая устойчивое снабжение электроэнергией, осуществляемая единой информационной сетью; оптимизация сети кабельных связей и сокращение времени на поиск и устранение неполадок.

Внедряемая цифровая подстанция — одно из действий, соответствующее плану цифровизации компании «Газпром нефть», разработанному до 2030 года. Сам план включает пере-

чень изменений, нацеленных, в первую очередь, на увеличение экономической эффективности. Целью является и переход на новые решения управления данными; дополнительное развитие компании за счёт увеличения количества организаций-партнёров для реализации новых клиентских продуктов и сервисов.

Следующей рассмотренной подстанцией, на которой применены цифровые устройства автоматики управления и релейной защиты силовых автотрансформаторов, станет пс 500 кВ «Хабаровская» (Россети ФСК ЕЭС (ПАО «ФСК ЕЭС»)), являющаяся питающим центром Дальнего Востока, а также принимающая участие в выдаче мощности каскада Бурейских ГЭС. В этом проекте применены 16 микропроцессорных панелей релейной защиты и автоматики, произведённых российскими производителями, на двух автотрансформаторах, мощность каждого из которых составляет 125 МВА.

Преимущество нового оборудования в том, что оно имеет более компактное исполнение, функцию самодиагностики. Это оборудование даёт возможность производить дистанционный контроль состояния, также предотвращение неправильной работы устройств релейной защиты и автоматики при возникновении аварийных ситуаций, решается путём оперативного реагирования на отклонения.

Результатом нововведений является повышение эффективности работы энергообъекта и снижение до минимума риска аварий.

Следует отметить, что ПАО «Россети» разработало проект «Цифровая трансформация 2030», содержащий идею создания центра аналитических компетенций для обеспечения кибербезопасности объектов инфраструктуры и обеспечение ее функционирования на принципах единства подходов, требований, эффективности и надежности в целях мониторинга инцидентов и координации действий по предотвращению и устранению этих инцидентов. Центр информационной безопасности (ИБ) планируется открыть на базе «Федерального испытательного центра» (ФИЦ), входящего в группу «Россети» в Санкт-Петербурге. На создание интеллектуальной лаборатории цифровых сетей на базе ФИЦ «Россети» планируют потратить около 2 млрд руб. и произвести запуск в 2021 году.

В декабре 2019 года «Россети» сообщили о начале использования блокчейна для автоматического учёта энергии.

Компания Mindsmith и Центр энергетической Московской школы управления Сколково в 2019 году провели анализ существующих блокчейн-проектов. В рамках исследования было выявлено, что наблюдается снижение количества блокчейн-проектов в области энергетики, но растёт качество проработки проектов, комплексность и индустриальная специфика.

Результатом проведённого анализа стали положения о том, что инвесторы готовы финансировать площадки, задача которых продажа энергии или её обмен. «Демократизация энергетики» (одноранговые (p2p) транзакции путём прямой торговой коммуникации членов рынка). 32,5%-составляющая этой области от всех энергетических блокчейн-проектов. Немалое число программ не получает финансирования, так как внимание предпринимателей устремлено в сторону, отличную от интересов инвесторов, которые готовы вкладываться в площадки, суть которых состоит в распределении энергии (венчурные фонды, составляющие 44% от общего числа инвесторов, заинтересовавшихся блокчейн проектами); площадки, платёжные решения и масштабируемые блокчейн-платформы, бизнес-инкубаторы- с целью построения своих кастомизированных блокчейн-решений(государственные инвесторы); блокчейн-партнерства, площадки для торговли и финансируемая инфраструктура(энергетические компании).

Был заключён результат: инвесторов практически не интересуют проекты, основанные на платёжных решениях, связанные с управлением данных. Также понижен интерес к области инфраструктуры зарядки для электромобилей, энергии, получаемой в результате переработки отходов.

Ситуация на 27 января 2020 года такова: в России планируется вдвое урезать инвестирование в развитие блокчейна. В «Ростехе» связали снижение прогноза экономического эффекта с изменением макроэкономической ситуации в условиях того, что российский рынок предпочитает путь органичного развития и наименьших волнений.

Примером применения блокчейна за рубежом является австралийский стартап Power Ledger, ухватившийся за возможность помочь развитию рынка возобновляемых источников энергии страны, а также предложить более дешёвые цены местным потребителям. С быстрым ростом личного производства солнечной энергии среди австралийских домашних хозяйств в течение последнего десятилетия, Power Ledger выявил вопрос, стоящий перед поставщиками энергии страны: что происходит, когда чистая энергия, получаемая от частных лиц, становится дешевле, чем их собственные заводы по сжиганию ископаемого топлива.

Работая над той же самой одноранговой торговлей, которая была отличительной чертой блокчейна, Power Ledger создала микросети, которые связали производителей чистой энергии и новые жилые комплексы. Предоставляя потребителям и производителям платформу для мониторинга производства энергии, ее источников и цен, Power Ledger стремится содействовать развитию чистой, доступной энергии и устойчивому развитию. Австралийский энергетический рынок вступает в бум возобновляемых источников энергии.

С ростом понимания преимуществ возобновляемых источников энергии, многие граждане делают выбор именно в эту сторону. Изменение менталитета ощущается по всей стране и дает Power Ledger и другим подобным компаниям шанс революционизировать энергетический рынок в крупной экономической державе, которая все еще в значительной степени полагается на ископаемое топливо. История успеха австралийской компании может помочь проложить путь для будущих разработок и стать знаковым примером для блокчейн-энергетических компаний. Это способствует децентрализации рынка и возможности энергетических потребителей брать на себя роль её производителей (продажа ВИЭ локальным организациям).

В компании Stadtwerke Energie Verbund (SEV), являющейся консорциумом, включающим в себя 8 муниципальных коммунальных предприятий, отнесённых к земле Северный Рейн-Вестфалия, запущен пилотный проект, называющийся «Зеленые электрические жетоны», идея которого в записи смарт-счётчиками потребления энергии каждый час и записи и хранения информации с помощью блокчейн технологии. Эксперты сходятся во мнении, возможность использования блокчейн технологии в России применима только в частных комплексах ВИЭ.

Третьей рассмотренной российской госкорпорацией станет «Росатом», единая цифровая стратегия 3.0 которого делает упор на цели компании, принимая во внимание необходимость содействия реализации национальной программы «Цифровая экономика РФ».

Цели ЕЦС 3.0. намечены до 2030 года, руководствуясь которыми взят ориентир в 2020 году на импортозамещение, цифровизацию проектирования АЭС и применение цифровых решений на предприятии.

Отличительной чертой третьей версии ЕЦС является применение сквозных технологий, прописанных в дорожных картах, в частности, искусственного интеллекта, больших данных, робототехники.

Уже созданными компанией цифровыми решениями стали: «Логос» и «Волна» — расчётные коды, которые были созданы компанией, позволяющие производить нужные тем или иным физическим процессам расчёты. «Логос» состоит из трёх модулей. «Логос аэро-гидро» и «Логос тепло» (предназначены для расчёта аэро, гидродинамических процессов, излучения и теплопереноса). Эти модули уже эксплуатируются.

«Логос прочность», предназначенный для расчёта статической и динамической прочности, будет запущен только в 2020 году. Обработкой результатов других моделей и создания

на их основе соответствующих моделей будет заниматься планируемый четвертый модуль «Логос препост», дата выхода которого неизвестна. «Волна»- комплекс, созданный для моделирования управления газопроводами.

Ориентация системы Multi-D — поддержка капитального строительства.

«Призма 2.0» — связующее звено конструкторской документации и производства в цехах, позволяющее управлять дискретным производством.

Следствием рассмотренных цифровых решений является конкретизированный вывод о том, что, например, сдерживающим фактором на пути широкого распространения технологии блокчейна в России является централизованная сфера электроэнергетики, а также ориентация российского рынка на уход от потенциальных рисков с целью плавного развития. Инвесторы отдают предпочтение технологиям, повышающим гибкость и плавность энергосистем. Следует отметить тенденцию внедрения цифровых решений государственными корпорациями, делающими ставку на цифровизацию предприятий, призванную оптимизировать работу производства на всех его стадиях, которая сопровождается всё увеличивающимися детальными проработками. Опыт введения цифровых решений в зарубежных практиках, безусловно, более весомый, но российские компании набирают стремительный темп для восполнения существенного пробела между ними и мировым сообществом.

Список использованной литературы

1. Компании-лидеры по внедрению блокчейн технологий в энергетику . [Электронный ресурс]. URL: <https://www.forbes.com/sites/jamesellsmoor/2019/04/27/meet-5-companies-spearheading-blockchain-for-renewable-energy/#141c6757f2ae> (дата обращения: 05.04.2020).
2. Россети: план цифровой трансформации. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8:_%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_2030_%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B8_%D0%BF%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%8B (дата обращения: 05.04.2020).
3. Цифровые технологии в российских компаниях. [Электронный ресурс]. URL: <https://home.kpmg/ru/ru/home/insights/2019/01/digital-technologies-in-russian-companies-survey.html> (дата обращения: 05.04.2020).
4. Цифровые технологии в ТЭК. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8_%D0%B2_%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE-%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BC_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8 (дата обращения: 04.04.2020).
5. Энергообеспечение НПЗ. [Электронный ресурс]. URL: <https://cntd.ru/news/read/gazprom-neft-vnedryaet-cifrovye-tehnologii-nergoobespecheniya-npz> (дата обращения: 05.04.2020).

Бородина Е. А.¹, Борисюк В. В.², Еремеев М. В.³

¹, Сургутский государственный университет, кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики, г. Сургут

², Сургутский государственный университет, кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики, г. Сургут

³, Сургутский государственный университет, кафедра радиоэлектроники и электроэнергетики, г. Сургут

Определение материала проводника по его удельному сопротивлению

г. Сургут

Аннотация: в статье рассмотрен вопрос об определении материала, из которого изготовлен проводник путем измерения его сопротивления прибором Е7–22, который предназначен для измерения параметров элементов электрических цепей: электрического сопротивления, индуктивности, емкости, тангенса угла потерь, добротности, сопротивления переменному току, эквивалентного последовательного/параллельного сопротивления и вычисления удельного сопротивления. Выбор материала зависит от параметров проводника: его диаметра и длины, а также от удельного сопротивления проводника.

Ключевые слова: сопротивление, удельное электрическое сопротивление, проводник.

Borodina E. A.¹, Borisjuk V. V.², Yeremeyev M. B.³

¹, Surgut state university, department of radio electronics and power industry, Surgut

², Surgut state university, department of radio electronics and power industry, Surgut

³, Surgut state university, department of radio electronics and power industry, Surgut

Definition of material of the conductor on its specific resistance

Surgut

Abstract: in article the question of definition of material of which the conductor by measurement of its resistance is made by the E7–22 device which is intended for measurement of parameters of elements of electrical circuits is considered: electrical resistance, inductance, capacity, tangent of angle of losses, good quality, resistance to alternating current, equivalent consecutive/parallel resistance and calculation of specific resistance. Material selection depends on parameters of the conductor: its diameter and length and also from the specific resistance of the conductor.

Keywords: resistance, specific electrical resistance, conductor.

Электрическое удельное сопротивление (удельное сопротивление) — это физическая величина, которая определяет электропроводность материала пропускать электрический ток и обозначается греческой буквой ρ [1; 2; 3].

Электрическое сопротивление однородного проводника с удельным сопротивлением ρ , длиной l и поперечным сечением S рассчитывается по следующей формуле:

$$R = \frac{\rho * l}{S}, \quad (1)$$

(предполагается, что ни площадь, ни форма поперечного сечения не изменяются вдоль проводника).

Поэтому, для удельного сопротивления формула сохраняется следующим образом:

$$\rho = \frac{R * S}{l} \quad (2)$$

Физический смысл удельного сопротивления материала состоит в том, что оно представляет собой сопротивление изготовленного из этого вещества однородного проводника единичной длины и с единичной площадью поперечного сечения [1; 2; 3].

Для определения удельных сопротивлений проводников проведем измерения сопротивлений, где в качестве исследуемых элементов были использованы два миниблока «R1» с диаметром 0,6 мм и «R2» с диаметром 0,4 мм а длина каждого проводника составляла 600 мм. Сопротивление измеряется прибором RLC, предназначенным для измерения параметров элементов электрической цепи: электрического сопротивления, индуктивности, емкости, тангенса угла потерь, добротности, сопротивления переменному току, эквивалентного последовательного / параллельного сопротивления.

Собираем схему подключения для измерения сопротивления в соответствии с «Рис. 1» и производим снятие показаний сопротивления сначала миниблока «R1» — 2,231 Ом, а затем миниблока «R2» — 3,342 Ом, при частотах 1 кГц и 120 Гц (сопротивление на этих частотах не должно сильно изменяться).

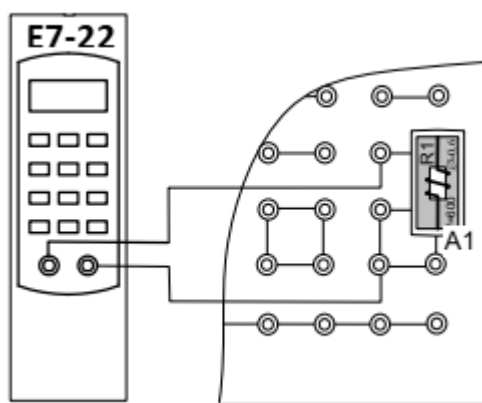


Рис. 1 Схема соединений для измерения сопротивления

Чтобы рассчитать сопротивление проводников «R1» и «R2», необходимо определить площадь поперечного сечения проводника:

$$S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \quad (3)$$

где D — диаметр проводника, мм.

Площадь сечения проводника миниблока «R1»:

$$S_{R1} = 3.14 \left(\frac{0.6}{2} \right)^2 = 0.2826 \text{ мм}^2$$

Площадь сечения проводника миниблока «R2»:

$$S_{R2} = 3.14 \left(\frac{0.4}{2} \right)^2 = 0.1256 \text{ мм}^2$$

Удельное сопротивление проводника для миниблока «R1»:

$$\rho_{R1} = 2,231 \frac{0.2826}{0.6} = 1.054 \left[\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$$

Удельное сопротивление проводника для миниблока «R2»:

$$\rho = 3,342 \frac{0.1256 \text{ мм}^2}{0.6} = 0.698 \left[\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$$

Далее по таблице удельных сопротивлений некоторых веществ определяем материал проводника: для проводника с удельным сопротивлением $1,054 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ это нихром; для проводника с удельным сопротивлением $0,698 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ — платина.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что материал проводника зависит от его параметров: диаметра проводника, его длины и удельного электрического сопротивления.

Далее по таблице удельных сопротивлений некоторых веществ определим материал проводника: для проводника с удельным сопротивлением $1,054 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ — это нихром; для проводника с удельным сопротивлением $0,698 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ платина.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что материал проводника зависит от его параметров: диаметра проводника, его длины и удельного электрического сопротивления.

Список использованной литературы

1. Сорокин В. С. Материалы и элементы электронной техники: активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники: учебник/В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — Т. 2. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2016. — 384с.
2. Новиков И. Л. Материаловедение. Конструкционные и электротехнические материалы. Материалы и элементы электронной техники: учебник / Новиков И. Л., Дикарева Р. П., Романова Т. С. — Новоси�.: НГТУ, 2010. — 56 с.
3. Горелов В. П. Конструкционные электротехнические материалы: учебник/ В. П. Горелов, С. В. Горелов, В. С. Горелов, Е. А. Григорьев ; под ред. В. П. Горелова. — 5-е изд., стер. — Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2016. — 341 с.

Харламова Ю. О.¹, Шилов А. С.², Щеголева С. А.³

¹Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

³Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Проблемы и перспективы развития энергосистемы камчатского края

г. Владивосток

Аннотация. В работе определены проблемы, которые имеются в изолированной энергосистеме Камчатского края. Обозначенный вектор развития энергетики в Российской Федерации и рассмотренные мнения авторов по теме дальнейшего развития изолированных энергосистем позволили сделать вывод о перспективном развитии энергосистемы Камчатского края.

Ключевые слова: изолированная энергосистема, развитие электроэнергетики, национальные программы, возобновляемые источники энергии.

Kharlamova J. O.¹, Shilov A. S.², Schegoleva S. A.³

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok

²Far Eastern Federal University, Vladivostok

³Far Eastern Federal University, Vladivostok

Problems and prospects of development of the power system of the kamchatka

Vladivostok

Abstract. The paper identifies the problems that exist in the isolated power system of the Kamchatka. The indicated vector of energy development in the Russian Federation and the authors' opinions on the topic of further development of isolated power systems allowed us to draw a conclusion about the future development of the power system of the Kamchatka.

Keywords: isolated energy system, development of electric power industry, national programs, renewable energy sources.

В последнее время многие страны все чаще задумываются над проблемами надежного, безопасного и доступного обеспечения электроэнергией своего населения, удовлетворяющей растущему спросу на ее потребление. Ведь электроэнергетика является системообразующей отраслью экономики, надежное и эффективное функционирование которой определяет экономическую и энергетическую безопасности страны. В Российской Федерации энергосистема состоит из Единой энергетической системы России (ЕЭС России) и технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем (далее — изолированные энергосистемы). К изолированным энергосистемам России относят Камчатский край, Магаданскую область, Сахалинскую область, Чукотский автономный округ, а также Таймырский Долгано-Ненецкий район Красноярского края [1]. Так как изолированные энергосистемы играют важную роль для экономики Российской Федерации, то необходимо рассмотреть и оценить степень их развития. В качестве примера взят Камчатский край, выявлены проблемы и перспективы развития его энергосистемы.

В состав энергосистемы Камчатского края входят центральный и тринадцать изолированных энергоузлов. Потребление электрической энергии по энергоузлам представлено на рис. 1.

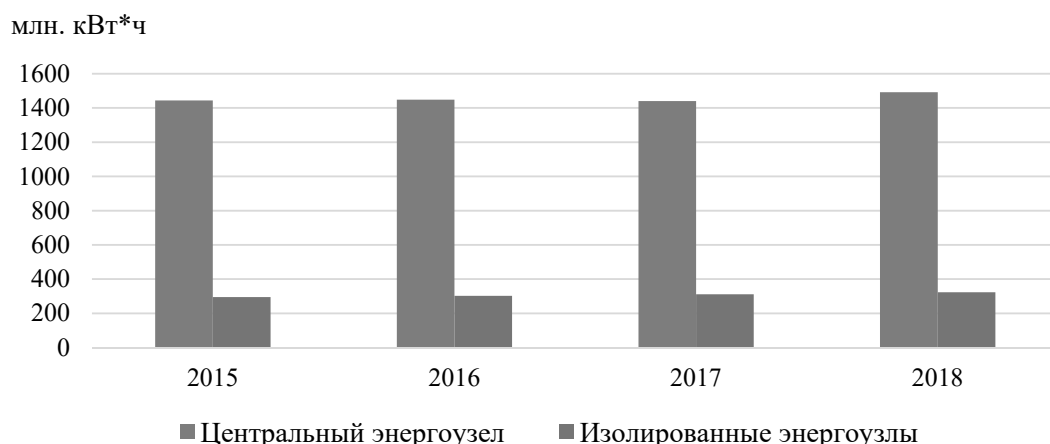


Рис. 1. Динамика электропотребления в Камчатском крае за 2015–2018 года [2]

Большая часть электропотребления приходится на центральный энергоузел. Это определено тем, что он сформирован в южной части Камчатского края, где проживает основная часть населения и действует в составе двух теплоэлектроцентралей (Камчатские ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2), блок-станций Мутновская и Верхне-Мутновская геотермальные электростанции (далее ГеоЭС), каскада Толмачевских гидроэлектростанций (далее ГЭС) и дизельной электростанции (далее ДЭС) в Мильково. В изолированных энергоузлах края электроснабжение осуществляется от ДЭС, ГеоЭС Паужетская в Озерновском энергоузле, малой ГЭС (Быстринской ГЭС-4), а также ветряной электростанции (далее ВЭС) в п. Октябрьский и другие.

Как видно из рис. 2 основным потребителем электроэнергетики в энергосистеме Камчатского края является население. Доля промышленных потребителей в общей структуре энергопотребления незначительна, всего лишь 7 % [2]. В связи с этим возникает избыток генерирующих мощностей в энергоузлах вплоть до 50 %, что негативно сказывается на стоимости электрической энергии в крае.



Рис. 2. Потребления электрической энергии по видам экономической деятельности [2]

В Камчатском крае электроэнергию производят электростанции, представленные на рис. 3. Основными видами топлива в крае являются — газ, уголь, мазут и дизельное топливо. Электростанции ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 с 2010 года потребляют газ. Благодаря программе газификации Камчатского края, газ рассматривался как альтернатива мазуту и углю, в качестве топлива для электростанций и котельных, что предполагало использование газотурбинных и парогазовых установок. Однако, по данным ПАО «Газпром» планируется снижение возможного объема годовой добычи газа с 750 до 420 млн. м³ (с перспективой 140 млн. м³ к 2030 году), в связи с чем, ввод в центральном энергоузле Камчатской энергосистемы газотурбинных установок ТЭЦ и газопоршневых установок в ближайшей перспективе не намечается [2].

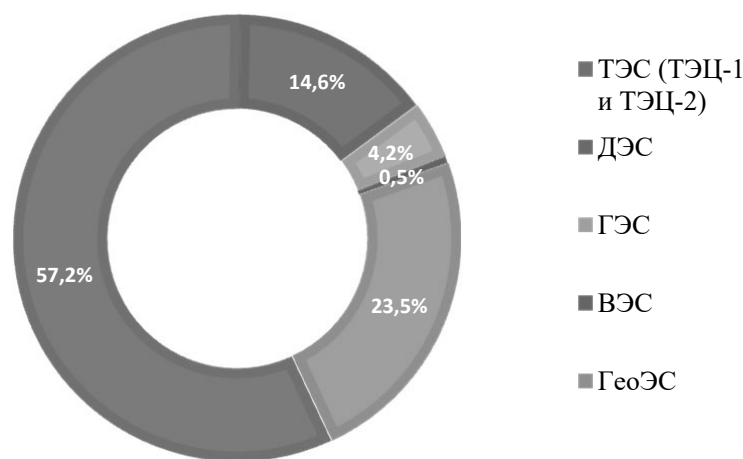


Рис. 3. Выработки электроэнергии по типам электростанций на территории Камчатского края [2]

Больше половины электроэнергии в Камчатском крае вырабатывается на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 (рис. 3), поэтому вероятность возникновения аварийных ситуаций должна постоянно минимизироваться. Однако одна из проблем энергосистемы — это старение и высокая степень физического износа основного энергетического оборудования. Часть энергетического оборудования введена в эксплуатацию более 40 лет назад, в настоящее время устарела и выведена в консервацию, что снижает надежность энергосистемы. Например, на Камчатской ТЭЦ-2 основное турбинное оборудование достигнет паркового ресурса в 2020–2022 годы, а техническое состояние части турбинного парка оборудования Паужетской ГеоЭС приближается к состоянию невозвратимого физического износа и достигнет паркового ресурса в 2020 году.

На сегодняшний день можно выделить следующие основные проблемы в энергосистеме Камчатского края:

- отсутствие возможности сбыта электроэнергии за границы Камчатского края из-за изолированности и удалённости его энергосистемы от ОЭС Дальнего Востока;
- избыточность генерирующих мощностей в энергоузлах;
- высокая степень физического износа основного энергооборудования и его низкий технический уровень;
- высокая доля населения, а также бюджетных организаций (более 60 %) и незначительная доля промышленных потребителей в общей структуре энергопотребления;
- зависимость ряда объектов региональной энергетики от дальнепривозных дорогостоящих углеводородов мазута, дизельного топлива и угля, не смотря на газификацию основных генерирующих мощностей;
- рост экологического загрязнения природы в изолированных энергоузлах Камчатского края из-за сжигания органического топлива и выделения CO₂ в атмосферу Земли [2].

Обозначим перспективы дальнейшего развития энергосистемы Камчатского края. Для этого рассмотрим куда направлен вектор развития энергетики в стране, а также что думают и какие решения предлагают другие авторы.

Российская Федерация в период развития четвертой индустриальной революции, именуемой в мире Индустрия 4.0, в 2017 году утвердила национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации». Что послужило толчком для Министерства энергетики Российской Федерации и позволило сформировать ведомственный проект «Цифровая энергетика», который направлен на преобразование энергетической инфраструктуры Российской Федерации посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для повышения ее эффективности и безопасности.

Причины перехода Российской Федерации к цифровой энергетике и интеллектуальным электрическим сетям показаны в статье Ан. Е. Мозохина и Ал. Е. Мозохина [5]. Авторы показывают к каким возможным сценариям приведет цифровизация энергетики. В итоге, они делают вывод, что вариант цифрового развития топливно-энергетического комплекса Российской Федерации способствует сдерживанию роста цен на электроэнергию вследствие повышения эффективности использования генерирующих и сетевых мощностей, сокращения потребности в новых мощностях, снижения потерь энергии, возникновения новых рынков, в том числе и для пользователей [5] (Мозохин Ан. Е., Мозохин Ал. Е., 2020).

Цифровая энергетика — это самый перспективный вариант развития энергетики страны в целом. Конечно на данный момент все технологии только начинают разрабатываться и проверяться в крупных энергосистемах страны и не в скором времени достигнут изолированных энергосистем, в том числе и Камчатского края. Поэтому необходимо рассмотреть какие технологии и методы на сегодняшний день предлагаются для развития изолированных энергосистем.

Авторы И. В. Кудинович, А. Ж. Сутеева, Н. В. Шкляр и Е. В. Горыня в работе «Перспективы применения транспортабельных энергоблоков для децентрализованного энергоснабжения» предлагают в удаленных регионах с неразвитой транспортной и промышленной инфраструктурой, расположенных вне развитых энергосистем вместо дизель-электрической станции использовать плавучую атомную станцию малой мощности на базе плавучего энергоблока и береговую атомную станцию малой мощности на базе блочно-транспортабельных энергоблоков. Целесообразность данного решения было показано путем сравнения экономических характеристик предлагаемого решения с дизель-электрической станцией [4] (Кудинович И. В., Сутеева А. Ж., Шкляр Н. В., Горыня Е. В., 2018). Е. Р. Абдулина в статье «Методические подходы к оценке эффективности перевода дизельных электростанций на альтернативные виды топлива» отмечает, что для обеспечения в изолированных удаленных районах Крайнего Севера электроэнергией применяются дизельные электростанции, на которых используется дорогостоящее привозное дизельное топливо. А для перевода местных дизельных электростанций на другие виды топлива необходимо технико-экономическое обоснование. В итоге, исследование автора показало, что перевод действующей дизельной электростанции на природный газ оправдывает затраты на ее модернизацию [3] (Абдулина Е. Р., 2019). С мнением автора о переводе дизельных электростанций на природный газ сложно не согласиться, но для Камчатского края такой вариант может быть невыполним. В связи с тем, что на территории края по данным

ПАО «Газпром» планируется снижение возможного объема годовой добычи газа с 750 до 420 млн м³, как уже утверждалось ранее.

Также стоит отметить других авторов, Б. Г. Санеев, И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова и А. К. Ижбулдин, которые высказывают мнение о том, что приоритетными проектами в зоне децентрализованного электроснабжения северных регионов Дальнего Востока являются возобновляемые источники энергии (ВИЭ), а именно ветровые и солнечные электростанции. Также

ими представлен прогноз развития возобновляемой энергетики в северных регионах Дальнего Востока до 2035 года [7] (Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Тугузова Т. Ф., Ижбулдин А. К., 2018). Для Камчатского края одним из перспективных вариантов развития энергосистемы являются ВИЭ, так как возобновляемая энергия на сегодня самая дешевая в крае [2]. На территории Камчатского края вырабатывается 28,2 % электроэнергии ВИЭ (рис. 3), но солнечных электростанций среди них нет, а ветровыми электростанциями вырабатывается всего 0,5 % электроэнергии. Со временем в крае увеличится показатель вырабатываемой электроэнергии ГЭС, так как планируется строительство каскада Жупановских ГЭС. Строительство ГЭС позволит обеспечить надежное электроснабжение потребителей центрального энергоузла и даст предпосылки к развитию горной промышленности в Мильковском и Быстринском районах Камчатского края.

Одним из вариантов развития энергосистемы Камчатского края вполне может стать распределенная генерация на основе ВИЭ, в связи с федеральным проектом «Гарантированное обеспечение доступной электроэнергией». Одной из задач федерального проекта является развитие к 2024 году распределенной генерации на основе ВИЭ в удаленных и изолированных энергорайонах [8]. Причем появление необходимости увеличения доли ВИЭ, внедрение энергоэффективного оборудования, образование активных потребителей обусловлено экологической ситуацией в стране. По докладу Минприроды России в 138 городах РФ уровень загрязнения характеризуется как «высокий» или «очень высокий» [5]. Сложившиеся экологическая ситуация поможет активному развитию ВИЭ в стране. Поэтому часть проблем энергосистемы Камчатского края, упомянутых ранее, можно будет решить с помощью распределенной генерации на основе ВИЭ в изолированных энергоузлах. А системный эффект от применения распределенной генерации будет выше, если в совокупности с ней использовать накопители электрической энергии, что в итоге позволит увеличить надёжность электроснабжения, снизить потери электроэнергии в электрических сетях, сократить ущербы от системных аварий и перерывов электроснабжения потребителей [6].

Таким образом, энергосистема Камчатского края имеет множество проблем, но большую часть из них можно решить, если в Российской Федерации активно начнёт развиваться альтернативная энергетика на основе ВИЭ. На данный момент уже есть ряд национальных и федеральных проектов, которые способствуют современному развитию электроэнергетики в стране. Однако это требует больших капиталовложений и займет много времени для получения желаемого результата, улучшение качества жизни населения и переход к более развитому обществу и процветающей экономике как основе устойчивого развития.

Список использованной литературы

1. Об утверждении Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике (с изменениями на 8 декабря 2018 года), Постановление № 854 от 27 декабря 2004 г. Принят Правительством РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919548> (дата обращения 04.04.2020).
2. Схема и программа развития электроэнергетики Камчатского края на 2019–2023 годы, Распоряжение губернатора Камчатского края № 555-Р от 30 апреля 2019, Принят Правительством Камчатского края, С. 216.
3. Абдулина Е. Р. Методические подходы к оценке эффективности перевода дизельных электростанций на альтернативные виды топлива // Вестник Иркутского государственного технического университета 2019. том 23. № 3. С. 492–502. DOI: 10.21285/1814-3520-2019-3-492-502.

4. Кудинович И. В., Сутеева А. Ж., Шкляров Н. В., Горыня Е. В. Перспективы применения транспортабельных энергоблоков для децентрализованного энергоснабжения // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. том 384. № 2. С. 87–92. DOI: 10.24937/2542–2324–2018–2–384–87–92.
 5. Мозохин Ан.Е., Мозохин Ал.Е. Анализ перспективного развития энергетических систем в условиях цифровой трансформации Российской экономики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 1. № 1. С. 82–93. DOI: 10.17586/2226–1494–2020–1–82–93.
 6. Савина Н. В., Лисогурская Л. Н., Лисогурский И. А. Накопители электрической энергии как средство повышения надёжности и экономичности функционирования электрической сети // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 2–1 (92). С. 63–70.
 7. Санеев Б. Г., Иванова И. Ю., Тугузова Т. Ф., Ижбулдин А. К. Автономные энергоисточники на севере дальнего востока: характеристика и направления диверсификации // Пространственная экономика. 2018. № 1. С. 101–116.
 8. Проекты [Электронный ресурс]: проектная деятельность. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/11245> (дата обращения 04.04.2020).
-

Демченко В. В., Бабич А. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

Колебания турбогенераторов электростанций распределенной генерации

г. Сургут

Аннотация: *Электростанции распределенной генерации — это одно из перспективных направлений электроэнергетики, позволяющее сделать источники электрической энергии высоко эффективными, экологически чистыми и малогабаритными. Проблемой электростанций распределенной генерации является опасность возникновения в турбогенераторе таких явлений, как крутильные колебания и электромагнитный резонанс, которые угрожают бесперебойной работе агрегата. Эффективность эксплуатации станций распределенной генерации возможна при обеспечении безопасности подключения и работы распределенных генераторных установок.*

Ключевые слова: *электростанция, турбогенератор, крутильные колебания, электромеханический резонанс.*

Demchenko V. V. , Babich A. A.

Surgut State University, Surgut

Oscillations of turbogenerators of power plants of distributed generation

Surgut

Abstract: *Distributed generation power plants are one of the most promising areas of the electric power industry, which makes it possible to make electric power sources highly efficient, environmentally friendly and small-sized. The problem of distributed generation power plants is the danger of occurrence of such phenomena as torsional vibrations and electromagnetic resonance in the turbo generator, which threaten the uninterrupted operation of the unit. The efficiency of operation of distributed generation stations is possible when ensuring the safety of connection and operation of distributed generator sets.*

Keywords: *power plant, turbo generator, torsional vibrations, electromechanical resonance.*

Сектор электроэнергетики в настоящее время сталкивается с различными изменениями и эволюциями в области технологии, которые представляют собой ответ на три связанные с энергетикой проблемы — экологическая устойчивость, безопасность поставок и конкурентоспособность — в контексте растущих потребностей в производстве электроэнергии. Эти проблемы могут также представлять собой драйверы для дальнейшего проникновения технологий генерации распределенной мощности (далее просто «распределенная генерация»). Например, в ряде стран уже наблюдается постепенная и устойчивая тенденция к повышению уровня развертывания распределенных источников питания.

Эта тенденция также вызвана появлением новых технологических решений для высокоэффективных, экологически чистых и малогабаритных генераторных установок.

Необходимо создание новых инфраструктур с высокой пропускной способностью. Эти устройства могут затем способствовать дальнейшему использованию распределенной мощности.

Распределенная генерация, определяемая как источник электрической энергии, подключенный к источнику питания — это своего рода дистрибьюторская сеть, обслуживающая клиента на месте или предоставляющая сетевую поддержку, которая может предлагать различные варианты преимущества для электроэнергетических систем.

Распределенная генерация может состоять из малого или среднего размера модульных блоков преобразования энергии, которые обычно расположены близко к конечным пользователям и преобразуют первичные энергоресурсы в электроэнергию (а в некоторых случаях — в тепло и охлаждение с помощью комбинированного теплоснабжения и соответствующих технологий).

Наиболее важные преимущества, присущие концепции распределенной генерации, можно сгруппировать и обобщить следующим образом:

- Повышение безопасности и надежности поставок: возобновляемые и эффективные технологии распределенной генерации могут сократить использование углеводородных энергоносителей и создать разнообразный «энергетический» портфель.

- Преимущества в эксплуатации и планировании передаточных и распределительных сетей: распределенные сети с высоким проникновением уменьшают напряжения на восходящей передающей сети.

- Блоки распределенной мощности, удобно расположенные в распределительных системах, значительно уменьшают потери при передаче и могут существенно сократить потери при распределении при правильной эксплуатации систем управления.

- Более эффективное использование первичных энергетических ресурсов и отработанного тепла: подходящее локальное положение подразделений распределенной мощности обеспечивает более эффективное использование существующих источников энергии, в том числе таких, как энергия из отходов или возобновляемые источники энергии. Близость электростанций к потребителям позволяет более удобно использовать значительные тепловые нагрузки через ограниченные тепловые распределительные сети.

- Разрешение и облегчение строительства: как правило, легче найти площадки для строительства новых объектов — станций распределенной генерации, чем для больших центральных электростанций. Такие блоки можно привести в действие намного быстрее.

Однако существуют также актуальные технические вопросы, касающиеся проблем интеграции технологий распределенной генерации в действующие распределительные электросети:

- Вопросы планирования распределения и эксплуатации: локальные системы защиты могут нуждаться в перепроектировании с момента подключения. А пересмотр архитектуры распределительных сетей может быть необходим из-за двухстороннего обмена энергией, возникающего в результате разветвления распределенной генерации.

- Запас мощности и балансировка: из-за прерывистого выхода из системы некоторых источников распределительной генерации оператор распределительной системы должен уметь управлять быстро меняющейся локальной мощностью генерации и в некоторых случаях необходимо получение необходимого запаса мощности от восходящего потока линии передач. Благодаря растущему проникновению прерывистых возобновляемых источников энергии и технологий теплоэлектроцентралей, издержки, связанные с дисбалансами, могут постоянно возрастать, и применение приоритетной диспетчеризации может привести к тому, что механизмы могут становиться все более сложными.

– Качество питания: силовыми электронными преобразователями, используемыми для подключения технологии распределенной генерации, могут генерироваться гармоники таким образом вызывая возмущения на сетке, которые, однако, могут быть заглушены правильно подобранными фильтрами.

Для каждой технической проблемы существует одно или несколько решений. Они зависят от факторов локации, а также от технических требований к конкретной распределительной сети, типу распределенной генерации и локальной нагрузки.

Применявшиеся в большой энергетике паровые и газовые турбины были не эффективны при работе в малых диапазонах мощностей (менее 10 МВт), дизельные и газопоршневые генераторы не удовлетворяли экологическим требованиям и вызывали нарекания по эксплуатационным характеристикам, топливные ячейки находятся в стадии совершенствования технологий и пока слишком дороги для большинства практических применений.

Технологические ограничения на пути практической реализации концепции распределенных систем генерации были сняты только с началом коммерческого производства совершенно нового класса энергетического оборудования — микротурбин (15 кВт–1 МВт) и радиальных турбин малой мощности (2 МВт). В настоящее время лишь немногим международным компаниям удалось наладить массовый выпуск надежных, простых и относительно недорогих газовых малых и микротурбин.

Большая часть распределенной генерации использует конвертеры в качестве интерфейса для подключения. Управление инвертором определяет работу и синхронизацию с сетью. Для нагнетания заданной активной мощности можно использовать различные стратегии управления, хотя все они обычно включают в себя два контура управления. Контур тока, который регулирует ток, подаваемый в сеть, и контур управления напряжением, который управляет напряжением на линии постоянного тока.

Контур регулирования тока отвечает за качество питания, а регулятор напряжения постоянного тока предназначен для управления потоком мощности в системе.

При нормальных условиях эксплуатации распределенная генерация работает с единым коэффициентом мощности. В основном существуют две стратегии контроля, которые позволяют достичь этой цели:

Мгновенная стратегия управления. Целью данной стратегии является поддержание постоянной активной мощности и нулевой реактивной мощности. Напротив, сетевые токи могут быть искажены.

Стратегия управления положительной последовательностью. При расчете опорного тока используется положительная последовательная составляющая основной гармоники напряжения. При такой стратегии инжектируемые токи являются синусоидальными и сбалансированными.

В дополнение к этим стратегиям, некоторые авторы предлагают другие цели, чтобы улучшить вышеизложенное, когда происходит сбой в системе. В этой сетевой ситуации колебания появляются в активной мощности и реактивной мощности двойной частоты сети. Эти колебания вызывают колебания напряжения на стороне постоянного тока инвертора, что затрудняет управление сетью в таких условиях, приводя к дисбалансу в токе сети.

На рисунке далее показана система распределенной генерации, подключенная к сети через трехфазный преобразователь постоянного/переменного тока, который вводит питание. В трехфазной системе, как показано, мгновенная эквивалентная проводимость может быть определена следующим образом:

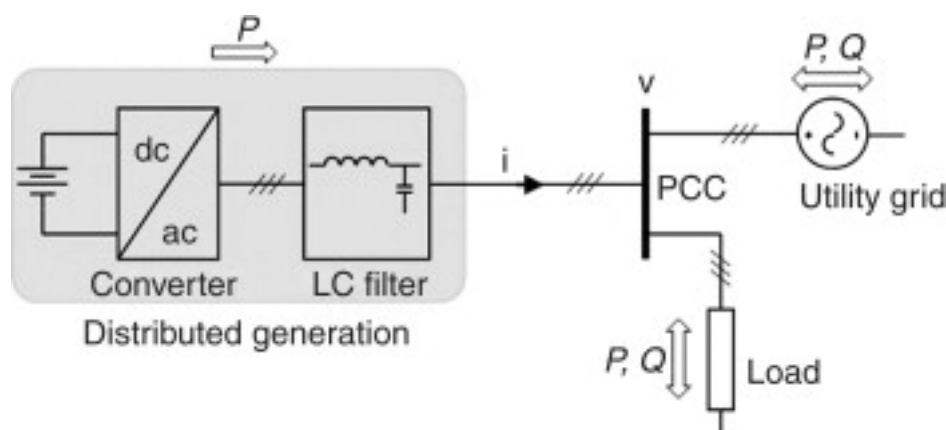


Рис. 1. Система с распределенной генерацией и инженерной сеткой

$$g = P/|v|^2 \quad (1)$$

где $|v|^2$ — мгновенный модуль нормы вектора фазного напряжения на выходе инвертора.

Мгновенный вектор тока i^* можно получить из произведения эквивалентной проводимости g на вектор напряжения v ,

$$i^* = gv = (P/|v|^2)v \quad (2)$$

Этот векторный ток позволяет инжектировать P -мощность распределенной генерации к сетевому напряжению, фазные значения которого являются векторными составляющими, v .

Компоненты вектора тока i^* образуют сбалансированную и синусоидальную систему, когда вектор напряжения сети также сбалансирован и синусоиден. Если вектор напряжения несбалансирован, то и вектор тока несбалансирован. Если какая-либо из составляющих v имеет какую-либо гармонику, то текущая система также будет искажена.

Кроме того, вектор тока i^* пропорционален вектору напряжения; следовательно, он не имеет ортогональной составляющей по отношению к сетевому напряжению; следовательно, нет передачи реактивной мощности между сетью и распределенной генерацией.

Для иллюстрации можно также взять систему распределенной генерации, которая подключается к распределительной сети через преобразователь постоянного/переменного тока с конфигурацией, показанной на рис. 1. Система впрыскивает активную мощность 15 кВт с единым коэффициентом мощности. Напряжение питания составляет 400 В и частоту 50 Гц. В точку общего доступа была подключена нагрузка. Она передает активную мощность 1 МВт и реактивную мощность 0,75 МВар на номинальное напряжение.

К преобразователю применяется мгновенная стратегия управления коэффициентом мощности. Его работоспособность будет проверена в двух различных ситуациях:

- Синусоидальная, сбалансированная система напряжения.
- Несбалансированная система сетевого напряжения с отрицательной последовательностью составляющих 20% и несинусоидальной с гармоникой 5-го порядка 15%.

Для проверки работы этой стратегии система подключается к сети с помощью LC-фильтра, образованного индуктивностью 50 мн и емкостью 0,7 МКФ.

Распределительная сеть моделируется с помощью программируемого трехфазного источника бесконечной мощности. Этот источник позволяет включать дисбалансы и гармоники в напряжение.

Напряжение постоянного тока устанавливается равным 1500 В.

Стратегия управления реализуется в соответствии с блок-схемой, показанной на рис. 2, которая является развитием уравнения (1). Входными сигналами к схеме управления являются вектор фазного напряжения, v и активная мощность распределенной генерации, P .

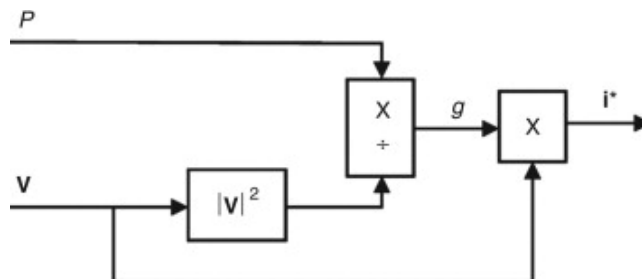


Рис. 2. Мгновенная стратегия управления коэффициентом мощности, структурная схема

В первом случае напряжение является синусоидальным с среднеквадратичным значением 400 В и частотой 50 Гц. На рис. 3 показана форма сигнала напряжения системы. Среднеквадратичное значение фазного напряжения составляет 230,9 В.

Токи, вводимые системой распределенной генерации, имеют форму волны, показанную на рис. 4.

Это сбалансированная и синусоидальная система. Среднеквадратичное значение тока составляет 21,5 А.

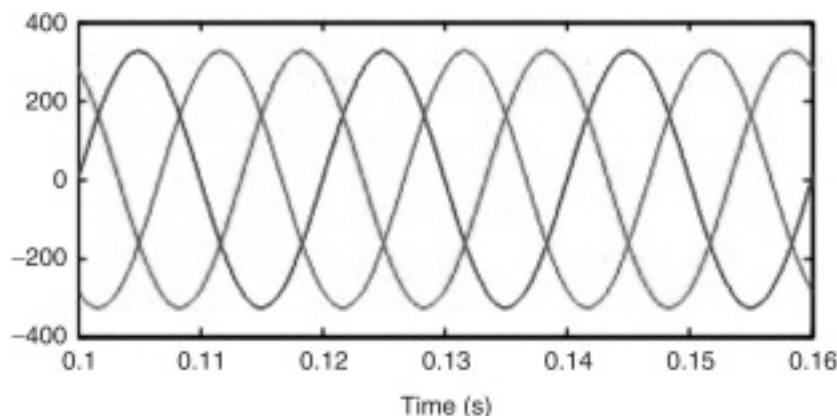


Рис. 3. Мгновенная стратегия управления. Баланс и синусоидальное напряжение: напряжение сетки и (Б) ток сетки

Что касается баланса мощности, то система распределенной генерации обеспечивает 14,884 Вт, а распределительная сеть — 985,116 Вт, при этом активная мощность, потребляемая нагрузкой, составляет 1 МВт.

Таким образом, для генераторов распределенной мощности характерны высшие гармоники тока. Наличие значительного уровня этих гармоник может вызвать резонансные взаимодействия, такие как электромеханический резонанс турбоагрегатов. Это создает серьезные проблемы в эксплуатации.

Имеет место ряд аварий, причиной которых стал именно электромеханический резонанс. Одна такая авария — чрезвычайная ситуация на газотурбинной электростанции на нефтегазовом месторождении «Самотлорское» в Ханты-Мансийском автономном округе. Явление электромеханического резонанса турбоагрегатов мощностью 25 МВт происходило на частоте

11,8 Гц и стало причиной крутильных колебаний валопроводов, спектр частот которых приведен на рис. 5. Это чрезвычайное происшествие обошлось без катастрофических последствий — сработала сигнализация и произошел аварийный останов агрегатов.

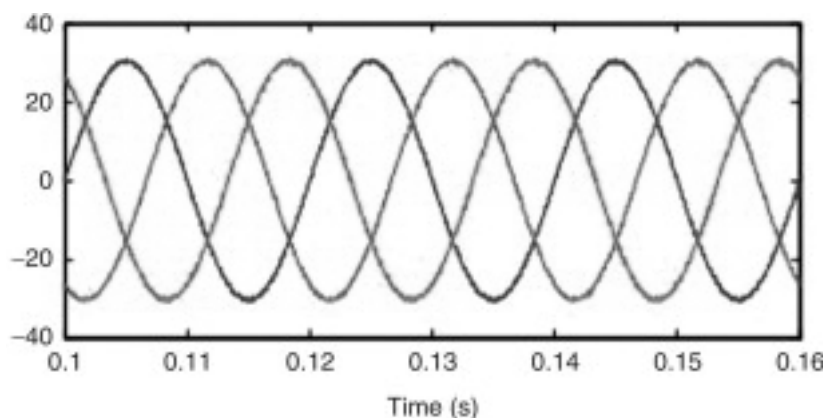


Рис. 4. Мгновенная стратегия управления. Баланс и синусоидальное напряжение: ток сетки

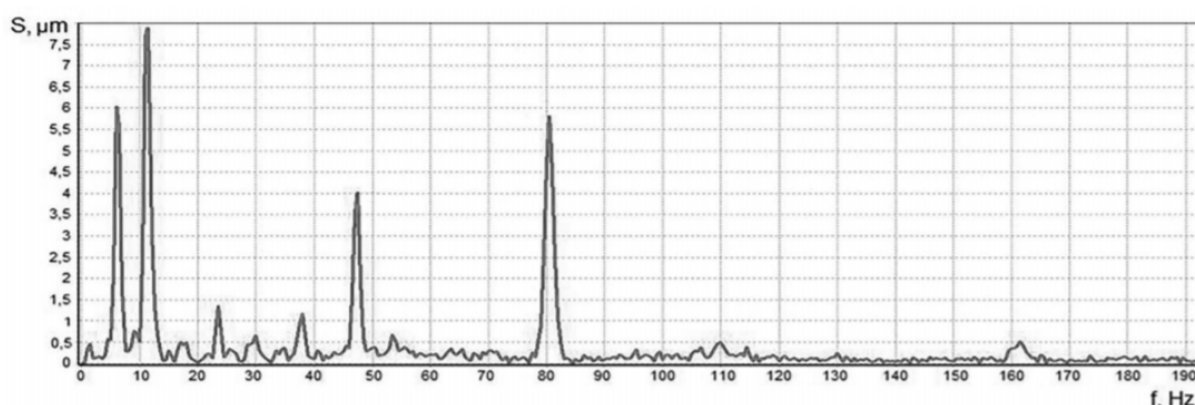


Рис. 5. Увеличение амплитуды колебаний на частоте 11,8 Гц

Крутильными колебаниями называются периодические угловые колебания сосредоточенных на валу масс, вызывающих скручивание отдельных участков вала. Крутильные колебания могут быть двух видов: собственные, или свободные, и вынужденные. Собственные, или свободные, колебания крутильной системы происходят тогда, когда система, выведенная из состояния покоя, совершает движение под действием только моментов сил упругости вала и моментов сил инерции связанных с ним масс, то есть без воздействия на систему внешних сил и моментов.

Вынужденные крутильные колебания системы возникают во время работы турбогенератора вследствие действия на вал периодически изменяющихся крутящих моментов, вызывающих переменные упругие деформации скручивания отдельных участков вала. Знакопеременные напряжения, вызываемые крутильными и изгибными колебаниями, при недостаточной прочности вала турбогенератора могут привести к его поломке вследствие усталости металла (рис. 6) [1].

Большинство исследований, посвященных электромеханическому резонансу и крутильным колебаниям в турбоагрегатах, произведены для генераторов мощностью 32 МВт и выше. Однако агрегаты распределенной генерации значительно менее мощные (как правило, 10 МВт

и меньше), имеющие меньшие инерционности для повышения маневренности. Как показывает анализ, резонансные частоты таких агрегатов должны быть выше, что и подтверждается расчетами [3].

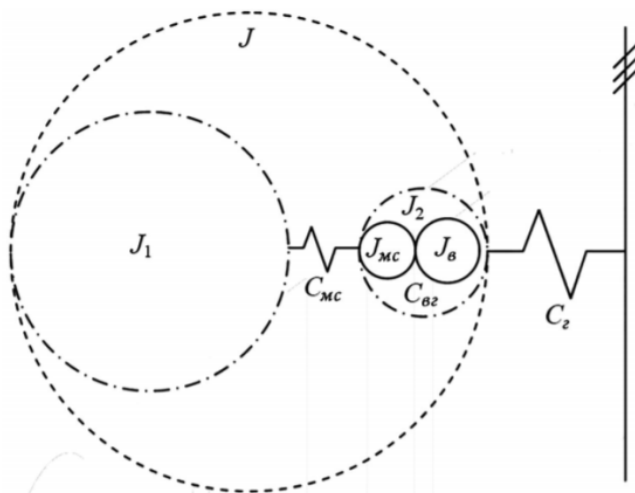


Рис. 6. Крутильная схема синхронного турбогенератора, включенного на шины энергосистемы и представление ее двухмассовой (J_1 , J_2) и одномассовой (J) схемами.

Это крайне важное обстоятельство, которое необходимо учитывать при проектировании автономных электроэнергетических систем месторождений, планировании их режимов работы. Подсинхронный электромеханический резонанс в таких системах будет возникать на более высоких частотах, чем в классических электроэнергетических системах.

Таким образом, высокий уровень и широкий спектр высших гармоник тока, электрическая близость нагрузки, большая мощность единичных электроприемников по отношению к мощности генераторов, повышают риски возникновения электромеханического резонанса в турбогенераторах распределенной генерации. Для автономных электроэнергетических систем с распределенной генерацией необходимо выработать новые подходы по борьбе с электромеханическими резонансами с учетом смещения резонансных частот в сторону больших значений и с использованием современной технологической базы.

Следовательно, чтобы иметь эффективную эксплуатацию станций распределенной генерации и сделать их действительно заменяющими массовую выработку электроэнергии, необходимы дальнейшие меры по усовершенствованию подключения и работы распределенных генераторных установок.

Список использованной литературы

1. Гоц А. Н. Крутильные колебания коленчатых валов автомобильных и тракторных двигателей. Владимир. Изд-во Владим. гос. ун-та. 2008. 200 с.
2. Мелешкин Г. А., Меркурьев Г. В. Устойчивость энергосистем: моногр. СПб.: НОУ Центр подготовки кадров энергетики, 2006. Кн. 1. 369 с.
3. Рысев П. В., Рысев Д. В., Шульга К. С., Мешалкин О. В. Определение резонансных частот электромеханических колебаний агрегатов газотурбинных электростанций. Омский научный вестник № 6 (162) 2018. С. 82–84.

Метенька Р. А., Иванов М. Н.

Сибирский Государственный Университет Водного Транспорта, г. Новосибирск

Показатели качества электроэнергии в электротехнической лаборатории

г. Новосибирск

Аннотация: В статье рассмотрены параметры электромагнитной обстановки в электротехнической лаборатории. Проанализированы полученные показатели качества электроэнергии. Представлены результаты измерений показателей качества электроэнергии.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электрическая энергия, показатели качества электроэнергии.

Metenka R. A., Ivanov M. N.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

Electricity quality indicators in electrical technical laboratory

Novosibirsk

Abstract: The article discusses the parameters of the electromagnetic environment in an electrical laboratory. The obtained indicators of the quality of electricity are analyzed. The results of measurements of electric power quality indicators are presented.

Keywords: Electromagnetic environment, electrical energy, power quality indicators.

Электромагнитная обстановка — это совокупность электромагнитных явлений и процессов в данной области пространства в частотном и временном диапазонах.

Отклонения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) от нормируемых значений ухудшают условия эксплуатации электрооборудования и потребителей электроэнергии, могут привести к значительным убыткам и неудовлетворительной работе электрооборудования.

Объектом исследования является электрическая сеть в учебной лаборатории «Электроэнергетические системы».

Предмет исследования — отклонения показателей качества электрической энергии в электрической сети 0,4 кВ электротехнической лаборатории «Электроэнергетические системы» кафедры электрических систем и электротехники ФГБОУ ВО «СГУВТ».

Для исследования ПКЭ при выполнении лабораторных работ в электротехнической лаборатории «Электроэнергетические системы» кафедры «Электроэнергетические системы и электротехника» были проведены неоднократные экспериментальные исследования уровней несимметрии токов и напряжений в действующих распределительных сетях 0,4 кВ Сибирского государственного университета водного транспорта.

Показатели КЭ снимались на вводе в лабораторию при проведении учебных лабораторных работ по изучению схем выпрямления. Измерения проводились с помощью прибора для измерений показателей качества электрической энергии Ресурс-ПКЭ-1,5, который предназначен для автоматических измерений в соответствии с требованиями ГОСТ 32144–2013.[1]

По результатам измерений были получены временные диаграммы изменения напряжений, токов, мощностей, коэффициентов несимметрии по обратной и нулевой последовательностей напряжений в исследуемой электрической сети.

Результаты измерений показателей качества электрической энергии показывают, что отклонения напряжения и частоты лежат в пределах, установленных для данных показателей стандартом. Соответственно электроприемники, подключенные как нагрузка к обследуемой линии, не создают и не вносят искажений качества электрической энергии по вышеуказанным показателям.

Для ПКЭ «Несимметрия напряжений в трехфазных системах» установлены следующие нормы:

– значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности и несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2% в течение 95% времени интервала в одну неделю;

– значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности и несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4% в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Коэффициенты обратной K_{2U} и нулевой K_{0U} последовательностей напряжения представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 1.

Таблица 1

**Результаты измерений коэффициента несимметрии напряжения
по обратной последовательности**

Измеряемая характеристика	Результат измерений	Нормативное значение	T1	T2
$K_{2U}, \%$	20,00	2,00	100	
$K_{2UНБ}, \%$	25,84	4,00		100

Таблица 2

**Результаты измерений коэффициента несимметрии напряжения
по нулевой последовательности**

Измеряемая характеристика	Результат измерений	Нормативное значение	T1	T2
$K_{0U}, \%$	20,00	2,00	100	
$K_{0UНБ}, \%$	79,17	4,00		100

Для показателя КЭ «Несинусоидальность напряжения» установлены следующие нормы:

а) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в табл. 4 ГОСТа 32144, в течение 95% времени интервала в одну неделю;

б) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в табл. 5 ГОСТа 32144, в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Результаты исследований по этому показателю КЭ представлены в табл. 3 и на рис. 2.

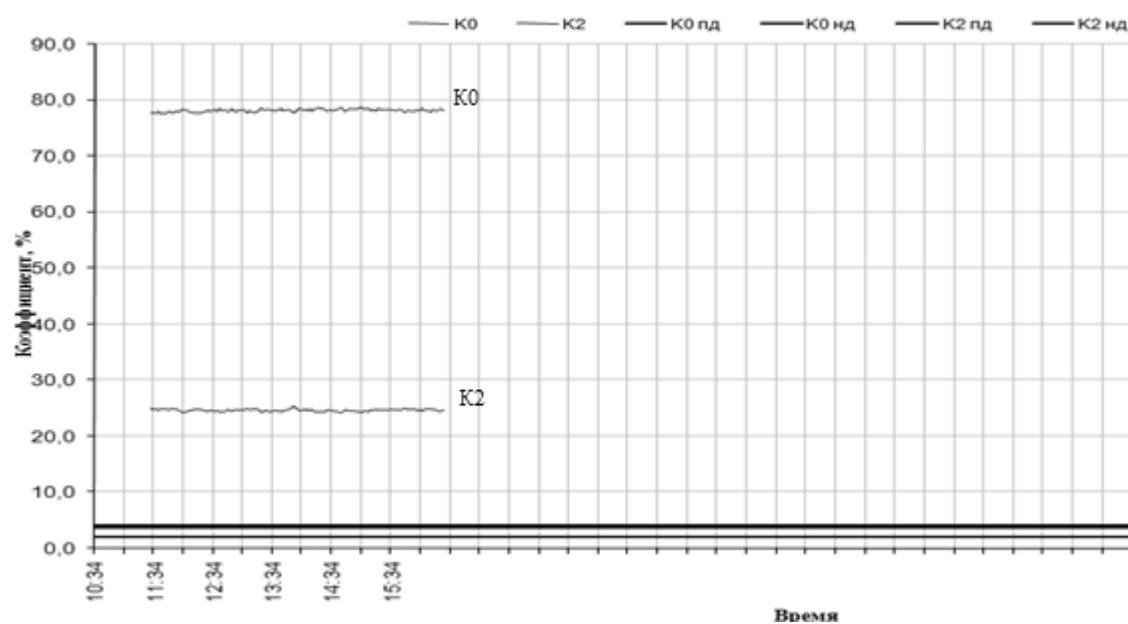


Рис. 1. Графики коэффициентов несимметрии напряжения по нулевой и обратной последовательности

Таблица 3

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения

Измеряемая характеристика	Фаза А			Фаза В			Фаза С			Нормативное значение
	Результат измерений	T1	T2	Результат измерений	T1	T2	Результат измерений	T1	T2	
K_U , %	20,00	100		0,00	0,00		6,95	0,05		8,00
$K_{U_{НБ}}$, %	49,3		100	0,00		0,0	13,4		0,04	12,00

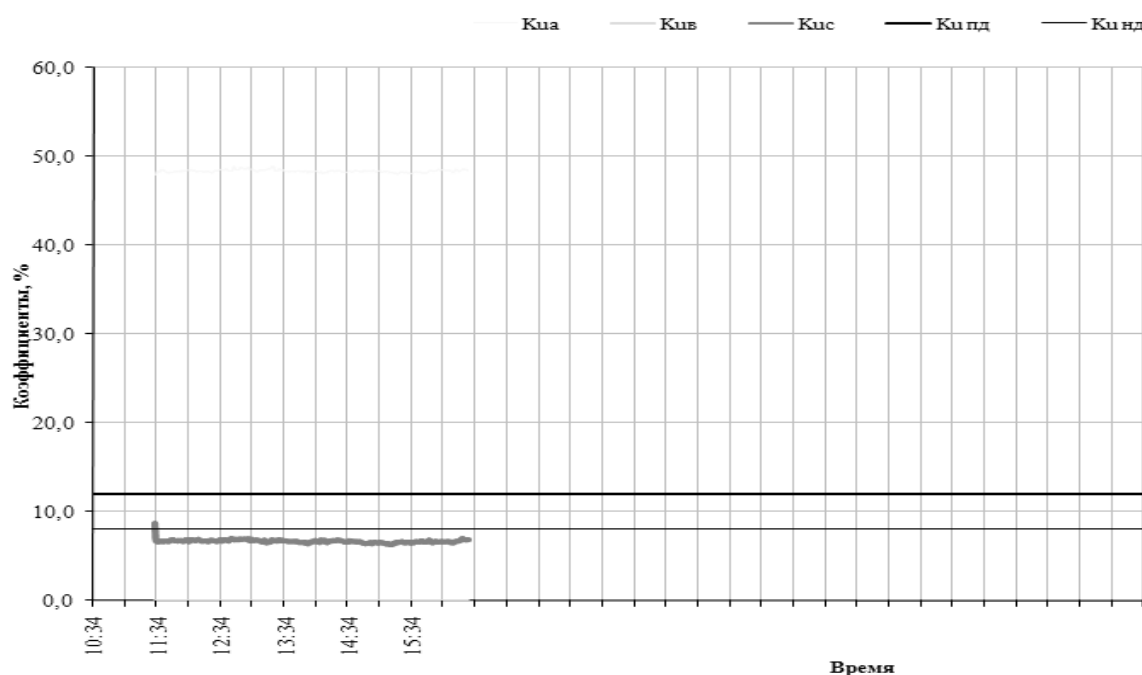


Рис. 2. Графики суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о нарушении качества электроэнергии по таким показателям как коэффициенты несимметрии по нулевой и обратной последовательности, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, так как эти показатели выходят за допустимые значения.

Список использованной литературы

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

Навозов И. С., Иванова Е. В.

Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск

Моделирование энергосистемы для расчета установившегося режима

г. Новосибирск

Аннотация: В статье дано описание моделируемой энергосистемы для получения параметров установившегося режима. Цель исследования — точное и адекватное описание моделируемой энергосистемы. Доказана техническая осуществимость предложенной модели и ее универсальность.

Ключевые слова: энергосистема, моделирование энергосистемы, потери мощности и напряжения.

Navozov I. S., Ivanova E. V.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

Simulation of a conditional power system for calculating an versatility asymmetric steady state mode

Novosibirsk

Abstract: The article describes the simulated power system to obtain steady-state parameters. The purpose of the study is an accurate and adequate description of the simulated power system. The technical feasibility of the proposed model and its versatility are proved.

Keywords: power system, power system modeling, power and voltage losses.

Исследование системы любой сложности сопровождается составлением модели, отражающей ее поведение. Поскольку перед моделью стоит задача максимально полного отражения действительности в эксперименте, то к самой модели предъявляется ряд требований, в совокупности обеспечивающих решение этой задачи [1, 8]:

- Адекватность — поведение модели, отвечающее заложенным ожиданиям или реальным процессам, подвергающимся моделированию, а результаты — реальным показателям.
- Точность — результаты, полученные путем оценки модели, должны быть либо абсолютно точны, либо иметь объясненную погрешность. При этом даже при наличии объяснений величина погрешности этих результатов не должна вызывать сомнений в адекватности модели.
- Универсальность — одна модель должна быть пригодна для описания всего многообразия процессов, подвергающихся моделированию. Если этого достичь не удастся, альтернативой представляется группа моделей, пригодных для совместного применения.

При выборе среды моделирования для оценки качества электрической энергии необходимо выбрать ПВК, способный не только производить расчет установившихся режимов при линейных симметричных нагрузках, но и моделировать любой тип искажений напряжения и тока в сети, обеспечивая максимальную приближенность имитируемых процессов к реальности. Структурно-компонентная база этого комплекса должна предусматривать переход от математического моделирования к физическому, а взаимодействие пользователя с системой должно сводиться к набору типовых операций.

Представим трехфазную сеть среднего класса напряжения, питающую конечного потребителя с различными характеристиками нагрузок (рис. 1). При этом полагается, что все элементы электрической схемы замещения электроэнергетической системы (ЭС) представлены сосредоточенными параметрами.

Потребители 10 кВ подключены к точке общего присоединения ТОП через свои кабельные линии (КЛ1, КЛ2, КЛ3 и КЛ4). Трансформатор работает в режиме без перегрузок. Воздушная линия 110 кВ, работающая в режиме передачи мощности больше натуральной, получает питание от источника ИП.

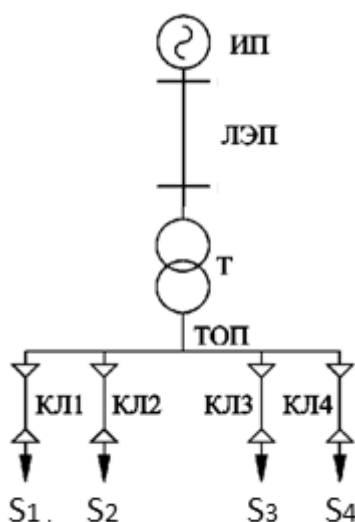


Рис. 1. Структурная схема электроэнергетической системы

В ходе исследования построены модели ЭС в программно-вычислительных комплексах (ПВК) Matlab и Rastr.

Все данные о параметрах схемы замещения получены из [2–7]. Осуществлен расчет сосредоточенных параметров моделей ВЛ и КЛ. Принципиальная схема модели представлена на рис. 2.

Для упрощения анализа принимаются следующие допущения:

- модели КЛ 10 кВ не имеют поперечных емкостей;
- модель ВЛ 110 кВ не имеет поперечных активных проводимостей;
- нагрузка задается постоянным сопротивлением;
- соотношение задаваемой активной и реактивной мощности потребителей удовлетворяет значению $\text{tg}\varphi = 0,4$;
- нагрузка потребителей в моделируемой системе составляет от 6,29–8,67 МВт.

Полученные у узел уровни воздушных напряжений в узлах быть схемы таблице представлены в табл. 1.

Анализ результатов, представленных в табл. 1, позволяет дать качественную оценку адекватности поведения моделей нагрузок. В сложившемся режиме, смоделированном в Matlab, только нагрузка узла 1 работает при номинальном напряжении, при этом ее потребление по активной и реактивной мощности с точностью до сотых долей соответствует номинальному показателю. Остальные нагрузки, работая при напряжениях ниже номинальных значений, потребляют активную и реактивную мощность, соответствующую снижению напряжения, что характерно при задании нагрузки постоянным сопротивлением [2].

Таблица 1.

Напряжение в узлах схемы

Шина	Узел 2 $U, \text{кВ}$	Узел 3 $U, \text{кВ}$	Узел 4 $U, \text{кВ}$	Узел 5 $U, \text{кВ}$	Узел 6 $U, \text{кВ}$	Узел 7 $U, \text{кВ}$
Модель ЭС в Matlab	121	1047	9,98	9,83	9,76	9,65
Модель ЭС в Rastr	121	1054	10,01	9,89	9,81	9,71

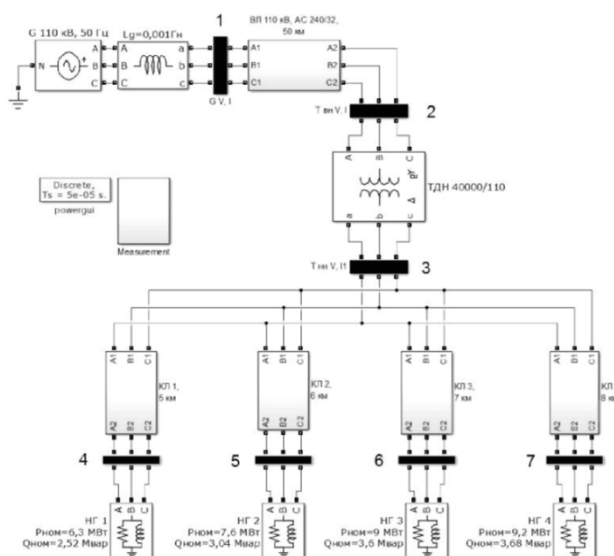


Рис. 2. Принципиальная схема модели электроэнергетической системы

Активная мощность источника питания составляет 3383 МВт. Потери активной мощности на передачу электроэнергии 2,74 МВт, что составляет 8,1 %. Это выше допустимого порога в 5%, после которого возможно делать суждение об ошибке расчета или о хищении электроэнергии. Для исключения этих возможностей предлагается проанализировать потери активной мощности [2].

Потери в сети складываются из потерь в КЛ, трансформаторах и воздушных ЛЭП. Высокие потери в линиях обусловлены большой длиной линии 110 кВ и длинами КЛ. В целом, эти длины не соответствуют рекомендуемым значениям. Они были специально выбраны, чтобы электрически удалить нагрузки от ИП. Это было сделано для того, чтобы максимально снизить влияние идеального ИП на искажения, генерируемые потребителем в дальнейшем. При этом, доли потерь активной мощности на передачу и трансформацию ЭЭ в модели соответствуют нормальным значениям технических потерь реальных распределительных сетей, т. е. доля активных потерь в 8,1% является результатом не ошибки в расчетах, а особенностью описанной модели.

Анализ результатов, полученных в среде Rastr, показывает что нагрузки, работая при напряжениях ниже номинальных значений, потребляют активную и реактивную мощность пропорционально уровню снижения напряжения, что характерно при задании нагрузки постоянным активным и реактивным сопротивлением [2].

Погрешность результатов моделирования с помощью разных ПВК составляет 066% и объясняется отсутствием в Matlab устройства РПН, поэтому для изменения коэффициента трансформации необходимо менять значение номинального напряжения обмотки высокого на-

пряжения, а в Rastr этот параметр меняется путем изменения коэффициента трансформации ветви трансформатора без влияния на остальные параметры [2].

Таким образом, можно заключить:

Предложенная модель в Matlab справедлива, а результаты расчета установившегося режима точны.

Техническая осуществимость предложенной модели подтверждена.

Список использованной литературы

1. Глинский Б. А. Моделирование как метод научного исследования. — М., изд-во МГУ, 1965. 167 с.
 2. Дворкин Д. В. Методика поиска источников несимметрии напряжения в точке общего присоединения подстанции и оценки их фактического влияния: дис. канд. техн. наук: 05.14.02. Москва — 2018. — 195 с.
 3. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. — Москва: Энергоатомиздат, 1989. — 592 с., ил. — ISBN: 5-283-01012-0.
 4. Неклепаев Б. П., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные данные для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. — 4-е изд, перераб. и доп. — М: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с.: ил.
 5. Справочник по проектированию электрических сетей // под ред. Д. Л. Файбисовича. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : ЭНАС, 2012. — 376 с.: ил.
 6. Справочник по проектированию подстанций 35–1150 кВ / под ред. Я. С. Самойлова. — М., 1996. 145.
 7. Инструкция по проектированию городских электрических сетей РД 34.20.185–94 / под ред. В. Д. Лордкипанидзе, К. М. Антипова, Д. Л. Файбисовича. — М.: Энергоатомиздат.
 8. Gregory J. Porter, Andrew Van Sciver. Power quality solutions: case studies for troubleshooters. Lilburn, Ga: FairmontPress, 1999, 277 p.
-

Игнатенко Е. С., Горелов С. В., Лебедькова Н. В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск

Защита ЧИП-конденсаторов от статического электричества на этапах производства

г. Новосибирск

Аннотация: Рассмотрено влияние статического электричества при производстве ЧИП-конденсаторов, способы защиты от статического электричества.

Ключевые слова: чип-конденсатор, статическое электричество.

Ignatenko E. S., Gorelov S. V., Lebedkova N. V.

Siberian state university of water transport, Novosibirsk

Chip capacitor protection against static electricity at the stages of production

Novosibirsk

Abstract: The influence of static electricity in the manufacture of chip capacitors, methods of protection from static electricity.

Keywords: capacitor chip, static electricity.

Электронная промышленность движется в сторону уменьшения габаритов электронных устройств и в сторону увеличения частот переключения: за последние десять лет рабочие частоты преобразователей возросли с 10 кГц до 100 кГц и выше. Требование высоких рабочих частот и малых габаритов приводят к расширению применения танталовых ЧИП-конденсаторов. Они обладают отличными характеристиками: высокой удельной емкостью, малыми габаритами.

При производстве данного вида изделий, разрабатываются новые технологии производства, в которых необходимо учитывать влияние статического электричества на ЧИП-конденсаторы при их производстве. Одна из главных целей производителя является производство не только высококачественных изделий, но и повышение надежности и уменьшение отказов ЧИП-конденсаторов. На этапах производства используются современные автоматизированные установки, обеспечивающие высокую точность и способные производить большое количество изделий, поэтому требуется учитывать появление статического электричества и на оборудовании.

Главной задачей при эксплуатации танталовых ЧИП-конденсаторов является увеличение срока службы и сокращение числа отказов [1]. Анализ показал, что это возможно только при учете их особенностей на всех этапах жизни: производстве, хранении, монтаже, эксплуатации.

В зависимости от типа промышленного оборудования используют один из способов защиты от статического электричества:

1. исключение образования электростатических зарядов;
2. блокирование их попадания на рабочее место;

3. повышение стойкости приборов, комплектующих приспособлений к действию разрядов.

Первый и второй способы позволяют выполнить защиту большой группы различных приборов в производственном комплексе, третий — используется для отдельных устройств [2].

Защиты от статики классифицируют по принципам исполнения на:

- химические;
- физико-механические;
- конструкционно-технологические.

Первые два способа позволяют предотвратить или уменьшить процесс образования статических зарядов, увеличить скорость их стекания. Третий прием защитит приборы от воздействия зарядов, но он не влияет на стекание зарядов.

Улучшить стекание разрядов можно за счет создания коронирования или повышения проводимости материалов, на которых накапливаются заряды.

Решают эти вопросы:

- повышением рабочих поверхностей;
- ионизацией воздуха;
- подбором материалов с лучшей объемной проводимостью.

С учетом их реализации создают подготовленные заранее магистрали для стекания статических зарядов на контур заземления, исключения их попадания на рабочие части приборов. При этом необходимо учитывать, что общее электрическое сопротивление пути не должно превышать 10 Ом.

Защиту необходимо выполнить другими способами, если материалы будут обладать большими сопротивлениями. Иначе на поверхности начнут скапливаться заряды, которые могут разрядиться при контакте с землей [3].

Пример выполнения комплексной электростатической защиты рабочего места для оператора, занимающегося обслуживанием и наладкой электронных приборов, показан на рис. 1.



Рис. 1. Схема применения электрических защит для рабочего стола.

Оператор работает в специальной одежде, обувь с токопроводящей подошвой, сидит на стуле со специальным сидением. Поверхность стола через соединительный провод и токопроводящий коврик подключена к контуру заземления с помощью специальных клемм. Все эти мероприятия позволяют эффективно отводить скапливающиеся заряды на землю.

Ионизаторы воздуха регулируют влажность и снижают потенциал статического электричества. При их использовании учитывают, что повышенное содержание паров воды в воздухе может негативно влиять на здоровье людей. Поэтому ее необходимо поддерживать на уровне порядка 40%.

Также эффективным способом может быть регулярное проветривание помещения или использование в нем системы вентиляции. Воздух проходит через фильтры, смешивается и ионизируется, обеспечивая таким образом нейтрализацию возникающих зарядов.

Для снижения потенциала, накапливаемого телом человека, могут применяться браслеты. Они состоят из токопроводящей полосы, которая крепится на руке с помощью пряжки, которая подключена к проводу заземления.

При таком способе ограничивают ток, протекающий через человеческий организм. Величина тока не должна превышать один миллиампер. Большие значения могут создавать электротравмы и причинять боль.

Во время стекания заряда на землю необходимо обеспечить скорость его ухода за одну секунду. В связи с этим применяют покрытия пола с малым электрическим сопротивлением [4].

Воздействие статического электричества на ход технологических процессов при производстве — актуальная проблема. Целью всех производителей является производство высококачественных конденсаторов, сокращение количества брака при производстве, повышение надежности и уменьшение отказов изделия. Поэтому необходимо изучать проблему воздействия статического электричества на ход технологических процессов при производстве не только конденсаторов, но и других элементов электронной промышленности.

Список использованной литературы

1. Беленький, Б. А. Танталовые конденсаторы — проблемы и перспективы / Б. А. Беленький, Н. С. Горбунов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. — 2008. — № 7. — С. 54–57.
 2. Макгруп. [Электронный ресурс]: Опасность статического электричества для электроники — URL: <https://mcgrp.ru/article/1281-opasnost-staticeskogo-elektrichestva-dlya-elektroniki>
 3. Максимов, Б. К. Статическое электричество в промышленности и защита от него / Максимов Б. К., Обух А. А. — М.: Энергия, 2002 г. — 70 с.
 4. Горелов, В. П. Общая энергетика: учебник: в 2 кн. Кн. 1. Альтернативные источники энергии / В. П. Горелов, С. В. Горелов [и др.]; под ред. В. П. Горелова, Е. В. Ивановой — Новосибирск: Изд-во Сибирского государственного университета водного транспорта, 2016. — 220 с.
-

Бабич А. А., Демченко В. В.

Сургутский государственный университет, г.Сургут

Исследование методов определения остаточного ресурса неизолированных проводов воздушных линий электропередач

г. Сургут

Аннотация: *Транспортировка выработанной электроэнергии от генерирующих станций непосредственным потребителям производится по преимуществу при помощи воздушных линий электропередач. В связи с тем, что изоляция проводов воздушных линий электропередач технически и экономически нецелесообразна, проводниками служат неизолированные алюминиевые или биметаллические (сталеалюминиевые, сталебронзовые) провода. В силу воздействия природных факторов и естественного износа провода со временем теряют необходимые характеристики. Для выявления локальных дефектов или потери сечения применяются различные методы диагностики. Наиболее распространенным и эффективным является метод магнитной дефектоскопии.*

Ключевые слова: *электроэнергия, воздушные линии электропередач, обслуживание линий электропередач, неизолированные провода, остаточный ресурс проводов, методы определения остаточного ресурса, магнитная дефектоскопия, тепловизиальное сканирование*

Babich A. A., Demchenko V. V.

Surgut State University, Surgut

The study of methods for determining the residual life of bare wires of overhead power lines

Surgut

Abstract: *Transportation of generated electricity from generating stations to direct consumers is mainly carried out using overhead power lines. Due to the fact that the insulation of overhead power lines is technically and economically impractical, the conductors are non-insulated aluminum or bimetallic (steel-aluminum, steel-bronze) wires. Because of exposure to the elements and natural wear and tear the wire will eventually lose the necessary characteristics. Various diagnostic methods are used to detect local defects or cross-section loss. The most common and effective method is magnetic flaw detection, and thermal imaging scanning.*

Keywords: *electric power, overhead power lines, maintenance of power lines, non-insulated wires, residual life of wires, methods for determining the residual life, magnetic flaw detection, thermal imaging scanning*

Воздушная линия электропередачи является инженерной системой, состоящей из опор, на которых подвешены проводники. При помощи линий электропередачи транспортируется электрическая энергия от места ее генерации и до конечного потребителя. Опоры линии электропередачи — это столбы или башни, проводником служат высоковольтные провода. Проводник может быть один либо их может быть несколько. Количество проводников, как правило, кратно числу три. Изоляция обеспечивается по большей части воздухом, и в связи с этим воз-

душные линии электропередачи являются самым дешевым способом передачи на дальние расстояния больших объемов электрической энергии.

Воздушные линии электропередачи изолированы от Земли, как правило, с помощью специальных устройств — стеклянных или керамических изоляторов. Однако сам провод оголен — на нем нет изоляции. Воздушные линии электропередачи могут быть разных видов, но нет ни одного, провода которого действительно имеют изоляцию. Провода воздушных высоковольтных линий электропередачи не изолированы, так как противном случае они были бы слишком тяжелыми.

Наиболее распространенный материал для проводников, которые используются в конструкциях ВЛЭП, в современных условиях — алюминий со стальным армированием (ACSR). Практикуется также алюминиевый сплав (АААС) [1]. Применение алюминия обусловлено тем, что его вес составляет половину веса сопоставимого медного кабеля и более низкую стоимость. Но у алюминия есть и свои недостатки — у него ниже, чем у меди, удельная проводимость, поэтому алюминиевый высоковольтный провод должен иметь больший диаметр, чем медный.

Ранее для конструкций ВЛЭП использовались медные провода. В настоящее время медь также применяется, но значительно реже и в основном для заземления и передачи электроэнергии с более низким напряжением.

Если проводник крупнее, то его потери энергии ниже, так как ниже сопротивление. Однако провод с большим сечением стоит дорого. Более мелкий (тонкий) проводник имеет более низкую стоимость, но при этом выше энергопотери. Существует закон Кельвина, или правило оптимизации. В соответствии с данным правилом, для оптимального размера провода нужно следующее. Стоимость потерь энергии при условии использования проводов меньшего размера должна быть равна годовому проценту дополнительной стоимости постройки линии для проводов большего диаметра. Однако при оптимизации следует учитывать и иные факторы — например, стоимость монтажа может вырасти, при эксплуатации ВЛЭП параметры годовой нагрузки меняются и т. д. [5]

Провод является гибким объектом, вес которого равномерен по всей его длине. В соответствии с законами физики, когда проводник подвешен между двумя опорами, он провисает. Провисание проводника тем больше, чем дальше он расположен от башни. Если непосредственно рядом с башней уровень провода практически равен уровню на точке закрепления, то по мере удаления от башни он провисает все больше. Размер максимального провисания провода — это расстояние по вертикали от самой верхней точки провода до самой нижней. Оно не является постоянным, так как провод может растягиваться под влиянием температурных факторов и дополнительных нагрузок, например, обледенения. В соответствии с требованиями безопасности нужно обеспечивать наличие минимального верхнего зазора. Когда через провод проходит электричество, он нагревается, и его длина увеличивается. В связи с этим иногда можно увеличить пропускную способность мощности путем замены проводников на тип с более низким коэффициентом теплового расширения или более высокой допустимой рабочей температурой.

Техническое обслуживание линий электропередач играет очень важную роль в передаче электроэнергии, вырабатываемой на различных генерирующих станциях на большие расстояния. С помощью такой передачи можно распределять электроэнергию между различными типами потребителей через подстанции с наименьшими потерями на линии.

Для бесперебойного электроснабжения крайне важно поддерживать линии электропередачи в чистом и исправном состоянии.

Техническое обслуживание линии электропередач проводится методом «горячей линии» либо «холодной линии». В методе «холодной линии» техническое обслуживание осуществляется путем отключения линии. Дефекты, замеченные при патрулировании линии, оперативно

устраняются, однако из-за перебоев в работе линии возникают огромные потери доходов и недовольство клиентов. Эти факторы являются основными недостатками обслуживания методом «холодной линии». Поэтому обслуживание по методу «горячей линии» более предпочтительно. Оно требует меньше трудозатрат и производится быстрее, чем техническое обслуживание и ремонт ВЛЭП в режиме «холодной линии».

Таким образом, метод обслуживания ВЛЭП «горячей линии» предпочтителен, так как он менее трудоемок и не предполагает отключение конечного потребителя.

Чтобы работа ВЛЭП была надежной и бесперебойной, требуется организация регулярного инструментального контроля всех структурных элементов линии. В том числе особое внимание должно уделяться проводникам. Мероприятия по контролю технического состояния проводов повышают надежность и эксплуатационную готовность ЛЭП.

На неизолированные проводники существенно влияют воздействия метеорологических факторов, а также эксплуатационных нагрузок. Также под данным воздействием меняется состояние от проводников до грунта и других объектов, которые пересекает ВЛЭП. Это могут быть как ЛЭП более низкого напряжения, так и различные здания, оборудование, сооружения и т. д.

Далее представлены отрицательные последствия воздействия метеорологических и эксплуатационных факторов воздействия на провода и иное оборудование ВЛЭП.

Возникают серьезные остаточные деформации, вызванные ветровыми и гололедными нагрузками;

Формируются усталостные повреждения от постоянной интенсивной вибрации проводников;

Механические свойства проволоки, составляющей структуру провода, деградируют со временем, так как на них воздействует термическая нагрузка как в рабочем режиме, так и при возможных коротких замыканиях;

В случае, если используются биметаллические проводники, сердечник из стали может потерять первоначальное поперечное сечение (фрикционный и коррозионный износ).

В настоящее время существует возможность осуществлять неразрушающий контроль объектов линейного оборудования воздушных линий. В качестве примера можно привести методы ультразвукового контроля, тепловизионного контроля, магнитной дефектоскопии и т. д. [2].

Техническое состояние проводников ВЛЭП может оцениваться при помощи визуального контроля, то есть осмотра, однако такой метод не дает полноценной гарантии точности диагностики. Этим обусловлено применение инструментальных методов. Так, фрикционный износ, коррозия и дефекты внутренних проволок в стальном сердечнике биметаллических проводников наружный осмотр обнаружить не позволяет. Между тем, из-за таких повреждений происходит потеря сечения сердечника провода, что является важнейшей характеристикой, определяющей его остаточную прочность. Потеря сечения и наличие локальных дефектов считается одним из базовых критериев браковки, наряду с количеством обрывов проволок на шаге свивки провода или троса.

Линии электропередач и их окрестности должны обслуживаться бригадами линейщиков, которые контролируют состояние устройств, разбирают завалы, спиливают ветки на просеках и т. д. Иногда им помогают вертолеты с мойками высокого давления или циркулярными пилами, которые могут работать в три раза быстрее. Однако эта работа часто происходит в опасных зонах высоты и скорости вертолета, и пилот должен быть высоко квалифицированным для этого метода.

Современные методы диагностики линий электропередач включают: измерение сопротивления, тепловизионное сканирование, магнитная дефектоскопия.

Измерение сопротивления электрического соединения производится прибором, который предназначен для подключения непосредственно к линии и непосредственно считывает сопротивление в микроомах. Линейный микроомметр предназначен для хранения до 9 комплектов показаний. Он измеряет падение напряжения, линейный ток и отображает расчетное сопротивление. Отношение сопротивления соединения (R_j) и опорного сопротивления равной длины проводника (R_c) указывает на состояние соединения. Значение R_j / R_c должно быть < 1 . Соотношение > 3 является серьезным, нуждается в срочной замене.

С помощью термо-визуального сканирования можно обнаружить точки повреждения. Технология тепловизионного изображения была изобретена в середине XX века и с тех пор существенно эволюционировала. Термовизуальные камеры, с помощью которых производится тепловая обработка изображений, стали компактными системами, которые выглядят просто как цифровая видеокамера или цифровая фотокамера. Они очень легки в использовании и обеспечивают создание четких изображений с высоким разрешением в реальном времени. Тепловизионная технология стала одной из самых популярных и ценных диагностических инструментов для промышленного применения. Путем обнаружения аномалий, которые обычно невидимы невооруженным глазом, термическая визуализация позволяет принимать корректирующие меры до того, как произойдут системные сбои, которые могут быть весьма дорогостоящими.

Тепловизионные камеры — это уникальный инструмент для определения того, когда и там, где требуется техническое обслуживание, например, электрическое оборудование может нагреваться, горячими, прежде чем они выйдут из строя. Это позволяет избежать дорогостоящих производственных поломок. Тепловизионная камера является надежным бесконтактным прибором, который способен сканировать и визуализировать распределение температуры всех поверхностей машин и электрооборудования быстро и очень точно. Программы термографии внесли свой вклад в существенную экономию средств для мониторинга воздушных линий электропередач.

В настоящее время оценка остаточного ресурса неизолированных проводов в практике российских и зарубежных электроэнергетиков все чаще применяется методика магнитной дефектоскопии [4]. Магнитная дефектоскопия по своей сути является неразрушающим контролем. При помощи этого метода обнаруживаются поверхностные и неглубокие подповерхностные разрывы в ферромагнитных материалах, таких как железо, никель, кобальт и некоторые их сплавы. Этот процесс создает магнитное поле в проверяемом объекте. Объект может быть намагничен прямым или косвенным намагничиванием.

Прямое намагничивание происходит, когда электрический ток проходит через испытуемый объект и в его материале образуется магнитное поле.

Косвенное намагничивание происходит тогда, когда через испытуемый объект не пропускается электрический ток, а прикладывается магнитное поле от внешнего источника.

Магнитные силовые линии перпендикулярны направлению электрического тока, который может быть либо переменным током (AC), либо некоторой формой постоянного тока (DC) (выпрямленный переменный ток).

Наличие поверхностного или подповерхностного разрыва в материале позволяет магнитному потоку протекать, поскольку воздух не может поддерживать такое же магнитное поле на единицу объема, как металлы.

Для выявления утечки на объект наносятся частицы железа, как сухие, так и во влажной суспензии. Они притягиваются к области утечки потока и образуют то, что известно как индикация, которая оценивается для определения ее природы, причины и направления действия, если таковые имеются.

Вне зависимости от того, какой именно метод используется — переменное или постоянное магнитное поле — в большинстве аппаратов для магнитной дефектоскопии есть имеют два канала регистрации дефектов — каналы потери сечения и каналы локальных дефектов. Контроль технического состояния с использованием магнитных дефектоскопов обычно выполняется без опускания проводов и тросов на землю, но со снятием напряжения с воздушных линий.

Монтаж и демонтаж дефектоскопического аппарата и систем FPV на высоте подвески провода выполняется с использованием вспомогательных технических средств (подъемник, монтажная тележка и т. п.). Для того, чтобы записать дефектограммы потери сечения и локальных дефектов, измерительная головка дефектоскопа должна быть перемещена вдоль исследуемого участка провода. Это может быть произведено как вручную (при помощи троса), так и с использованием автономного дистанционно управляемого самоходного устройства.

Текущее состояние и остаточный ресурс проводов, по требованиям нормативных документов, классифицируется следующим образом (провода типа АС):

- нормальное состояние — потеря сечения не более 3,6%;
- рабочее состояние — потеря сечения от 3,6 до 11%;
- ухудшенное состояние — потеря сечения от 11 до 20%;
- предаварийное состояние — потеря сечения более 20%, имеющиеся обрывы сердечника в проводе.

Допустимое количество локальных дефектов типа обрывов проволок сердечника провода зависит от их конструкции, однако количество оборванных проволок в одном сечении провода в любом случае не должно превышать 20%.

По результатам исследования состояния проводов назначаются очередная диагностика, причем сроки ее проведения — следующие:

- Нормальное и рабочее состояния — про прошествии 6 лет;
- Ухудшенное состояние — про прошествии 6 лет.

Достаточно подробно разработан ряд традиционных методов прочностного расчета АС проводов как биметаллических конструкций разработаны [4]. Требования к прочности проводов сформулированы в ПУЭ-7[2].

В ПУЭ-7 [2] содержится требование, чтобы напряжения в проводе не превышали допустимого значения $[\sigma]$, которое назначается в зависимости от типа и марки провода и характерных условий эксплуатации.

Для проводов АС и «среднегодовой температуры» принимается $[\sigma] = 0,3\sigma_B$.

В механике конструкций подобное соотношение записывают в виде:

$$[\sigma] = \sigma_B/[n],$$

где параметр $[n]$ имеет смысл нормативного коэффициента запаса прочности.

Тяжение нового провода назначается из условия:

$$n_0 \geq [n] = 3,3.$$

Прочностные показатели $\tilde{n}$ и χ предлагается использовать при оценке текущего режима работы провода с дефектами. Соответствие диагностического параметра «Потеря сечения сердечника» вышеприведенным критериям оценки ТС проводов типа АС проиллюстрировано на рис. 1

Предельно допустимый коэффициент запаса прочности провода с повреждениями (запас живучести) n^* соответствует допустимым нормам дефектности в элементе воздушных линий на границе зон «Ухудшенное состояние» и «Предаварийное состояние». Например, для про-

водов АС с отношением площадей сечений алюминиевой и стальной части, равной $KAC=7,71$ и потеря сечения сердечника 20%, относительная потеря прочности провода χ составляет около 10% и, следовательно, n^* можно принять равным:

$$n^*=[n](1-\chi)=3,3(1-0,10)=2,97$$

(или, с некоторым риском, даже 2,5).

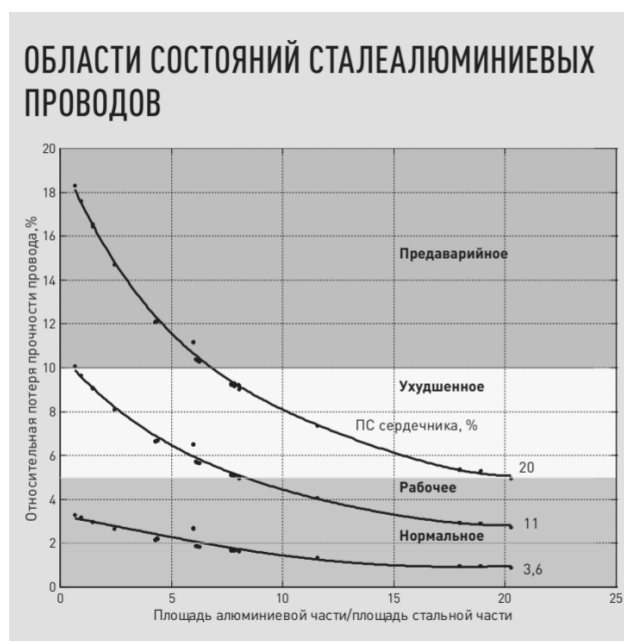


Рис. 1. Области состояний сталеалюминиевых проводов

Далее представлен ряд проблем и общих особенностей, которые характерны для результатов расчетов остаточной прочности дефектных проводов:

- Расчетную оценку остаточного ресурса проводов необходимо проводить с учетом того, как меняются прочностные характеристики соответствующего конструкционного материала в условиях длительной эксплуатации [7].

- биметаллические провода теряют прочность в меньшей степени по сравнению со значением потери сечения сердечника, потому что часть нагрузки воспринимает токопроводящий повив (алюминиевый или бронзовый).

- При расчете провода по модели спирального каната, в отличие от «стержневого приближения», необходим учет неравномерного распределения напряжений по проволокам. Неравномерность вызвана тем, что имеет место растяжение, изгиб и кручение проволоки. В данном случае потеря прочности больше «стержневого приближения».

- Снижение коэффициента запаса прочности более выражено для проводов, конструкция сердечника которых более сложная. От степени сложности конструкции сердечника зависит степень различия запасов прочности у нового провода и у провода с дефектом (при условии сопоставимого тяжения).

Таким образом, наиболее эффективный метод определения остаточного ресурса неизолированных проводов воздушных линий электропередач — это магнитная дефектоскопия. При помощи этого метода производится неразрушающий контроль и диагностика технического состояния биметаллических (сталеалюминиевых и сталебронзовых) неизолированных проводов. Метод находит все более широкое применение в практике обследований воздушных ли-

ний напряжением 35–500 кВ, проводимых с целью оценки технического состояния линейного оборудования.

Необходимость применения магнитной дефектоскопии при диагностике технического состояния линейного оборудования воздушных линий должна быть отражена в нормативно-технических документах, регламентирующих порядок проведения и очередность контрольно-диагностических работ на линиях.

Параметр состояния неизолированного провода воздушной линии электропередач — коэффициент запаса остаточной прочности, рассчитанный по данным дефектоскопии. Этот показатель может служить дополнительным аргументом при принятии эксплуатационным персоналом соответствующих решений, что может сократить многомиллионные расходы на ремонтно-восстановительные работы или замену проводов.

Периодическое повторное обследование с применением технологии магнитной дефектоскопии позволяет оценить темпы старения проводов, а также разработать на этой основе метод количественной оценки их остаточного срока службы.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 839–80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия (с Изменениями N 1, 2)
 2. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Стереотип. переизд. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2008.
 3. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
 4. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты. Одесса: Астропринт, 2013.
 5. Кессельман Л. М. Основы механики воздушных линий электропередач. М.: Энергоатомиздат, 1992.
 6. Методические указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. Основные положения. Котельников В. С., Сухоруков В. В., Короткий А. А. и др. РД-03–348–00. М.: Гостехнадзор, 2000.
 7. Сухоруков В. В. Неразрушающий контроль стальных канатов : новые приборы.// Контроль. Диагностика. №1. 1999.
-

Денчик Ю. М.¹, Иванова Е. В.², Иванов М. Н.³, Палагушкин Б. В.⁴,
Романов М. Н.⁵, Сальников В. Г.⁶

¹ ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск

² ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

³ ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

⁴ ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

⁵ ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

⁶ БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут.

Электромагнитная обстановка в электрических сетях Прииртышья

г. Сургут

Аннотация: Приведены результаты исследований низкочастотных кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП), распространяющихся по сетям от 10 до 220 кВ Прииртышья, при несинусоидальной форме кривой напряжения и несимметрии напряжений по обратной последовательности. Сформулирована концепция подавления этих помех, обеспечивающая электромагнитную совместимость (ЭМС) технических средств.

Ключевые слова: кондуктивная электромагнитная помеха, электромагнитная совместимость, кривая напряжения, обратная последовательность, технические средства.

Denchik Y. M.¹, Ivanova E. V.², Ivanov M. N.³, Palagushkin B. V.⁴,
Romanov M. N.⁵, Salnikov V. G.⁶

¹ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

² Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

³ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

⁴ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

⁵ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

⁶ Surgut State University, Surgut

Electromagnetic environment in the electrical networks of the Irtysh region

Surgut

Abstract: The results of studies of low-frequency conductive electromagnetic interference (EMI) propagating through networks from 10 to 220 kV in the Irtysh region, with a non-sinusoidal shape of the voltage curve and voltage asymmetry in the reverse sequence are presented. The concept of suppression of these interferences providing electromagnetic compatibility (EMC) of technical means is formulated.

Keywords: conductive electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, voltage curve, reverse sequence, technical means.

Экономика регионов Прииртышья России и Казахстана исторически развивается на основе единой системы сначала водного, а потом и электрифицированного железнодорожного транспорта, и каменного угля Экибастусского угольного бассейна. Омские ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5 рас-

ходуют за год на выработку тепловой и электрической энергии около 5000 тыс.т. этого угля. Электроэнергетические системы (ЭЭС) (ОЭС Сибири и ОЭС Урала) России связаны с ОЭС Казахстана воздушными линиями (ВЛ) электропередачи напряжением 220, 550 и 1150 кВ с суммарной пропускной способностью в межсистемном сечении 3000 МВт. Кроме этого регионы Российской Федерации (Омская область, Алтайский край, Новосибирская область) связаны с регионами Прииртышья Республики Казахстан (Восточно-Казахстанская область, Павлодарская область) ВЛ электропередачи высокого напряжения. В связи с этим проблемы ЭМС технических средств в ЭЭС этих регионов взаимосвязаны и являются актуальными [1, 2]. Это подтверждается проведёнными измерениями показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в сетях от 10 до 220 кВ. В частности, коэффициент искажения синусоидальности кривой междофазного (фазного) напряжения (K_U) и коэффициент несимметрии напряжений обратной последовательности (K_{2U}) с недопустимо высокой вероятностью не соответствуют требованиям ГОСТ 32144–2013 [3].

Нарушения ПКЭ усложняют электромагнитную обстановку (ЭМО), которая характеризуется совокупностью электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, частотном и временном диапазонах [3]. Экономика предприятий регионов терпит убытки, так как нормы ПКЭ обоснованы как с экономической, так и с технической точек зрения [1, 2, 4].

Задача повышения качества электроэнергии в электрических сетях России приобретает первостепенное значение в связи с выходом на международную арену, в том числе, Всемирную торговую организацию (ВТО). Встала задача изменить отношение к вопросам ЭМС технических средств и, в том числе, к необходимости повышения качества электроэнергии с точки зрения их соответствия с международными стандартами. Поэтому документ Госстандарта РФ «Межведомственная программа мер по обеспечению выполнения в полном объёме требований Соглашения по техническим барьерам в торговле и Соглашения по применению санитарных и фитосанитарных мер Всемирной торговой организации на 2002–2005 годы» устанавливает, что разработка проекта технического регламента «Об электромагнитной совместимости» относится к числу первоочередных проектов законодательных и нормативных правовых актов, обеспечивающих реализацию положений указанного соглашения [4].

В связи с изложенным разработаны методология анализа появления кондуктивных ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности и по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения и концепция их подавления в соответствии с требованиями стандарта [1].

Первоначально, несмотря на то, что к измерению ПКЭ допускаются приборы и измерительные комплексы (ИВК), которые наряду с другими требованиями соответствуют также требованиям ГОСТ 13109–97 по интервалам усреднения результатов измерений, осуществим ретроспективный научно обоснованный анализ достаточности представления ЭМО в ЭЭС, в которых нарушены нормативные уровни ЭМС, только ПКЭ.

В [7] доказано, что ПКЭ показывают (фиксируют, отображают) параметры ЭМО в системах и электрических сетях при нормируемых уровнях ЭМС в момент времени t . Можно отметить, что каждый показатель качества электроэнергии в течение продолжительности измерения, принятого за расчётное, можно охарактеризовать множеством действительных чисел M_i , которые непрерывно распределены в заданных интервалах случайных величин.

Это множество, согласно положениям теории множеств, является точечным и конечным, так как может быть занумеровано не более чем n числами. Множество является ограниченным вследствие того, что каждое значение X_i ограничено как сверху, так и снизу определёнными пределами изменения ПКЭ, которые возможны в реальной электрической системе.

Множество M_i является замкнутым, так как содержит все свои предельные точки ($\sup M_i$, $\inf M_i$). Это множество также ограничено, так как может быть заключено в n -мерный шар конечного радиуса. Оно является подмножеством множества $\sum M$, отображающего все параметры ЭМО при низком качестве электроэнергии.

Множество $\sum M$ является математической моделью

$$\sum M = \{g^{(1)}, g^{(2)}, \dots, g^{(i)}, \dots, g^{(n)}\}, \quad (1)$$

где n — количество ПКЭ, характеризующих ЭМО в сети; $g^{(i)}$ — параметр i -го ПКЭ; $g^{(n)} \in \sum M$; $i = \overline{1, n}$ — замкнутое множество.

Длительность и число необходимых интервалов измерения параметра g_i можно определить из проведённого предварительного исследования ЭМО. Эти параметры устанавливаются на счётных устройствах ИВК [2]. По данным, полученным в ходе исследований с исследуемых интервалов, являющихся подмножествами $M_{i,u}$ множества M_i ($M_{i,u} \in M_i$), составляется таблица распределения

$$X_i \left\{ \begin{matrix} x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n \\ p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_i), \dots, p(x_n) \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ — возможные значения, принимаемые X_i ;

$p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_i), \dots, p(x_n)$ — вероятности возможных значений.

Таким образом, полученным значениям параметров ЭМО по самому существу присуща некоторая неопределённость потому, что табличное описание предполагает выбор определённой системы интервалов, зависящей в известной степени от опыта исследователя и от точности измерений. На основании изложенного можно сказать, что составленная таблица распределения X_i по интервалам и гистограмма распределения этой величины не отображают случайный процесс с достаточной достоверностью [3, 5]. Для устранения этой неопределённости необходимо оценивать результаты измерений методами теории вероятности и математической статистики.

Измеренные параметры ЭМО позволяют характеризовать электроэнергию как товар на розничном и оптовом рынках электроэнергии. Эти параметры можно отнести к разделу метрологии — к квалиметрии, в котором изучаются вопросы измерения качества. По ПКЭ можно судить о происходящих в ЭЭС электромагнитных процессах, ухудшающих ЭМС технических средств, только косвенно.

В ЭЭС с низким ПКЭ ЭМО характеризуется n -ым количеством случайных процессов, каждый из которых представляется средствами измерения непрерывно распределёнными случайными величинами X_i . Все эти случайные процессы формируют единый случайный процесс. Исчерпывающая информация о таком сложном электромагнитном процессе содержится в его многомерной интегральной функции распределения вероятности

$$F_n(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n) = P(X_1 \leq X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n \leq X_n), \quad (3)$$

Приведённая функция характеризует вероятность того, что в моменты времени t_i случайная величина X_i не превысит определённых своих значений. Многомерная дифференциальная функция распределения вероятности определяется по формуле

$$P_n(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n; t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_n) = \frac{\partial^n F_n}{\partial X_1 \partial X_2 \dots \partial X_i \dots \partial X_n} \quad (4)$$

При исследовании автокорреляционной и нормированной автокорреляционной функции случайных процессов, связанных с несимметрией и несинусоидальностью напряжений, показано, что электромагнитный процесс в ЭЭС, вызванный изменением одного или нескольких ПКЭ является стационарным, обладающим свойством эргодичности. Поэтому электромагнитную обстановку практически любой сложности допустимо рассматривать в виде среды, созданной совокупностью случайных процессов, в которой возникают кондуктивные электромагнитные помехи, распространяющиеся по сетям [5, 7].

Во-вторых, анализ условий появления кондуктивных ЭМП δK_U и δK_{2U} и методику их определения изложим на основании того, что ПКЭ являются параметрами случайных процессов, зависящими от многих случайных факторов, связаны с полем событий, характеризуются таблицами вероятностей вида (2). Стандартом [1] для ПКЭ установлены нормы. В соответствии с этими нормами, наибольшие значения коэффициентов K_u и K_{2U}

не могут превышать предельно допустимые значения, а значения тех же ПКЭ, определённые с вероятностью 95% не должны быть больше нормально допустимых значений.

В случаях, когда происходит превышение нормально допустимого значения часть поля события уравнения (2) говорит о появлении кондуктивной электромагнитной помехи по интересующему показателю качества, связанную с особенностями технологического процесса при генерировании, передаче и потреблении электроэнергии. Следовательно, реальные значения кондуктивной электромагнитной помехи возможно определить только с помощью статистических методов [2, 3, 7].

Появление кондуктивной электромагнитной помехи в сети по одному из перечисленных показателей качества электроэнергии можно выразить в виде математической модели

$$X[P(x_n \leq X \leq x_n) > 0,05; P(x_n < X < \infty) \neq 0] \subset \delta X, \quad (5)$$

где x_n , x_n — соответственно нормально и предельно допустимое значение X рассматриваемого ПКЭ.

Таким образом, можно сказать, что кондуктивная ЭМП δX появляется в электроэнергетической системе, если в течение расчётного времени (суток) вероятность $P(x_n < X < x_n)$ нахождения величины X в диапазоне (x_n, x_n) больше 0,05, а вероятность $P(x_n < X < \infty)$ появления X в пределах $(x_n; \infty)$ не равна нулю. Такая кондуктивная электромагнитная помеха может появиться при выполнении только одного условия.

При определении параметров распределения кондуктивной электромагнитной будем использовать положения теории производящих функций. В [6] доказано, что эта ЭМП является производящей функцией случайной величины X , заданной таблицей,

$$\delta X = e^{Xt}, \quad (6)$$

где t — время.

Поэтому можно записать следующую систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} M[X] &= M[\delta X] \\ \sigma[X] &= \sigma[\delta X] \\ \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} &= \varphi\{\delta X, M[\delta X], \sigma[\delta X]\} \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где $M[X]$, $\sigma[X]$, $\varphi\{X, M[X], \sigma[X]\}$ — соответственно математическое ожидание, среднее квадратичное отклонение и плотность вероятности распределения параметра X ЭМО в ЭЭС;

$M[\delta X]$, $\sigma[\delta X]$, $\varphi\{\delta X, M[\delta X], \sigma[\delta X]\}$ — тоже производящей функции δX .

Это позволит интегральные функции распределения, изложенные в математической модели (5), определить по выражениям

$$P(x_n \leq X \leq x_n) = \int_{x_n}^{x_n} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dx; \quad (8)$$

$$P(x_n \leq X \leq \infty) = \int_{x_n}^{\infty} \varphi\{X, M[X], \sigma[X]\} dx. \quad (9)$$

Вероятность появления кондуктивной ЭМП δX можно определить по формуле

$$P(\delta X) = P(x_n \leq X \leq x_n) + P(x_n \leq X \leq \infty) - 0,05. \quad (10)$$

Следовательно, кондуктивная электромагнитная помеха δX научно обоснованно (качественно и количественно) отображает электромагнитную обстановку в ЭЭС, при которой нарушается ЭМС технических средств. Областью применения изложенной методики являются сети от 10 до 220 кВ, подверженные гармоническому воздействию при несимметрии напряжений по обратной последовательности. Это позволило определить методический подход к разработке концепции подавления кондуктивных ЭМП в ЭЭС, распространяющихся по сетям.

Основными положениями этой концепции, которая обеспечивает нормируемый уровень ЭМС технических средств в ЭЭС, являются:

- определение с нужным приближением законов и параметров распределения кондуктивных ЭМП;
- нахождение вероятностей появления кондуктивных ЭМП;
- анализ негативного влияния кондуктивных ЭМП;
- выбор и разработка технических решений, обуславливающих подавление кондуктивных ЭМП до допустимой величины.

Применение для реальных электроэнергетических систем рассмотренной концепции позволило обеспечить электромагнитную совместимость технических средств в указанных в таблице сетях Прииртышья. Как показали расчёты, срок окупаемости затрат на осуществление мероприятий по подавлению кондуктивных ЭМП составит не более 3 лет. Экономический эффект равен 0,3–0,4 руб. на 1 руб. капиталовложений [7].

Таблица

Параметры кондуктивных ЭМП ($\delta K_U / \delta K_{2U}$) в исследуемых сетях Прииртышья

№	Наименование сети	$\frac{M[\delta K_U], \%}{M[\delta K_{2U}], \%}$	$\frac{\sigma[\delta K_U], \%}{\sigma[\delta K_{2U}], \%}$	$\frac{P[\delta K_U], \text{о.е.}}{P[\delta K_{2U}], \text{о.е.}}$
1	Сеть 35 кВ Омского судоремонтного завода	$\frac{4,1}{0}$	$\frac{1,1}{0}$	$\frac{0,53}{0}$
2	Сеть 35 кВ Экибастузского угольного бассейна	$\frac{3,16}{4,96}$	$\frac{0,78}{0,34}$	$\frac{0,09}{0,95}$
3	Сеть 110 кВ общего назначения Омского Прииртышья	$\frac{2,23}{0}$	$\frac{0,69}{0}$	$\frac{0,59}{0}$
4	Сеть 110 кВ Экибастузского промышленного центра	$\frac{2,3}{1,9}$	$\frac{0,74}{0,5}$	$\frac{0,62}{0,37}$

№	Наименование сети	$\frac{M[\delta K_U], \%}{M[\delta K_{2U}], \%}$	$\frac{\sigma[\delta K_U], \%}{\sigma[\delta K_{2U}], \%}$	$\frac{P[\delta K_U], \text{о. е.}}{P[\delta K_{2U}], \text{о. е.}}$
5	Сеть 220 кВ Экибастузского топливно-энергетического комплекса	$\frac{1,46}{0}$	$\frac{0,31}{0}$	$\frac{0,04}{0}$
6	Сеть 10 кВ Омского речного порта	$\frac{3,91}{0}$	$\frac{1,1}{0}$	$\frac{0,53}{0}$
7	Сеть 10 кВ Восточно-Казахстанского промышленного центра	$\frac{5,63}{0}$	$\frac{1,5}{0}$	$\frac{0,6}{0}$

Список использованной литературы

1. Данилов Г. А. Повышение качества функционирования линий электропередачи: монография / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников; под ред. В. П. Горедлова и В. Г. Сальникова. — М. — Берлин: Директ-Медиа, 2015. — 558 с.
2. Иванова Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е. В. Иванова; под ред. В. П. Горелова и Н. Н. Лизалека. — Новосибирск: НГавт, 2006. — 432 с.
3. ГОСТ 32144 — 2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160: 2010, NEQ). — М.: Стандартинформ, 2014 — 16 с.
4. Добрусин Л. Моделирование влияния преобразователей на сеть в среде системы Design-Рspice / Л. Добрусин // Силовая электроника. — М., 2005. — №3. — С. 124–127.
5. Иванова Е. В. Обеспечение электромагнитной совместимости в системах электроснабжения общего назначения мощных электротермических нагрузок / Е. В. Иванова // Промышленная энергетика. — М., 2004. — № 11. — С. 50–54.
6. Смирнов Н. В. Курс теории вероятностей и математической статистики / Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. — М.: Наука, 1965. — 511 с.
7. Сальников В. Г. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой / В. Г. Сальников, М. Г. Вишнягов, Ю. М. Иванова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2008. — №2. — С. 242–247.

Денчик Ю. М.¹, Иванова Е. В.², Кислицин Е. Ю.³, Палагушкин Б. В.⁴,
Романов М. Н.⁵, Сальников В. Г.⁶

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

³ БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут.

⁴ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

⁵ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск.

⁶ БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут.

Исследования качества функционирования электрической сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора

г. Сургут

Аннотация: В современных условиях на первое место в вопросах снабжения электрической энергией потребителей выходит задача повышения качества электроэнергии. При экспериментальном исследовании режимов замыкания фазы на землю были определены электромагнитные помехи по искажению синусоидальности напряжения. Проведён анализ экспериментального исследования режимов металлического замыкания на землю и определена кратность коммутационного импульсного напряжения, определена частота переходного процесса изменения напряжения.

Ключевые слова: Кондуктивная электромагнитная помеха, показатели качества, электроэнергетическая система, однофазное замыкание, осциллографирование, резонанс.

Denchik Y. M.¹, Ivanovf E. V.², Kislicin E. Y.³, Palagushkin B. V.⁴,
Romanov M. N.⁵, Salnikov V. G.⁶

¹ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

² Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

³ Surgut State University, Surgut.

⁴ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

⁵ Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk.

⁶ Surgut State University, Surgut.

Studies of the quality of functioning of the 10 kV electric network with an isolated neutral as a receptor

Surgut

Abstract: In modern conditions, the task of improving the quality of electricity comes first in the supply of electric energy to consumers. The experimental study of the modes of phase closure to the ground includes the determination of electromagnetic interference by the distortion of the voltage sinusoidality. The analysis of the experimental study of the modes of metal earth fault is carried out and the multiplicity of switching pulse voltage is determined, the frequency of the transient process of voltage change is determined.

Keywords: Conductive electromagnetic interference, quality indicators, electric power system, single-phase short-circuit, oscillography, resonance.

Кондуктивная электромагнитная помеха (ЭМП), связанная с не ипичными показателями качества электроэнергии (КЭ), является характеристикой работы сетей от 6 до 35 кВ в электроэнергетических системах (ЭС). Сильное негативное влияние на показатели качества оказывает кондуктивная электромагнитная помеха (ЭМП) по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения в случае замыкания фазы на землю. В связи с существенным отрицательным влиянием на сеть как рецептор при экспериментальных исследованиях режимов замыкания фаз на землю включается исследование ЭМП по искажению синусоидальности напряжения δK_U в энергетических сетях. Одним из этапов исследований является изучение параметров переходных процессов при однофазных замыканиях на землю, фиксирование кривых токов и фазных напряжений при замыканиях на землю, и обработку полученных результатов с помощью математических методов анализа.

При проведении экспериментальных исследований будем использовать комплексный метод, суть которого в следующем [6, 5]:

- снимаются временные диаграммы фазных напряжений и токов при замыканиях на землю, что позволит исследовать полученные результаты математическими способами с помощью внешних программ;
- определяются такие показатели, как гармонический состав исследуемых кривых, так и гармоники основных частот;
- по результатам исследований и математической обработки производится анализ.

Экспериментальные исследования были проведены на подстанции «Сахалин» 110/10 кВ ООО «Газпром транс Томск». [5, 4]. В качестве исследуемой системы была принята 11 система шин (СШ), к которой были подключены измерительные приборы и электрооборудование. Для проведения исследований была использована схема электрическая принципиальная (рис. 1), на которой показаны места подключения электроизмерительных приборов. Исследования проводились на фазе С. Регистрация напряжения фазы осуществлялась с помощью высоковольтных делителей напряжения (ДН).

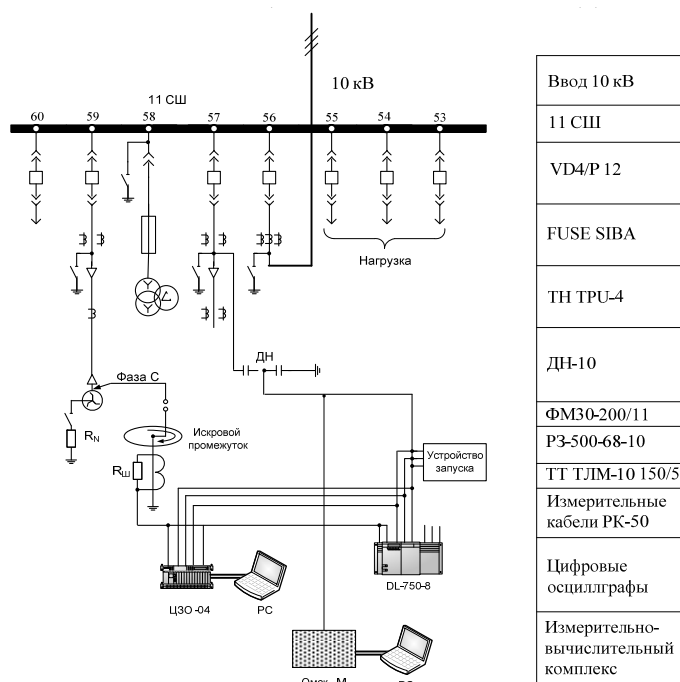


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная для измерения искажений и снятия осциллограмм фазных напряжений и тока замыкания фазы на землю ($R_{ш} = 0,721 \text{ Ом}$).

Для определения кондуктивных электромагнитных помех по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения был принят порядок в соответствии с положениями теории повышения качества функционирования технических средств.

ГОСТом 13109–97 определены уровни электромагнитной совместимости технических средств в электрических сетях по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения.

Возникновение кондуктивных электромагнитных помех по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения можно представить с помощью математической модели [1]

$$K_U [P(K_{U,n} \leq K_U \leq K_{U,\Pi}) > 0,05; P(K_{U,\Pi} < K_U < \infty) \neq 0] \subset \delta K_U, \quad (1)$$

где δK_U — кондуктивная ЭМП по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, %.

Как следует из математической модели, кондуктивная электромагнитная помеха δK_U появляется в сети в том случае, когда вероятность существования величины K_U в течение 24 часов в диапазоне $(K_{U,n}; K_{U,\Pi})$ превышает 0,05, а в пределах $(K_{U,\Pi}, \infty)$ — отлична от нуля. Для появления кондуктивных электромагнитных помех достаточно выполнения только одного из приведённых выше условий [3].

Интегральная функция распределения случайной величины K_U в интервале $(K_{U,n}; K_{U,\Pi})$ определяется по формуле [3].

$$P(K_{U,n} \leq K_U \leq K_{U,\Pi}) = \int_{K_{U,n}}^{K_{U,\Pi}} \Psi(K_U) d(K_U), \quad (2)$$

где $\Psi(K_U)$ — плотность вероятности распределения величины K_U , 1/%.

Такая же функция распределения в интервале $(K_{U,\Pi}, \infty)$ рассчитывается по формуле [2]

$$P(K_{U,\Pi} < K_U < \infty) = \int_{K_{U,\Pi}}^{\infty} \Psi(K_U) d(K_U). \quad (3)$$

Из теоремы о равенстве начальных моментов и следствия из этой теоремы (о равенстве центральных моментов распределения непрерывной случайной величины и её производящей функции) можно получить:

$$M[K_U] = M[\delta K_U]; \quad (4)$$

$$\sigma[K_U] = \sigma[\delta K_U], \quad (5)$$

где $M[K_U]$, $M[\delta K_U]$ — математическое ожидание соответственно величины K_U и δK_U , %.

$\sigma[K_U]$, $\sigma[\delta K_U]$ — средние квадратические отклонения этих же величин, %.

На основании следствия из теоремы единственности и теоремы непрерывности теории производящих функций можем записать следующее равенство

$$\Psi\{K_U, M[K_U], \sigma[K_U]\} = \Psi\{\delta K_U, M[\delta K_U], \sigma[\delta K_U]\}, \quad (6)$$

где $\Psi\{K_U, M[K_U], \sigma[K_U]\}$ — плотность вероятности распределения случайной величины K_U , 1/%;

$\Psi\{\delta K_U, M[\delta K_U], \sigma[\delta K_U]\}$ — тоже величины δK_U , 1/‰.

Вероятность появления кондуктивной электромагнитной помехи можно определить [4]

$$P(\delta K_U) = P(K_{U,н} \leq K_U \leq K_{U,д}) + P(K_{U,д} < K_U < \infty) - 0.05. \quad (7)$$

Рассмотренный порядок расчёта δK_U используем для определения показателей качества функционирования исследуемой сети.

По полученным в ходе экспериментов результатам были построены гистограммы распределения значений коэффициента искажений синусоидальности кривой напряжения в исследуемой сети в течение 24 часов (см. рис. 2). Результаты, полученные в ходе экспериментов показали, что распределение значений коэффициента K_U соответствует нормальному закону распределения случайной величины.

Из полученных в ходе экспериментов данных видно, что значения распределения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в сети 10 кВ равны:

- математическое ожидание $M[K_U] = 4,62 \%$;
- среднее квадратическое отклонение $\sigma[K_U] = 0,42 \%$;
- относительное значение времени превышения нормально допустимого значения коэф-

фициента $K_{U,н} T_1 = 18 \%$;

– относительное значение времени превышения предельно допустимого значения коэф-
фициента $K_{U,д} T_2 = 0,0 \%$.

Определим нормальную плотность вероятности распределения K_U (1/‰) по выражению:

$$\varphi(K_U; 4,62; 0,42) = 0,95 \exp \left[-\frac{(K_U - 4,62)^2}{0,35} \right]. \quad (8)$$

Анализируя полученные в ходе исследований результаты нетрудно заметить, что требования ГОСТ 13109–97 к коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения не соблюдаются.

Из выше изложенного вытекает, что в сети 10 кВ действует кондуктивная электромагнитная помеха по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения.

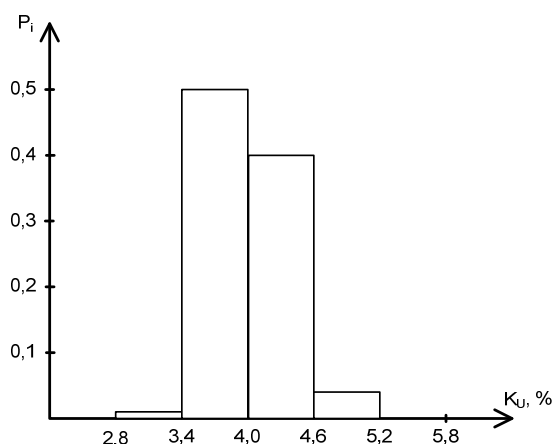


Рис. 2. Распределение значений коэффициента искажений синусоидальности кривой напряжения в сети 10 кВ в течение суток

Для определения вероятности появления кондуктивной электромагнитной помехи по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения, воспользуемся выражением (4)

$$P(\delta K_U) = P(K_{U,n} < K_U = \delta K_U < K_{U,\Pi}) - 0,05 = 0,18 - 0,05 = 0,13. \quad (9)$$

Следовательно, качество функционирования исследуемой сети 10 кВ по искажению напряжения характеризуется кондуктивной электромагнитной помехой, возникающей с вероятностью 0,95. Как показал расчёт, математическое ожидание в рассматриваемом случае составит $M[\delta K_U] = 4,62\%$, а среднее квадратическое отклонение равно $\sigma[\delta K_U] = 0,42\%$. Из приведённых расчётов видно, что вероятность возникновения кондуктивной электромагнитной помехи (0,13) существенно превышает допустимую вероятность превышения коэффициентом K_U , причём величина этого превышения от нормально допустимого значения (0,05) равна 2,6 раза.

Таким образом, показатели качества функционирования сети 10 кВ по искажению являются параметрами, носящими локальный характер и имеющими показатель, характеризующий недопустимые стандартом [6] «технологическое нарушение» работы систем электроснабжения.

С целью исследования металлических замыканий фазы С на землю искровой промежутки был замкнут накоротко (см. рис. 1). Экспериментальное исследование токов замыканий на землю и фазного напряжения осуществлялось в двух режимах: в нормальном режиме и в режиме устойчивого однофазного металлического замыкания на землю. Осциллографирование производилось при нескольких значениях ёмкостного тока фазы I_C (4,68; 4,56; 3,33; 5,60 и 5,63 А). С целью создания такого режима нагрузка на 11 СШ 10 кВ варьировалась.

На основании проведённых экспериментов был получен спектр высших гармонических составляющих напряжений (см. рис.3).

Было произведено исследование осциллограмм фазных напряжений в нормальных, переходных и в режиме однофазных замыканий на землю при токе $I_C = 3,3$ А. На основании полученных результатов построен график спектра высших гармонических составляющих исследуемых напряжений (см. рис. 4).

Связь между резонансным диапазоном гармонического ряда и величиной ёмкостных токов определится при равенстве значений ёмкостного и индуктивного сопротивлений сети на соответствующих частотах. Следовательно, при возрастании значения ёмкостного тока сети резонансный диапазон будет смещаться в область, характеризующую низкими частотами.

Проведённые исследования временных диаграмм напряжений фаз до, вовремя и после однофазного металлического замыкания на землю и временных диаграмм токов замыкания на землю говорит о общем электромагнитном процессе, приводящем к одновременному увеличению отдельных высших гармоник как в фазных напряжениях, так и в токах замыкания на землю. Основной задачей математического анализа полученных в ходе экспериментов данных является разработка математической закономерности резонансных частот высших гармоник тока замыкания от ёмкостного тока сети, которую было бы возможно использовать для предсказания возникновения резонансных явлений в сетях от 6 до 35 кВ.

На основании проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

Произведены снятия временных диаграмм и проанализированы нормируемые показатели качества функционирования технических средств.

Установлены показатели качества функционирования исследуемой сети 10 кВ с изолированной нейтралью по искажению напряжения. Определено, что кондуктивная электромагнитная помеха по коэффициенту искажения синусоидальности кривой напряжения с вероятностью 0,95 характеризуется математическим ожиданием $M[\delta K_U] = 4.62\%$ и средним квадратическим отклонением $\sigma[\delta K_U] = 0.42\%$. Определено, что вероятность появления кондуктивной электро-

магнитной помехи по коэффициенту искажения напряжения (0,13) значительно (в 2,6 раза) превышает допустимую вероятность нормального значения (0,05).

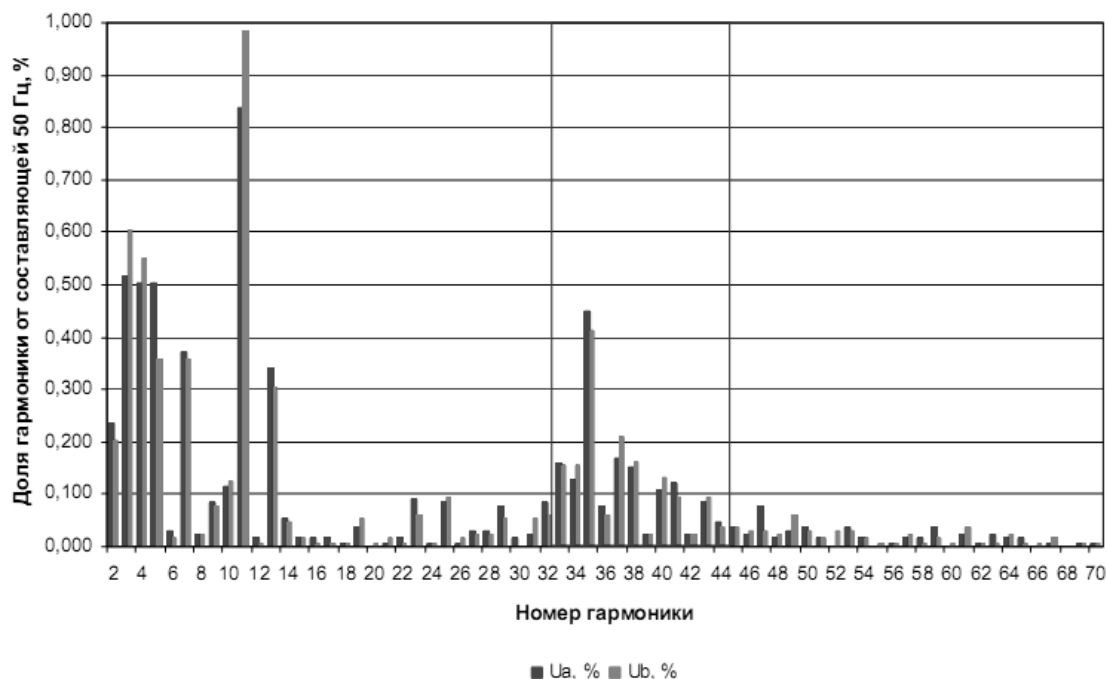


Рис. 3. График гармонического состава фазных напряжений в режиме металлического замыкания на землю фазы С ($I_C = 4,68$ А).

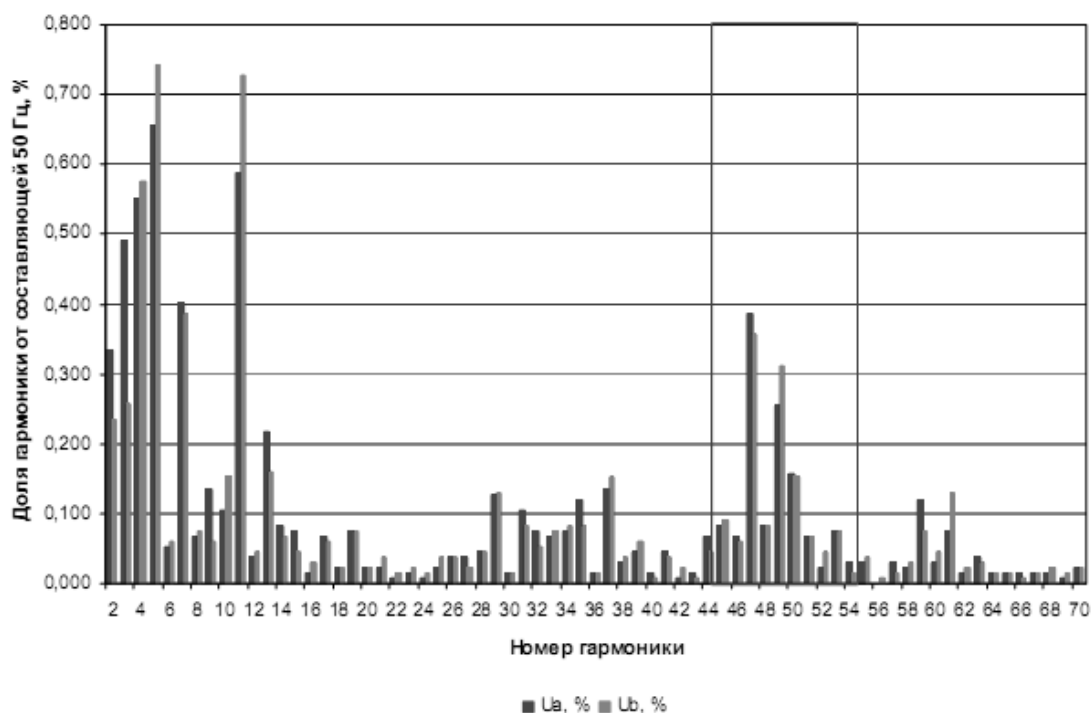


Рис. 4. График гармонического состава фазных напряжений в режиме металлического замыкания фазы С на землю ($I_C = 3,3$ А).

Изучение полученных в ходе исследований осциллограмм при переходных процессах в режиме фазного замыкания на землю в сети 10 кВ с изолированной нейтралью при изменениях тока фазы в диапазоне от 3,33 А до 5,63 А позволило выявить, что частота изменений фазных напряжений располагается от 1,9 до 1,98 кГц, при этом кратности коммутационных импульсных перенапряжений — от 2,05 до 2,41; резонанс токов происходит на частоте высших гармонических составляющих, которые зависят от значения ёмкостного тока в исследуемой сети.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144–2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.
 2. Закарюкин В. П. Сложнонесимметричные режимы электрических систем // В. П. Закарюкин, А. В. Крюков. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2005. — 273 с.
 3. Иванова Ю. М. Методология исследования кондуктивных электромагнитных помех, распространяющихся по сетям // Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е. В. Иванова; под ред. В. П. Горелова и Н. Н. Лизалека. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. — 432 с. — п.1.3. — С. 52–56.
 4. Идельчик В. И. Расчёты установившихся режимов электрических систем / В. И. Идельчик. — М.: Энергия, 1977. — 188 с.
 5. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой // М. Г. Вишнягов, Ю. М. Иванова, В. Г. Сальников // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. — 2008. — № 2. — С. 242 — 247.
 6. Методические подходы к осциллографированию процессов при однофазных замыканиях на землю в электрических сетях 6–35 кВ / А. И. Ширковец, М. В. Ильиных // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. Спецвып. — 2008. — № 1. — С. 44–51.
-

Шишкин А. В.

Инновационный Евразийский Университет, г. Павлодар

Современные системы мониторинга и диагностики силовых трансформаторов

г. Павлодар

Аннотация: В статье ставится задача рассмотреть систему мониторинга и диагностики силового трансформатора, а так же спецификацию системы мониторинга. В результате определено что в настоящее время внедрение стационарных систем мониторинга и их технического состояния является приоритетным направлением в электроэнергетике.

Ключевые слова: Силовой трансформатор, программируемый контроллер, предаварийный режим, система мониторинга.

Shishkin A. V.

Eurasian Innovation University, Pavlodar

Modern systems for monitoring and diagnostics of power transformers

Pavlodar

Abstract: The task of the article is to consider the monitoring system and diagnostics of the power transformer, as well as the specification of the monitoring system. As a result, it was determined that at present the introduction of stationary monitoring systems and their technical condition is a priority in the electric power industry.

Keywords: Power transformer, programmable controller, pre-failure mode, monitoring system.

Чтобы снизить потери при транспортировке электроэнергии на определенные расстояния, применяется метод трансформации, который заключается в преобразовании отдельных характеристик переменного тока и амплитуды напряжения.

Фактически это выглядит так: генератор вырабатывает электроэнергию, которая по проводам попадает на подстанцию, где амплитуда напряжения повышается, и ток подается дальше на следующий пункт назначения. Другая подстанция является конечным пунктом и распределяет полученную энергию между потребителями, предварительно понизив ее амплитуду до первичного значения.

В зависимости от расстояний от основного генератора до конечного потребителя, мощности и разветвленности силовых линий, промежуточных подстанций может быть любое количество.

На каждой подстанции есть специальные электротехнические устройства — силовые трансформаторы, по которым и передается ток.

Назначение силовых трансформаторов заключается в преобразовании электроэнергии и сокращении потерь при транспортировке от источника к потребителю.

Силовые трансформаторы являются одним из значимых элементов энергосистемы, от которых зависит надёжность подачи электроэнергии. На данный момент реализовано множество методов защиты, диагностики, а также мониторинга силовых трансформаторов.

Система мониторинга (СМ) предназначена для непрерывного измерения и регистрации основных параметров, в том числе предаварийных и аварийных режимов трансформаторов и автотрансформаторов в процессе эксплуатации, предоставляет информацию для контроля и регулирования режимов работы, используемую для своевременного принятия необходимых мер при предаварийных режимах и для анализа аварийных режимов с целью снижения эксплуатационных издержек и прогнозирования технического состояния изделия.

СМ представляет собой централизованную систему сбора и обработки данных. Сбор и обработку информации осуществляют промышленные программируемые контроллеры установленные в шкафу.

Основными параметрами силовых трансформаторов, которые подвергаются контролю являются:

- газы, растворенные в масле, и влагосодержание масла. Увеличение объёма растворённых газов в масле ведёт к снижению изоляции ввиду тепловой перегрузки изоляции, а также разрядных процессов. Такие параметры можно определить с помощью хроматографического анализа пробы масла, которые отбираются на протяжении длительного промежутка времени.

- влажность для силового оборудования, находящимся в рабочем состоянии является очень опасным явлением.

- ток, напряжение, мощность. Перечисленные параметры характеризуют нагрузку трансформатора, а также являются входными величинами для моделей теплового баланса трансформатора.

- коммутационные и атмосферные перенапряжения. Перенапряжения характеризуют нагрузку системы изоляции. А возникающие неисправности служат факторами, подтверждающими или опровергающими образование дефекта.

- частичные разряды. Увеличения уровня разрядной активности служит причиной снижения характеристик твердой изоляции, которое ведёт к пробое и короткому замыканию.

- температура масла. Определение температуры масла характеризуют результативность системы охлаждения трансформатора, а также являются входными величинами для расчета наиболее нагретой точки обмотки трансформатора.

Система мониторинга содержит 3 уровня

А. Нижний уровень: первичные измерительные датчики и преобразователи, устанавливаются на автотрансформаторе.

В. Средний уровень: блок мониторинга (БМ), предназначен для преобразования сигналов, полученных от первичных датчиков нижнего уровня, реализации управляющих алгоритмов, осуществления информационного обмена с верхним уровнем.

С. Верхний уровень: включает в себя — автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

АРМ оператора предназначен для визуализации состояния контролируемых и рассчитываемых параметров АТ, отображения сигналов срабатывания аварийной и предупредительной сигнализации, обеспечения работы с накопленными архивами и журналами.

Система выполнена с использованием современной аппаратуры, программных и технических решений.

Весь комплекс технических средств среднего уровня (БМ), предназначенный для сбора информации от первичных датчиков, устанавливается в специальном шкафу, расположенном вблизи автотрансформатора. Передача информации от БМ в АРМ осуществляется по оптоволоконной линии связи. Шкаф системы мониторинга оборудован контролем микроклимата.

Методы мониторинга силовых трансформаторов представлены в рис. 1.

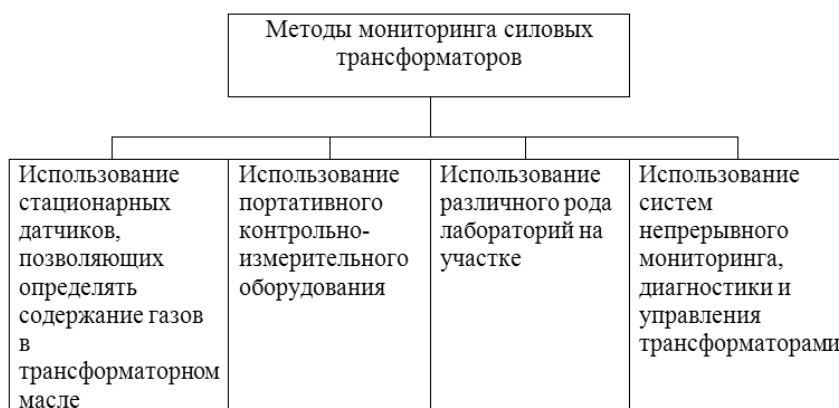


Рис.1. Методы мониторинга силовых трансформаторов.

Первая группа представляет собой использование стационарных датчиков, которые могут определять содержание газов в трансформаторном масле. Это довольно простой и дешевый метод для определения только возникающих признаков неисправностей. Так как в большинстве методов используется естественная циркуляция масла, то техническое обслуживание самих датчиков практически не требуется, стоимость установки и эксплуатации подобных систем невысока. Однако, большинство датчиков, в зависимости от принципа их работы, могут определять только уровень содержания водорода, либо суммарное содержание характерной комбинации растворенных в масле газов для определения уровня превышения над допустимой концентрацией. К тому же подобные датчики не отличаются высокой степенью точности измерения, а для такого рода анализа неисправности к тому же потребуются, как минимум, лабораторные исследования масла. Но, несмотря на это, подобные системы получили широкое распространение.

Вторая группа методов использует применение портативного контрольно-измерительного оборудования, которое позволяет избавиться от некоторых недостатков, присущих первой группе, расширить возможности по видам и точности измерений, а главное это то, что результаты анализов могут быть получены практически сразу же после взятия образцов и проведения измерений. Обычно портативное контрольно-измерительное оборудование используют в тех случаях, когда установка датчиков и использование лабораторий по экономическим причинам невыгодно. Так как портативное оборудование не применяется для непрерывного контроля оборудования, то этот факт отнести к недостаткам использования данной группы методов мониторинга. Многие методы не имеют возможности представления достаточной информации о содержании водорода, однако датчики для определения газов в масле справляются с этим недостатком.

Третья группа методов использует стационарные лаборатории. Преимуществом лабораторий является их возможность проведения большого количества высокоточных анализов содержания газа и воды в масле. Недостатком использования лабораторий является высокая стоимость анализов. А также велика стоимость установки лабораторий и последующего их обслуживания.

Четвёртая группа методов применяют системы мониторинга и диагностики непрерывного характера. Главным отличием данной группы методов мониторинга и от вышеперечисленных методов является отсутствие встроенных датчиков и присутствие внешних датчиков, которые способны контролировать различные параметры, которые были описаны выше.

При установке подобных систем большинство датчиков уже присутствуют на трансформаторе или устанавливаются позже, ввиду того что поставленных перед данными системами

задачи могут быть различными. Помимо этого, требуется также обеспечение каналами связи. Основной недостаток подобных систем — это высокая стоимость установки.

Однако на сегодняшний день применение существующих систем мониторинга и диагностики для трансформаторов напряжением 6 (10) кВ в ряде случаев экономически неоправданно. Данный факт не снижает вопроса о перспективности развития данного направления, так и о необходимости решения ряда вопросов — снижение стоимости систем применение их в различных видах трансформаторов, повышение точности моделирования, а также внедрение новых типов датчиков, основанных на использовании оптоволокну.

Спецификация системы мониторинга приведена в табл. 1.

Таблица 1.

Спецификация системы мониторинга

Архитектура	Модуль сбора данных с контроллером реального времени, установленный возле трансформатора, а также промышленный компьютер, установленный в диспетчерской
Входы и выходы	DC аналоговые входы: 4–20 мА; 0–10 В постоянный ток AC аналоговые входы (СТ): 0–1/5A RTD входы: Pt-100 Цифровые входы: сухие контакты с 24В Аналоговые входы: 4–20 мА Цифровые входы Количество: согласно требованиям Все каналы защищены от перегрузки по напряжению и току
Датчики	Анализатор газов и влажности HYDROCAL компании MTE (Швейцария), анализатор влажности MMT Vaisala (Финляндия), температуры Grid Sense (Австралия) анализатор качества электрической энергии BlackBox компании Elspec (Израиль), микропроцессор iMod (Польша), конвертеры Datexel (Италия), преобразователи Мох (Германия)
Хранение данных	Для хранения долговременных данных, архивирования тревог и событий используется база данных SQL. Результаты сбора данных по конкретным событиям хранятся в базе данных
Визуализация данных	Интернет WEB платформа для локального или удаленного доступа
Связь	Ethernet 10/100, оптоволокно
Поддерживаемые протоколы	МЭК 61850, МЭК 60870–5-101 и 104, Modbus, OPC
Источник питания	Напряжение: 85–264 В переменного тока, однофазный. Частота: 45–65 Гц
Шкаф	Материал: окрашенная нержавеющая сталь (цвет согласно шкале RAL)Степень: IP54 (стандарт), IP66 (по запросу)
Рабочая температура	–40 до +60°C
Применяемые стандарты	EMC директива 2004/108/EC и стандарты: EN 61000–6-2:2005; EN 61000–6-4:2007; EN 61000–3-2:2006; EN 61000–3-3:2008LVD директива 2006/95/EC стандарты: EN 60950–1:2006+A11:2009

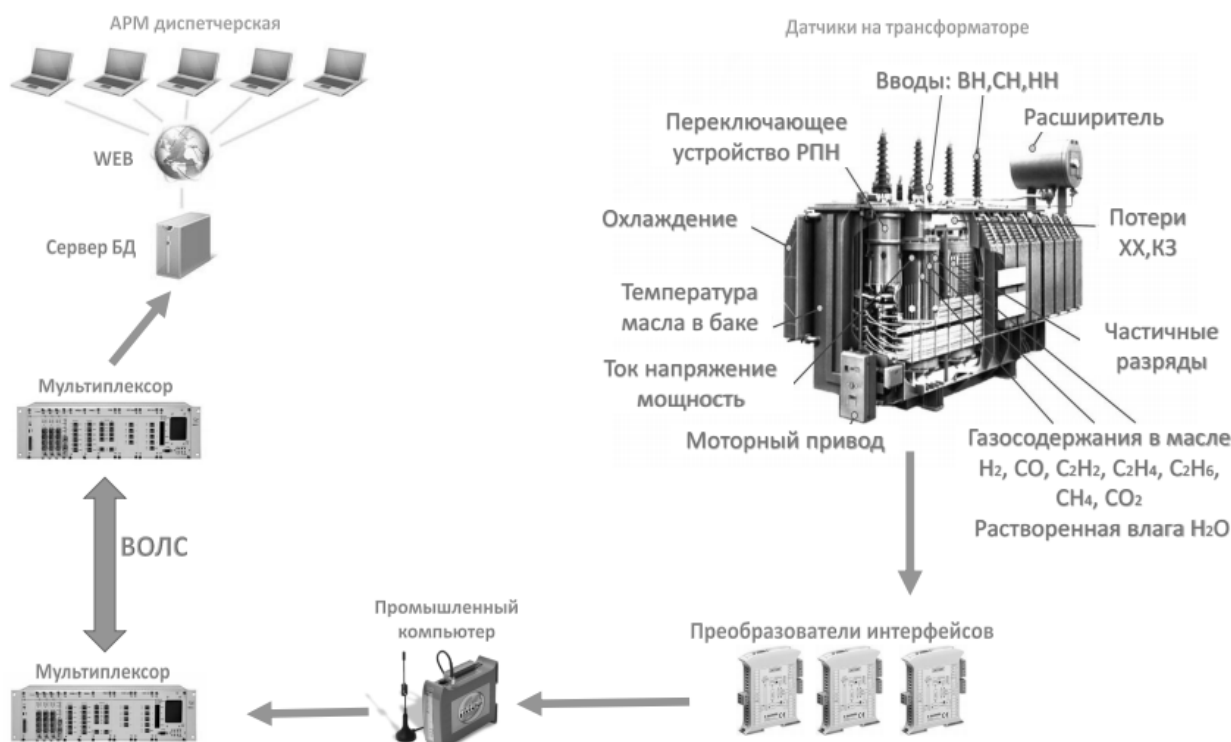


Рис. 2. Структурная схема системы мониторинга Almasense.

Блок мониторинга (БМ):

- шкаф
- контроллер
- преобразователь интерфейсов
- анализатор качества электроэнергии
- программное обеспечение (базовое, прикладное).

Шкаф сервера сбора данных:

- шкаф
- сервер сбора данных
- монитор TFT
- программное обеспечение (базовое, прикладное).

Комплект датчиков:

- прибор контроля газосодержания HYDROCAL
- прибор влагосодержания масла Vaisala
- датчик температуры масла РПН
- датчик температуры верхних слоев масла
- датчик температуры нижних слоев масла
- датчик температуры и влажности воздуха.

Шефмонтаж, наладка и пуск в эксплуатацию.

Трансформаторы являются дорогостоящим ответственным оборудованием, в значительной степени определяющим технологический цикл и энергетическую безопасность производственного предприятия и поэтому внедрение стационарных систем мониторинга их технического состояния определено в настоящее время как одно из приоритетных направлений.

В последнее время интенсивно развиваются и внедряются методы контроля состояния трансформаторов с применением современных компьютерных технологий, обеспечивающих

автоматический сбор, обработку и анализ данных, состояния силовых трансформаторов, которые целесообразно проводить в режиме online без отключения и вывода в ремонт (непрерывный метод диагностирования).

Список использованной литературы

1. «Внедрение системы мониторинга технического состояния трансформатора» — Николаев Андрей Андреевич 2016 г.
 2. «Интегрированная система мониторинга состояний высоковольтного оборудования в рабочих режимах» — Гаркуша Владимир Владимирович 2009 г.
 3. «Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования» / С. И. Лукьянов, А. С. Карандаев, С. А. Евдокимов, А. С. Сарваров, М. Ю. Петушков, В. Р. Храмшин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2014. No 1. С. 129–136.
 4. «Совершенствование автоматизированных электроприводов и диагностика силового электрооборудования» / И. А. Селиванов, А. С. Карандаев, С. А. Евдокимов, В. Р. Храмшин, А. А. Шеметова, А. С. Евдокимов, А. А. Лукин, А. Ю. Андрюшин, П. В. Шиляев, В. В. Головин, А. А. Титов, С. Е. Мостовой, С. А. Петряков // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. No 1. С. 5–11.
 5. «Система мониторинга и диагностирования (СМИД) высоковольтного электрооборудования на основе анализа статистических параметров частичных разрядов», статья — «Электротехника, электронная техника, информационные технологии». Гатауллин Айрат Мухамедович 2013 г.
 6. <https://docplayer.ru/73197124-Monitoring-kontrol-i-diagnostika-elektrooborudovaniya.html>
-

Антипов П. А.

Инновационный Евразийский Университет, г. Павлодар

Отличие релейных защит, выполненных на микропроцессорах и электромеханических

г. Павлодар

Аннотация: В данной научной работе производится сравнение релейных защит с микропроцессорами, и релейных защит электромеханических. Их сравнение заключается в подробном разборе каждого из видов. А после делается вывод, согласно имеющимся уже данным.

Ключевые слова: релейная защита, короткое замыкание, защитное реле, реле напряжения, промежуточное реле, указательное реле.

Antipov P. A.

Innovation Eurasian University, Pavlodar

The difference between microprocessor-based relays and electromechanical relays

Pavlodar

Abstract: In this research work, comparison is made of relay protection microprocessors and electromechanical relay protection. Their comparison consists in a detailed analysis of each of the types. Then the conclusion is made, according to the data already available.

Keywords: relay protection, short circuit, protective relay, voltage relay, intermediate relay, indicating relay.

Большинство фирм производителей оборудования РЗА прекращают выпуск электромеханических реле и устройств и переходят на цифровую элементную базу.

Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов релейной защиты и электроавтоматики, а только расширяет ее функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает ее стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные устройства очень быстро занимают место устаревших электромеханических и микроэлектронных устройств.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше, чем у микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1–0,5 ВА, аппаратная погрешность — в пределах 2–5%, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96–0,97.

Мировыми лидерами в производстве устройств РЗА являются концерны GE, AREVA (ALSTOM), ABB, SIEMENS. Общей для них является тенденция все большего перехода на цифровую технику. Цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют высокую стоимость, которая, впрочем, окупается их высокими техническими характеристиками и многофункциональностью. Использование цифровых способов обработки информации в устройствах РЗА существенно расширило их возможности и улучшило эксплуатационные качества.

В последнее время выпуск микропроцессорных устройств РЗА освоили и ряд фирм России, Украины и других стран ближнего зарубежья. Компанией Энергомашвин (ЭМВ) разрабо-

тан и выпускается целый комплекс микропроцессорных устройств, охватывающий практически полностью потребности распределительных сетей 6–110 кВ.

Современные цифровые устройства РЗА интегрировали в рамках единого информационного комплекса функции релейной защиты, автоматики, измерения, регулирования и управления электроустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергетического объекта являются окончательными устройствами сбора информации.

В интегрированных цифровых комплексах РЗА появляется возможность перехода к новым нетрадиционным измерительным преобразователям тока и напряжения — на основе оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т. д. Эти преобразователи технологичнее при производстве, обладают очень высокими метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность и непригодны для работы с традиционной аппаратурой.

Реле с использованием электромеханических устройств

В соответствии с требованиями правил технической эксплуатации электроустановок (сокращенно ПТЭ) силовое оборудование электросетей, подстанций и самих электрических станций должно быть обязательно защищено от токов КЗ и сбоев нормального режима работы. В качестве средств защиты используются специальные устройства, основным элементом которых является реле. Собственно, поэтому они так и называются — устройства релейной защиты и электроавтоматики (РЗА). На сегодняшний день существует множество аппаратов, способных в кратчайшие сроки предотвратить аварию на обслуживаемом участке электросети или в крайнем случае предупредить персонал о нарушении рабочего режима. В этой статье мы рассмотрим назначение релейной защиты, а также ее виды и устройство.

Зачем нужно использовать РЗА. Дело в том, что существует такая опасность, как возникновение тока КЗ в цепи. В результате КЗ очень быстро разрушаются токопроводящие части, изоляторы и само оборудование, что влечет за собой не только возникновение аварии, но и несчастного случая на производстве.

Помимо короткого замыкания может возникнуть перенапряжение, утечка тока, выделение газа при разложении масла внутри трансформатора и т. д. Для того чтобы своевременно обнаружить опасность и предотвратить ее, используются специальные реле, которые сигнализируют (если сбой в работе оборудования не представляет угрозы) либо мгновенно отключают питание на неисправном участке. В этом и заключается основное назначение релейной защиты и автоматики.

Основные требования к защитным устройствам

Итак, по отношению к РЗА предъявляются следующие требования:

1. **Селективность.** При возникновении аварийной ситуации должен быть отключен только тот участок, на котором обнаружен ненормальный режим работы. Все остальное электрооборудование должно работать.
2. **Чувствительность.** Релейная защита должна реагировать даже на самые минимальные значения аварийных параметров (заданы уставкой срабатывания).
3. **Быстродействие.** Не менее важное требование к РЗА, так как чем быстрее реле сработает, тем меньше шанс повреждения электрооборудования, а также возникновения опасности.
4. **Надежность.** Само собой, аппараты должны выполнять свои защитные функции в заданных условиях эксплуатации.

Простыми словами назначение релейной защиты и требования, предъявляемые к ней, заключаются в том, что устройства должны контролировать работу электрооборудования, сво-

временно реагировать на изменения рабочего режима, мгновенно отключать поврежденный участок сети и сигнализировать персонал об аварии.

Классификация реле.

При рассмотрении данной темы нельзя не остановиться на видах релейной защиты. Классификация реле представлена следующим образом:

- Способ подключения: первичные (включаются в цепь оборудования напрямую) и вторичные (подключение осуществляется через трансформаторы).
- Вариант исполнения: электромеханические (система подвижных контактов расцепляет схему) и электронные (отключение происходит с помощью электроники).
- Назначение: измерительные (осуществляют замер напряжения, силы тока, температуры и других параметров) и логические (передают команды другим устройствам, осуществляют выдержку времени и т. д.).
- Способ воздействия: релейная защита прямого воздействия (связана механически с отключающим аппаратом) и косвенного воздействия (осуществляют управление цепью электромагнита, который отключает питание).

Что касается самих видов РЗА, их множество. Сразу же рассмотрим, какие бывают разновидности реле и для чего они используются.

1. Максимальная токовая защита (МТЗ), срабатывает если ток достигает заданной производителем уставки.
2. Направленная максимальная токовая защита, помимо уставки осуществляется контроль направления мощности.
3. Газовая защита (ГЗ), используется для того, чтобы отключать питание трансформатора в результате выделения газа.
4. Дифференциальная, область применения — защита сборных шин, трансформаторов, а также генераторов за счет сравнения значений токов на входе и выходе. Если разница больше заданной уставки, релейная защита срабатывает.
5. Дистанционная (ДЗ), отключает питание, если обнаружит уменьшение сопротивления в цепи, что происходит в том случае, если возникает ток КЗ.
6. Дистанционная защита с высокочастотной блокировкой, используется для отключения ВЛ при обнаружении короткого замыкания.
7. Дистанционная с блокировкой по оптическому каналу, более надежный вариант исполнения предыдущего вида защиты, так как влияние электрических помех на оптический канал не такое значительное.
8. Логическая защита шин (ЛЗШ), также используется для выявления КЗ, только в этом случае на шинах и фидерах (питающих линиях, отходящих от шин подстанции).
9. Дуговая. Назначение — защита комплектных распределительных устройств (КРУ) и комплектных трансформаторных подстанций (КТП) от возгорания. Принцип работы основан на срабатывании оптических датчиков в результате повышения освещенности, а также датчиков давления при повышении давления.
10. Дифференциально-фазная (ДФЗ). Применяются для контроля фаз на двух концах питающей линии. Если ток превышает уставку, реле срабатывает.

Отдельно хотелось бы также рассмотреть виды электроавтоматики, назначение которой в отличие от релейной защиты наоборот включать питание обратно. Итак, в современных РЗА используют автоматику следующего вида:

1. Автоматический ввод резерва (АВР). Такую автоматику часто используют при подключении генератора к сети, как резервного источника электроснабжения.

2. Автоматическое повторное включение (АПВ). Область применения — ЛЭП напряжением 1 кВ и выше, а также сборные шины подстанций, электродвигатели и трансформаторы.

3. Автоматическая частотная разгрузка, которая отключает сторонние приборы при понижении частоты в сети.

Конструкция РЗА

Устройство релейной защиты представляет собой схему из следующих частей:

1. Пусковые органы — реле напряжения, тока, мощности. Предназначены для контроля режима работы электрооборудования, а также обнаружения нарушений в цепи.

2. Измерительные органы — могут также находиться в пусковых органах (реле тока, напряжения). Основное назначение — запуск других устройств, подача сигнала в результате обнаружения ненормального режима работы, а также мгновенное отключение приборов или с задержкой по времени.

3. Логическая часть. Представлена таймерами, а также промежуточными и указательными реле.

4. Исполнительная часть. Отвечает непосредственно за отключение или же включение коммутационных аппаратов.

5. Передающая часть. Может быть использована в дифференциально-фазной защите.

Принципы построения схемы защитных устройств

Довольно громоздкая и сложная первоначальная база на основе электромеханических конструкций постоянно совершенствуется и модифицируется. Для работы защит вводятся новые технические разработки. В современных энергетических комплексах успешно сочетаются электромагнитные, индукционные, статические — полупроводниковые и микропроцессорные устройства.

Их объединяет практически не меняющийся базовый алгоритм процессов, который модернизируется для каждого конкретного случая. Основные функции защиты демонстрирует структурная схема.

Основные функции защитных устройств

Блок наблюдения

Его основная функция сводится к мониторингу происходящих электрических процессов в системе на основе замеров от измерительных трансформаторов тока и/или напряжения.

Выходные снимаемые сигналы с блока могут прямо передаваться логической схеме для сравнения с заданными пользователем величинами отклонений от номинальных значений, называемых уставками либо первоначально преобразовываться в цифровую форму.

Блок логики

Здесь осуществляется сравнение входящих сигналов с граничными характеристиками уставок. Малейшее совпадение между ними приводит к выдаче команды на срабатывание защиты.

Блок исполнительный

Он постоянно поддерживается в готовности к срабатыванию по командам логического блока. При этом происходят переключения в схеме электроустановки по заранее предусмотренному алгоритму, исключающему повреждения оборудования и получение электротравм персоналом.

Блок сигнализации

Происходящие в системе процессы совершаются так быстро, что человек не способен их воспринимать своими органами. Для фиксации совершенных событий устанавливаются сигнальные устройства, которые используют методы визуального, звукового воздействия с сохранением в памяти схемы произошедших изменений.

Во всех конструкциях сигнализации перевод ее состояния после работы в исходное положение выполняется разово вручную оператором, что исключает потерю информации о работе защит автоматикой.

Принципы работы защит

Очень серьезное отношение к надежности и безопасности использования электроэнергии определило основные требования, которым должны отвечать системы релейной защиты. Однако они тоже являются техническими устройствами, а значит: обладают возможностями нарушения правильной работоспособности.

Отказ систем РЗА возможен при:

- неисправностях внутри защит;
- излишних срабатываниях, когда действие исполнительного органа не требуется;
- ложной работе при отсутствии повреждений электрической системы.

Для исключения отказов в процессе эксплуатации проводится разработка проекта, монтаж, наладка с вводом в работу и обслуживание устройств релейной защиты с учетом выработанных требований к РЗА по:

- избирательности с учетом иерархии схемы;
- быстродействию, определяемому временем срабатывания;
- чувствительностью к пусковым факторам;
- надежностью работы.

Принцип селективности

Другое распространенное его название — избирательность. Эта характеристика позволяет точно выявить и локализовать место проявившейся неисправности в структурированной сети с любой иерархией.

Принцип селективности РЗА

К примеру, генератор передает электрическую энергию многим потребителям, расположенным на участках №1, 2 и 3, оборудованных своими защитами 1–2, 3–4 и 5 соответственно. При возникновении короткого замыкания внутри конечного потребителя на участке №3, токи повреждения пройдут по всем защитах схемы от источника.

Однако, в данной ситуации имеет смысл отключать конечный участок с поврежденным электродвигателем, оставляя в работе все действующие устройства. С этой целью вводятся разные уставки релейной защиты для каждой цепи на стадии проекта схемы.

Защитные устройства участка 5 должны раньше почувствовать токи неисправности и быстрее обеспечить их аварийное отключение от генератора. Поэтому в приведенной схеме величины уставок по току и времени на каждом участке уменьшаются от генератора к потребителю с соблюдением принципа: чем ближе к месту повреждения, тем выше чувствительность.

При этом выполняется принцип резервирования, учитывающий возможность отказа любых технических устройств, включая защитные системы более низкого уровня. Это значит: при неисправности защит 5 участка 3 короткое замыкание должны отключить устройства РЗА №4 или 5 линии №2, которые, в свою очередь, страхуются защитами участка №1.

Принцип быстродействия

Время отключения повреждения складывается минимум из двух факторов:

- 1) срабатывания защиты;
- 2) работы привода выключателя.

Первый параметр можно регулировать от минимального значения, обусловленного конструкцией защиты и количеством используемых элементов. Такими методами создается задержка времени на срабатывание включением в схему специальных регулируемых реле. Она используется для более дальних защит.

Близкорасположенные к месту повреждения устройства должны настраиваться на работу с минимально возможными интервалами времени на срабатывание.

Принцип быстрого действия РЗА

Принцип чувствительности

Эта характеристика позволяет определять виды расчетных повреждений и аномальных ситуаций энергосистемы внутри действующей зоны защит.

Чувствительность устройств РЗА

Для определения ее численного выражения вводится коэффициент $K_{\text{ч}}$, вычисляемый отношением минимальной величины тока КЗ для участка к значению тока срабатывания.

При этом устройства РЗА работают правильно при $I_{\text{сз}} < I_{\text{кз min}}$.

Оптимальное значение коэффициента чувствительности лежит в пределах 1,5–2.

Принцип надежности

Для его определения введены термины:

- безотказной работы;
- ремонтпригодности;
- долговечности;
- сохраняемости.

Каждый из них имеет свои критерии оценки.

Надежность устройств РЗА

Эксплуатация и обслуживание устройств релейной защиты рассматривают три варианта надежности по функциям срабатывания:

- 1) при внутренних коротких замыканиях в защищаемой зоне;
- 2) во время прохождения внешних КЗ за пределами рабочего участка;
- 3) в режимах без повреждений.

При этом надежность подразделяют на:

- эксплуатационную;
- аппаратную.

Противоаварийное управление

Любой блок релейной защиты не только является самостоятельной схемой, но объединяется в вышестоящие комплексы, составляющие в итоге систему противоаварийного управления энергосистемы. У нее каждый элемент взаимосвязан с другими компонентами и комплексно выполняет свои задачи.

Сокращенный перечень функций защит и автоматики демонстрирует упрощенная структурная схема.

Противоаварийное управление энергосистемы

Краткое изложение особенностей работы релейных защит и автоматики позволяет сделать вывод, что профессия релейщика требует постоянного изучения поступающего в эксплуатацию оборудования, совершенствования знаний и формирования прочных практических навыков.

Реле с использованием микропроцессоров

Около 15 лет назад в энергетике стало массово внедряться новое оборудование для защиты объектов энергоснабжения, использующее компьютерные технологии на базе процессоров. Его стали называть сокращенным термином МУРЗ — микропроцессорные устройства релейной защиты.

Они выполняют функции обыкновенных устройств РЗА на основе новой элементной базы — микроконтроллеров (микропроцессорных элементов).

Преимущества микропроцессорных устройств релейной защиты

Отказ от электромеханических и статических реле, обладающих значительными габаритами, позволил более компактно размещать оборудование на панелях РЗА. Такие конструкции стали занимать значительно меньше места. При этом управление посредством сенсорных кнопок и дисплея стало более наглядным и удобным.

Сейчас внедрение МУРЗ стало одним из основных направлений в развитии устройств релейных защит. Этому способствует то, что кроме основной задачи РЗА — ликвидации аварийных режимов, новые технологии позволяют реализовать ряд дополнительных функций.

К ним относятся:

- регистрация процессов аварийного состояния;
- опережение отключения синхронных потребителей при нарушениях устойчивости системы;
- способность к дальнейшему резервированию.

Реализация таких возможностей на базе электромеханических защит ЭМЗ и аналоговых устройств не осуществляется ввиду технических сложностей.

Микропроцессорные системы релейной защиты точно работают по тем же принципам быстрой реакции, избирательности, чувствительности и надежности, что и обычные устройства РЗА.

В процессе эксплуатации выявлены не только преимущества, но и недостатки таких устройств, а по некоторым показателям до сих пор ведутся споры между производителями и эксплуатационниками.

Панели РЗА, оборудованные микропроцессорными защитами.

Недостатки

Многие покупатели микропроцессорных устройств релейной защиты остались неудовлетворенными работой этих систем благодаря:

- высокой стоимости;
- низкой ремонтопригодности.

Если при поломке устройств, работающих на полупроводниковой или электромеханической базе достаточно заменить отдельную неисправную деталь, то для микропроцессорных защит часто нужно заменять полностью материнскую плату, стоимость которой может составлять треть цены за все оборудование.

К тому же для замены потребуется потратить много времени на поиск детали: взаимозаменяемость в таких устройствах полностью отсутствует даже у многих однотипных конструкций одного производителя.

Спорные вопросы

1. Высокая надежность микропроцессорных устройств релейной защиты по сравнению с электромеханическими защитами

Производители микропроцессорных устройств рекламой делают акцент на отсутствие в системе подвижных частей, что связывают с исключением условий механического износа. Сюда же добавляют вопросы коррозии металлов и старение изоляции у конструкций электромеханической и полупроводниковой базы.

Опыт эксплуатации электромеханических защит составляет уже примерно полтора столетия. На этой базе работает подавляющее большинство энергетических предприятий России и партнеров из СНГ. Многие реле стоят под напряжением по несколько десятков лет, а разработанная система технического обслуживания и эксплуатации позволяет гарантированно использовать их еще довольно длительное время.

На самом деле дефекты изоляции и коррозии могут возникнуть только в двух случаях:

- нарушение технологии изготовления;
- отклонение от правил эксплуатации и обслуживания.

Если рассматривать вопрос механического износа подвижных частей, то надо учитывать, что они срабатывают только при проверках персоналом, проводимых через несколько лет (учитываются ресурсом наработки) или при авариях, которые возникают очень редко.

В то же время в микропроцессорных устройствах релейной защиты:

- большинство компонентов постоянно осуществляют мониторинг электрической схемы и обмениваются сигналами между собой;
- элементы электрических входов все время подвергаются воздействию высокого напряжения 220 вольт, а также импульсных и пиковых величин переходных процессов;
- блоки питания в/ч импульсной схемы работают без отключения с выделением тепла и формируют основную долю отказов МУРЗ.

2. Надежность реле постепенно повышается от электромеханических конструкций к полупроводниковым на дискретных компонентах, затем к интегральным микросхемам и самая высокая у микропроцессорных устройств

Выводы статистики свидетельствуют о более высокой надежности электромеханических реле перед полупроводниковыми аналогами в повседневной эксплуатации. Обратная картина наблюдается только при увеличении циклов коммутации до нескольких сотен тысяч или миллионов.

В интегральных микросхемах работает значительно большее количество электронных элементов, менее устойчивых к перенапряжениям, чем в полупроводниковых реле. Особенно это сказывается при воздействии статического электричества и электромагнитных шумов, которые постоянно присутствуют на объектах энергетики с высоким напряжением.

Статистика отказов микропроцессорных устройств релейной защиты Японских компаний опровергает миф о самой высокой надежности микропроцессорных защит. К тому же сюда не включены «программные сбои», которые часто не могут быть выявлены при проверках, но способны проявиться в любой момент.

3. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты повышает встроенная самодиагностика

В составе микропроцессорных защит работают:

- аналого-цифровые преобразователи;
- память (ПЗУ – ROM + ОЗУ – RAM);
- центральный процессор;
- источник питания;
- выходные электромагнитные реле;
- узлы аналоговых и цифровых входов.

Состав блоков микропроцессорной релейной защиты

Все эти компоненты по-разному охвачены алгоритмами самодиагностики и не всегда полностью контролируются.

Внутренняя проверка предназначена для выдачи сигнала и блокировки работы релейной защиты при возникновении неисправности в ее схеме, а не в электрической сети энергопредприятия. Поэтому не повышает надежность энергосистемы.

4. Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты выше потому что входящие в ее состав элементы более устойчивы к физическому старению

При правильной эксплуатации электромагнитные реле защит, введенные в работу при СССР в 70-х годах, до сих пор прекрасно работают и сохранили свои технические характеристики.

Входящие в состав релейной защиты электролитические конденсаторы даже лучших компаний Японии после 7 лет работы в импульсных блоках питания теряют свои свойства, герметичность, создают протечки электролита, способного разъесть медные дорожки плат.

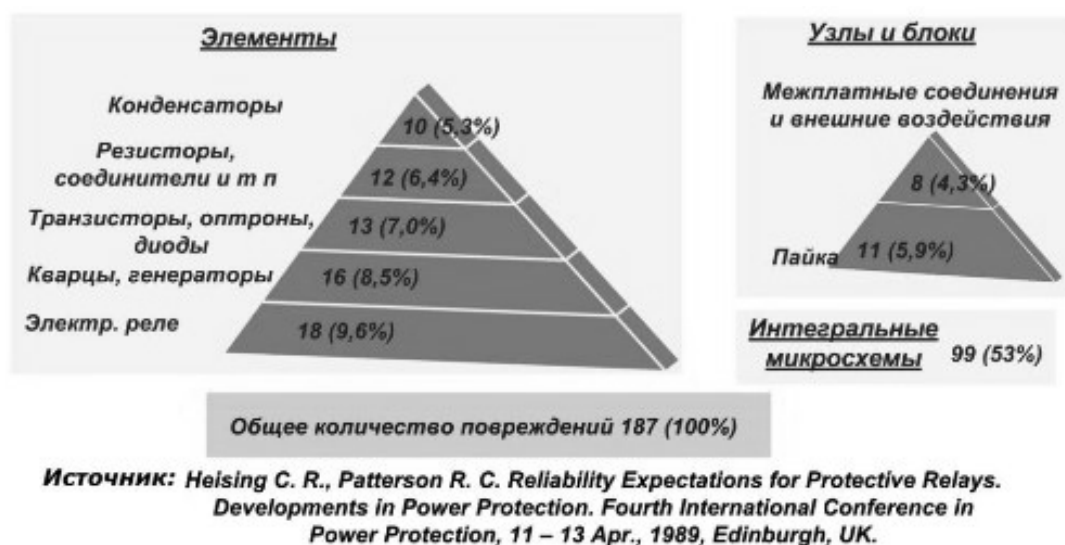


Рис. 1. Статистика повреждения МУРЗ японских компаний.

У производителей микропроцессорных устройств замечено стремление уменьшать габариты электронных компонентов за счет создания режимов с рассеиванием повышенного тепла, которое должно отводиться системой охлаждения, что не всегда выполняется.

Трудности эксплуатации

1. Электромагнитная совместимость

Современная микроэлектроника очень чувствительна к электромагнитным излучениям, а комплекты микропроцессорных устройств релейной защиты устанавливаются на подстанциях, работающих в условиях повышенной напряженности электрического поля, требующей надежной экранированной защиты с отводом накапливаемых потенциалов в землю.

На многих подстанциях сопротивления контура заземления не отвечает требованиям эксплуатации микропроцессорных устройств релейной защиты, что предполагает большой объем строительных работ. Иначе такие защиты могут не санкционированно работать при электромагнитных возмущениях в системе, которые легко создать преднамеренно, как и хакерские атаки на программное обеспечение.

2. Выполняемые задачи

Отказ одной микропроцессорной защиты приводит к более тяжелым последствиям для энергетики, чем неисправность электромагнитных защит потому, что функционально микропроцессорное устройство релейной защиты выполняет задачи 3÷5 электромагнитных защит.

3. Подготовка персонала

Производством микропроцессорных устройств релейной защиты занимается огромное количество компаний по всему миру с товарооборотом, превышающим миллиарды долларов. Только в России и странах СНГ более 10 предприятий работают на мировой рынок.

Каждое устройство защиты выполняется по уникальной технологии, исключая взаимозаменяемость элементов и программного обеспечения. Технические описания с инструкцией по эксплуатации составляют многостраничные книги по несколько сотен листов формата А4. Для их изучения требуется много времени и предварительные специальные знания.

При поступлении нового вида микропроцессорных устройств релейной защиты даже того же производителя процесс обучения персонала необходимо возобновлять.

Сравнение РЗА и МУРЗ

В релейную защиту микропроцессорные устройства пришли довольно поздно, чем в другие области электротехники. Первые устройства защиты с микропроцессорами выпустили в начале 80-х гг. Siemens и АBB. Именно к этому времени появились процессоры, способные принять необходимое количество сигналов о состоянии сети и преобразовать их.

Схема работы и тех, и других (МУРЗ и ЭМРЗ) аналогична. Совокупность измерительных преобразователей воспринимает незапланированные отклонения от нормальной работы сети (о состоянии угла сдвига фаз, о величине напряжения и тока, и др.), стоящие за ними приборы анализируют состояние сети («мозги») и в зависимости от величины отклонений выдают команду на противоаварийное отключение. Приборы, анализирующие состояние сети, выполняются на электромеханических реле (релейная логика) или на микропроцессорах (логика, реализованная на базе микропроцессоров) с соответствующими периферийными устройствами, которые преобразуют аналоговый сигнал.

Измерительные преобразователи воспринимают в основном только два параметра: величину тока и величину напряжения в сети. Для электромеханической релейной защиты этих сведений вполне достаточно: при определенных отклонениях параметров на цепь управления поступит сигнал, и сеть будет отключена. Микропроцессорные устройства на основании двух данных параметров выдают и запоминают еще целый ряд дополнительных: причина отключения, время и дата отключения, ток и длительность аварийной ситуации, векторная диаграмма напряжений и токов в линиях в момент отключения и другие. Но конечная задача этих устройств — дать сигнал на отключение при перегрузке сети.

Электромеханические реле защиты (ЭМРЗ) последнего поколения полностью удовлетворяли всем требованиям, предъявляемым к ним как к средствам защиты электроэнергетических объектов от аварийных режимов в течение десятков лет. В новейших микропроцессорных устройствах релейной защиты (МУРЗ) функции релейной защиты объединили с функциями устройств связи передачи данных, регистраторов аварийных режимов, узлов подстанционной логики и другие. Такие многофункциональные комплексы стали сравнивать с единичными однофункциональными ЭМРЗ, отработавшими не один десяток лет и порядком изношенными, и говорить о неоспоримых преимуществах микропроцессорных «реле защиты». При этом как бы упускается из виду, что речь идет о совершенно разных по выполняемым функциям устройствах, которые просто нельзя сравнивать друг с другом. В статьях мировых производителей и дистрибьюторов (МУРЗ) отмечаются только положительные качества МУРЗ, хотя существуют ряд проблем, связанных с переходом на микропроцессорные системы. Несмотря на проблемы, связанные с внедрением МУРЗ, их все более широкое распространение и полное вытеснение ими электромеханических реле является неизбежным уже только потому, что выпуск электромеханических реле полностью прекращен практически всеми ведущими мировыми производителями реле. Причиной этого являются не непреодолимые принципиальные недостатки электромеханических реле, а сверхприбыли, которые получают компании, при производстве МУРЗ по сравнению с производством электромеханических реле. Поскольку будущее релейной защиты неизбежно связано с микропроцессорными системами (во всяком случае, для сложных защит), прогноз путей развития этого вида техники представляет безусловный интерес.

Однако встает вопрос, насколько необходимы все эти дополнительные параметры, оснащаемые МУРЗ, и на сколько увеличившийся объем информации улучшает качество работы релейной защиты? Логика работы энергосистемы не изменилась, не увеличилось количество операций, выполняемых энергосистемой: производство электроэнергии, передача и перераспределение ее потребителям, а, следовательно, не увеличилось и количество основных функций, которая должна выполнить релейная защита. Таким образом, можно сказать, что достоинством

микропроцессорной защиты являются не их функциональные качества, а удобство в эксплуатации. Они (МУРЗ) выполняют те же самые функции, что и ЭМРЗ.

Апологеты использования микропроцессорных устройств в релейной защите говорят также о таких их достоинствах, как уменьшение массогабаритов, сокращение числа обслуживающего персонала, уменьшение затрат на эксплуатацию, поскольку при наличии МУРЗ можно с пульта управления проводить работу, которая выполняется вручную в случае использования ЭМРЗ. Однако, МУРЗ имеет и ряд существенных недостатков.

Так, одно из достоинств защиты с микропроцессорами может обернуться крупным недостатком. На пульте управления установки задаются одним нажатием кнопки, но никто не застрахован от системной ошибки, даже при наличии дополнительного компьютерного контроля, потому что существует такая вещь, как компьютерный вирус. Поэтому вероятность системной ошибки при микропроцессорных защитах достаточно велика, что наблюдается в США и Европе.

У микропроцессоров очень высокая чувствительность, может быть поэтому достаточно много ложных срабатываний, кроме того они не способны выдерживать сильные нагрузки.

Говоря о возможном переходе на защиту, основанную на микропроцессорах, возникает еще одна проблема — их подверженность электромагнитным излучениям, что в значительной степени снижает эффект защиты. Есть еще одно «но» в вопросе переоснащения российской энергосистемы — электромагнитная совместимость. Прежде чем ставить МУРЗ необходимо провести реконструкцию всех действующих подстанций с тем, чтобы заземляющие контуры довести до соответствующих требований.

Микропроцессорные реле не обеспечили более высокий уровень надежности электропитания и не облегчили работу обслуживающего персонала.

Еще один очень существенный недостаток МУРЗ — они требуют обновления программного продукта, который устаревает гораздо быстрее, чем техника. Он устаревает через три года, через пять лет его уже нужно менять, а в масштабах нашей энергосистемы это очень большие затраты.

Таблица 1.

**Сравнение релейных защит с использованием электромеханических
и микропроцессорных устройств**

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УРЗ		МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УРЗ	
ПРЕИМУЩЕСТВА	НЕДОСТАТКИ	ПРЕИМУЩЕСТВА	НЕДОСТАТКИ
Высокая надежность	Сложность в эксплуатации	Удобство в эксплуатации	Возможность преднамеренных дистанционных воздействий с целью нарушения её работы
Низкая стоимость	Настройка реле по месту его установки	Не значительные габариты	Требуют обновления программного продукта
Низкая подверженность электромагнитным возмущениям со стороны питающей системы	Большое количество обслуживающего персонала	Позволяет передавать информацию на удаленный пульт	Высокая подверженность электромагнитных возмущений со стороны питающей системы
Отсутствие чужеродных элементов РЗ	Высокие габариты	Высокая чувствительность	Ложные срабатывания

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ УРЗ		МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УРЗ	
ПРЕИМУЩЕСТВА	НЕДОСТАТКИ	ПРЕИМУЩЕСТВА	НЕДОСТАТКИ
Высокий ресурс		Селективность	Высокая стоимость
Единые теоретические сведения		Быстродействие	Не являются взаимозаменяемыми
Взаимозаменяемость элементов РЗ		Сокращение числа обслуживающего персонала	Неремонтопригодность

Использование микропроцессорных реле в Павлодарской области

В настоящее время, на предприятии АО «ПРЭК», перешли на современные методы релейной защиты. На предприятии используют микропроцессорные реле серии РЗЛ-03.

РЗЛ-03–100 (-03–200, -03–300) предназначено для выполнения функций релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 10(6) кВ, трансформаторов (например, в качестве резервной защиты) и др.

Устройство предназначено для установки в релейных шкафах и отсеках КРУ, шкафах релейных залов и щитах управления подстанций 6–35 кВ.

Устройство обеспечивает следующие эксплуатационные возможности:

- выполнение функций защит, автоматики и управления, определенных ПУЭ и ПТЭ;
- задание внутренней конфигурации (ввод/вывод защит и автоматики);
- отображения с помощью светодиодных индикаторов состояния дискретных входов, пусков/работы МТЗ, неуспешного АПВ, ускорения МТЗ и т. п.;
- выбор типа времятоковой характеристики для второй ступени МТЗ;
- жесткое и свободное назначение дискретных выходов на функции пуска/работы МТЗ АПВ, ЛЗШ, ДВ;
- получение дискретных сигналов управления и блокировок, в т.ч. квитирование аварий;
- измерение и индикация действующих значений токов основной частоты (50 ± 5 Гц);
- регистрация и хранение параметров (междуфазное КЗ и значение аварийного тока) последнего аварийного событий;
- индикацию до сброса (с запоминанием) срабатывания МТЗ ТО, АПВ и дискретного входа;
- индикацию наличия тока;
- возможность сброса индикации с передней панели или дистанционно;
- питание схемы устройства только от контролируемых токовых цепей непрерывный оперативный контроль работоспособности (самодиагностику) в течение всего времени работы;
- блокировку всех выходов при неисправности устройства для исключения ложных срабатываний;
- гальваническую развязку всех входов и выходов, включая питание, для обеспечения высокой помехозащищенности.

Основные технические характеристики РЗЛ-03:

- Входной номинальный переменный ток фаз, 5 А;
- Максимальный измеряемый фазный ток, 125 А;
- Частота переменного тока, 50 Гц;
- Потребляемая мощность токовой цепью при номинальном токе на фазу не более 10 Вт.

В устройстве имеется два средства индикации:

- жестко назначенные по исполнению светодиоды (8 шт);

– светодиодный буквенно-цифровой дисплей.

На светодиодном дисплее в нормальном режиме отображаются текущие значения фазных токов в первичных/вторичных значениях (по выбору). Также дисплей служит для просмотра и настройки параметров конфигурации. Контроль неисправности цепей отключения выключателя. Дистанционное включение и отключения выключателя.

Дистанционное отключение выключателя происходит от ДВ при наличии сигнала на его входе с контролем отключенного положения выключателя по ДВ (РПО, РПВ). При этом на 30 сек. вводится запрет АПВ.

Конструкция изделия.

Конструктивно устройство выполнено в пластмассовом корпусе, состоящем из кожуха и основания. На основании имеется крепление для выступающего монтажа и двухрядная клеммная колодка в нижней части.

Микропроцессорные устройства релейной защиты являются действительно прогрессивным направлением развития энергетики.

Провозглашаемая производителями высокая надежность микропроцессорных устройств релейной защиты не всегда соответствует действительности.

Персоналу, обслуживающему любой блок микропроцессорной защиты, следует хорошо представлять все слабые стороны таких устройств и умело корректировать их работу.

Государственным органам давно пора заняться вопросами стандартизации и привести к ним микропроцессорные системы релейной защиты.

Список использованной литературы

1. Булычев, Александр Витальевич Релейная защита в распределительных электрических сетях. Пособие для практических расчетов / Булычев Александр Витальевич. — М.: НЦ ЭНАС, 2011.
 2. Гуревич, В. И. Проблемы стандартизации в релейной защите / В. И. Гуревич. — М.: ДЕАН, 2015.
 3. Цыпкин, Я. З. Релейные автоматические системы / Я. З. Цыпкин. — М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 2017.
 4. Чернобровов, Н. В. Релейная защита / Н. В. Чернобровов. — М.: Книга по Требованию, 2013.
 5. <http://electricalschool.info/>
 6. <https://studfile.net/>
 7. <https://samelectrik.ru/>
-

Шепелев А. О.

Омский Государственный Технический Университет

Анализ сходимости численных методов расчёта установившихся режимов с учётом температурной зависимости активных сопротивлений

г. Омск

Аннотация: В работе рассмотрена задача расчёта и анализа установившегося режима электрической сети с учётом температурной зависимости активных сопротивлений линий электропередачи. Проведён анализ сходимости, представленных численных методов расчёта установившегося режима. Дана общая оценка представленным методам расчёта режима.

Ключевые слова: расчёт установившегося режима, совместный метод, метод внутренней температурной коррекции, температурная зависимость активного сопротивления

Shepelev A. O.

Omsk State Technical University

Analysis of convergence of numerical methods for calculating power flow with taking into account of temperature dependence of active resistances

Omsk

Abstract: The paper considers the task of calculating and analyzing the power flow of the electric network, taking into account the temperature dependence of the active resistances of the power lines. The analysis of convergence, presented numerical methods for calculating the power flow. A general assessment of the presented methods of calculating the power flow is given.

Keywords: power flow, joint method, method of internal temperature correction, temperature dependence of active resistance

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время в РФ учёт температуры при расчётах установившихся режимов электроэнергетических систем обычно не производится. Температура провода воздушной линии электропередачи определяется режимными и климатическими факторами, и в общем случае, может быть представлена следующей формулой [3; 6]:

$$\Delta P_0 (1 + \alpha \Theta_{\text{ж}}) = d_{\text{пр}} \left[\pi \alpha_{\text{вын}} (\Theta_{\text{внеш}} - \Theta_{\text{окр}}) + \pi \epsilon_n C_0 (T_{\text{внеш}}^4 - T_{\text{окр}}^4) - A_s q_{\text{солн}} \right], \quad (1)$$

где ΔP_0 — потери активной мощности при 0°C на единицу длины; α — температурный коэффициент сопротивления; $\Theta_{\text{ж}}$ — температура токоведущей жилы, °C; $d_{\text{пр}}$ — диаметр провода, м; $\alpha_{\text{вын}}$ — коэффициент теплоотдачи провода (вынужденной конвекцией), Вт/(м²·°C); $\Theta_{\text{внеш}}$, $\Theta_{\text{окр}}$ — температуры внешней поверхности провода и окружающей среды, °C; $T_{\text{внеш}}$, $T_{\text{окр}}$ — абсолютные температуры внешней поверхности провода и окружающей среды, К; ϵ_n и A_s — степень черноты поверхности провода и поглощательная способность поверхности для солнечной ра-

диации; $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) — постоянная Стефана-Больцмана; $q_{\text{солн}}$ — плотность потока солнечной радиации на поверхность провода, Вт/м².

В силу сложности учёта влияния на температуру проводника, описанных выше параметров, обычно, рекомендуют температуру провода принимать равной температуре окружающей среды [5]. Причем предлагаемые условия такого допущения, как правило, различны.

При классическом решении нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона на сопротивления ветвей системы считаются постоянными, несмотря на то, что они зависят от температуры. В данной работе представлен расчёт установившегося режима электроэнергетических систем с учётом температурной зависимости активных сопротивлений на примере простой двух узловых схемы. Решение уравнений установившегося режима будет основано на методе Ньютона.

ТЕОРИЯ. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. *Запись уравнений установившегося режима без учёта температурной зависимости активных сопротивлений*

Запишем уравнения установившегося режима в форме баланса мощностей в полярной системе координат без учёта температурной зависимости активных сопротивлений [1] (отличия вызваны лишь принятыми знаками собственных и взаимных проводимостей):

$$\Delta P_i(P_i, U, \delta) = P_i + U_i^2 g_{ii} - U_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k U_j (g_{ij} \cos(\delta_{ij}) - b_{ij} \sin(\delta_{ij})) = 0, \quad (2)$$

$$\Delta Q_i(Q_i, U, \delta) = Q_i + U_i^2 b_{ii} - U_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k U_j (b_{ij} \cos(\delta_{ij}) + g_{ij} \sin(\delta_{ij})) = 0, \quad (3)$$

где $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$; $U_i, \delta_i, U_j, \delta_j$ — модули и фазы напряжений в узлах, кВ и град; P_i, Q_i — мощности потребителей, МВт и Мвар; g_{ii}, b_{ii} — действительная и мнимая части собственной проводимости узла; g_{ij}, b_{ij} — действительная и мнимая части взаимной проводимости узлов.

При такой форме записи уравнений режима сопротивления элементов принимаются равным паспортным данным (при 20°C). В дальнейшем будем опускать информацию о форме записи уравнений режима, так как выбранная форма наиболее часто применяется в программно-вычислительных комплексах и поэтому дальнейшие выкладки будут справедливы только для данной формы записи. Анализ сходимости численных методов расчёта установившихся режимов с учётом температурной зависимости активных сопротивлений

1. *Запись уравнений установившегося режима с учётом температурной зависимости активных сопротивлений*

Предлагается использовать 2 алгоритма расчёта потокораспределения с учётом температурной зависимости, описанных в [3]:

1. Совместное решение уравнений электрического и тепловых режимов (Совместный метод).

2. Метод внутренней температурной коррекции (ВТК).

2.1. *Совместный метод*

Совместный метод основан на добавлении к уравнениям невязок по активной и реактивной мощностям уравнений теплового баланса описанных в [7], с помощью линеаризации уравнений методом Ньютона. Таким образом уравнения невязок можно представить в общем виде как

$$\begin{aligned} \Delta P_i(P_i, U, \delta, T) \\ \Delta Q_i(Q_i, U, \delta, T) \\ \Delta T_i(U, \delta, T) \end{aligned} \quad (4)$$

Соответственно произойдёт расширение матрицы Якоби на количество ветвей в схеме. То есть при классической записи уравнений режима без учёта температуры матрица Якоби будет выглядеть следующим образом (блочная структура):

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} \end{bmatrix} \quad (5)$$

В случае совместного решения уравнений электрического и теплового режимов матрица Якоби преобразуется к виду:

$$J_{\Theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta P}{\partial U} & \frac{\partial \Delta P}{\partial T} \\ \frac{\partial \Delta Q}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial U} & \frac{\partial \Delta Q}{\partial T} \\ \frac{\partial \Delta T}{\partial \delta} & \frac{\partial \Delta T}{\partial U} & \frac{\partial \Delta T}{\partial T} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2. Метод внутренней температурной коррекции

Метод внутренней температурной коррекции основан на уменьшении размерности матрицы Якоби при допущении, что активные сопротивления — это постоянные величины. Однако величина активных сопротивлений на каждой итерации корректируется с учётом температуры элемента. То есть уравнения режима по методу внутренней температурной коррекции будут выглядеть аналогично уравнениям (2) и (3), но с изменяющимися на каждой итерации активными и реактивными проводимостями ветвей:

$$\Delta P_i(P_i, U, \delta, T) = P_i + U_i^2 g_{\Theta ii} - U_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k U_j (g_{\Theta ij} \cos(\delta_{ij}) - b_{\Theta ij} \sin(\delta_{ij})) = 0, \quad (7)$$

$$\Delta Q_i(Q_i, U, \delta, T) = Q_i + U_i^2 b_{\Theta ii} - U_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k U_j (b_{\Theta ij} \cos(\delta_{ij}) + g_{\Theta ij} \sin(\delta_{ij})) = 0. \quad (8)$$

Расчёт температуры внутри каждой итерации производится путём прямого решения уравнения теплового баланса по формулам представленным в [2] или [6].

3. Параметры для 2-х узловой тестовой схемы

В качестве тестовой схемы рассматривалась двух узловая схема. Параметры проводов и данные по 2-х узловой схемы приведены в табл. 1 и 2, соответственно. Параметры окружающей среды представлены в табл. 3.

Таблица 1.

Расчётные параметры проводов

Марка провода	АС-95/16	АС-240/32
Диаметр провода $d_{\text{пр}}$	0,0135 м	0,0216 м
Погонное активное сопротивление при 20°C r_{20}	0,306 Ом/км	0,118 Ом/км
Погонное индуктивное сопротивление x_0	0,429 Ом/км	0,405 Ом/км
Погонная ёмкостная проводимость b_0	2,641 мкСм/км	2,808 мкСм/км
Температурный коэффициент сопротивления α	0,00403 °C ⁻¹	
Степень черноты поверхности провода ε_n	0,6	
Поглощательная способность поверхности провода для солнечного излучения A_s	0,6	
Допустимая температура провода $\Theta_{\text{доп}}$	90 °C	

Таблица 2.

Параметры ветвей 2-узловой схемы

Напряжение источника питания	$U_1 = 120 \text{ кВ}, \delta_1 = 0 \text{ град}$
Номинальное напряжение	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
Угол атаки ветра	$k_v = 1$
Коэффициент учитывающий затенённость участков проводов	$k_{\text{зт}} = 1$
Угол между осью провода и направлением солнечных лучей	$\varphi_s = \frac{\pi}{4}$

Таблица 3.

Условия охлаждения и значения солнечной радиации

Параметр	Численное значение или расчётная формула
Температура окружающей среды $\Theta_{\text{окр}}$	-10 °C
Атмосферное давление $P_{\text{атм}}$	101216 Па
Скорость ветра V	0,6 м/с
Плотность потока прямой солнечной радиации на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам $q_{s,\text{пр}}$	500 Вт/м ²
Плотность потока рассеянной солнечной радиации $q_{s,\text{расс}}$	100 Вт/м ²
Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{\text{вын}}$	$\alpha_{\text{вын}} = 0,044 \frac{k_v (P_{\text{атм}} V)^{0,6}}{(T_{\text{окр}} d_{\text{пр}})^{0,4}}$
Плотность потока солнечной радиации на поверхности проводов $q_{\text{солн}}$	$q_{\text{солн}} = k_{\text{зт}} q_{s,\text{пр}} \sin \varphi_s + \pi q_{s,\text{расс}}$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Рассмотрим два способа оценки сходимости методов расчёта установившихся режимов. В соответствии с [4], одним из основных факторов, влияющих на сходимость метода Ньютона, является уровень нагрузок. С другой стороны, на сходимость влияют сопротивления (проводимости) элементов сети. Поэтому оценивать сходимость методов расчёта установившихся режимов с учётом температурной зависимости сопротивлений при:

- вариации нагрузок;
- вариации длин линий.

1. Сходимость при вариации нагрузок

Нагрузки будем варьировать по следующим закономерностям:

1. Провод марки АС 95/16: $P_{\text{нагр}} = 10 \dots 80$ МВт; $Q_{\text{нагр}} = 10 \dots 55$ Мвар.
2. Провод марки АС 240/32: $P_{\text{нагр}} = 40 \dots 160$ МВт; $Q_{\text{нагр}} = 40 \dots 80$ Мвар.

Длину линий зафиксируем на длине $L = 15$ км для обоих случаев.

Результаты численного моделирования режима двух узлов сетки при вариации нагрузок приведены в табл. 4 и 5.

2. Сходимость при вариации длины линий

Длины линий будем варьировать по следующим закономерностям:

1. Провод марки АС 95/16: $L = 10 \dots 65$ км; шаг — 5 км. $P_{\text{нагр}} = 69$ МВт; $Q_{\text{нагр}} = 35$ Мвар
2. Провод марки АС 240/32: $L = 10 \dots 65$ км; шаг — 5 км. $P_{\text{нагр}} = 122$ МВт; $Q_{\text{нагр}} = 56$ Мвар

Результаты численного моделирования режима двух узлов сетки при вариации длины линий приведены в табл. 6 и 7.

Таблица 4.

Результаты анализа работы двух методов для провода марки АС 95/16
при вариации нагрузок

$P_{\text{нагр}}$, МВт	$Q_{\text{нагр}}$, Мвар	U, кВ	δ , град	Θ , °С	$R(\Theta)$, Ом	Лин	$k_{\text{ВТК}}$	$k_{\text{СОВМ}}$
10	10	119,122	-0,11459	-2,907	4,198	68	3	-
20	20	118,203	-0,17189	1,39	4,271	137	4	-
30	30	117,241	-0,22918	9,05	4,403	208	4	7
40	40	116,214	-0,28648	20,766	4,603	280	4	6
50	50	115,092	-0,34377	37,63	4,892	354	4	5
55	55	114,482	-0,34377	48,481	5,078	391	4	4
60	55	114,187	-0,40107	54,737	5,185	411	4	4
65	55	113,873	-0,51566	61,805	5,306	431	4	4
70	55	113,534	-0,63025	69,767	5,442	452	5	4
75	55	113,169	-0,74485	78,711	5,595	474	5	4
80	55	112,772	-0,85944	88,74	5,767	496	5	3

Таблица 5.

**Результаты анализа работы двух методов для провода марки АС 24/32
при вариации нагрузок**

$P_{\text{нагр}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{нагр}}, \text{Мвар}$	$U, \text{кВ}$	$\delta, \text{град}$	$\Theta, ^\circ\text{C}$	$R(\Theta), \text{Ом}$	$I_{\text{лин}}$	$k_{\text{ВТК}}$	$k_{\text{СОВМ}}$
40	40	117,369	-0,74	3,343	1,66	277	3	4
50	50	116,674	-0,92	7,313	1,686	349	3	4
60	60	115,96	-1,09	12,398	1,72	421	3	4
70	70	115,225	-1,26	18,739	1,762	495	4	4
80	80	114,465	-1,43	26,511	1,813	570	4	4
90	80	114,259	-1,66	31,015	1,843	608	4	4
100	80	114,04	-1,89	36,203	1,877	647	4	4
110	80	113,807	-2,18	42,132	1,916	689	4	4
120	80	113,557	-2,41	48,867	1,961	732	4	4
130	80	113,288	-2,64	56,482	2,011	777	4	4
140	80	112,999	-2,92	65,058	2,067	823	4	4
150	80	112,684	-3,15	74,686	2,131	870	4	4
160	80	112,342	-3,38	85,463	2,202	919	4	4

Таблица 6.

**Результаты анализа работы двух методов для провода марки АС 95/16
при вариации длины линий**

$L, \text{км}$	$U, \text{кВ}$	$\delta, \text{град}$	$\Theta, ^\circ\text{C}$	$R(\Theta), \text{Ом}$	$I_{\text{лин}}$	$k_{\text{ВТК}}$	$k_{\text{СОВМ}}$
10	116,728	-0,74485	45,708	3,353	382	4	6
15	114,998	-1,08862	47,399	5,059	388	4	5
20	113,193	-1,48969	49,267	6,788	394	4	4
25	111,304	-1,89076	51,346	8,544	400	4	3
30	109,314	-2,34913	53,682	10,333	408	5	4
35	107,207	-2,7502	56,337	12,161	415	5	4
40	104,958	-3,20856	59,395	14,038	424	5	4
45	102,533	-3,66693	62,98	15,977	434	5	4
50	99,881	-4,1253	67,283	17,998	446	6	4
55	96,923	-4,64096	72,618	20,133	459	6	4
60	93,518	-5,15662	79,575	22,439	476	7	5
65	89,363	-5,67228	89,473	25,043	502	8	5

Таблица 7.

**Результаты анализа работы двух методов для провода марки АС 240/32
при вариации длины линий**

L, км	U, кВ	δ , град	Θ , °C	R(Θ), Ом	Илин	k _{ВТК}	k _{совм}
10	116,689	-1,71887	38,457	1,261	664	4	6
15	114,908	-2,63561	39,895	1,901	674	4	4
20	113,027	-3,55234	41,502	2,549	685	4	4
25	111,031	-4,52637	43,314	3,206	697	4	4
30	108,901	-5,55769	45,382	3,875	711	4	4
35	106,611	-6,64631	47,772	4,558	726	4	4
40	104,125	-7,73493	50,583	5,258	743	5	4
45	101,392	-8,93814	53,963	5,983	763	5	4
50	98,335	-10,2559	58,154	6,74	786	5	4
55	94,823	-11,6883	63,588	7,545	816	6	5
60	90,602	-13,2926	71,164	8,431	854	7	5
65	85,022	-15,2407	83,381	9,483	910	8	5

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам произведённого численного моделирования для представленных методов можно сделать следующие выводы:

1. Оба метода обладают удовлетворительной сходимостью в рабочих диапазонах напряжений.
2. Для 2-х узловой тестовой схемы при вариации нагрузок были получены следующие результаты:
 - а) Для 2-х узловой тестовой схемы, выполненной проводом марки АС 95/16 было выявлено, что совместный метод при определённых значениях нагрузки сходил к постороннему решению, не имеющему физического смысла.
 - б) Для 2-х узловой тестовой схемы, выполненной проводом марки АС 240/32 обнаружено, что во всей области рассматриваемых значений нагрузок оба метода сходятся за одно и то же количество итераций. Однако, в режиме умеренных нагрузок совместный метод сходил за большее число итераций.
3. Для 2-х узловой тестовой схемы при вариации длины линий было выявлено, что для проводов марки АС 95/16 и АС 240/32 метод ВТК при вариации длины линии сходил за большее число итераций, относительно совместного метода.

Список использованной литературы

1. Аюев Б. И., Давыдов В. В., Ерохин П. М., Неуймин В. Г. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах / Под ред. П. И. Бартоломея. — М.: Флинта: Наука, 2008. — 256 с.

2. Гиршин С. С., Горюнов В. Н., Кузнецов Е. А., Карпенко А. В. Упрощение уравнений теплового баланса воздушных линий электропередачи в задачах расчета потерь энергии // Омский научный вестник. 2013. № 1 (117). С. 148–151.
 3. Гиршин С. С., Шепелев А. О. Разработка усовершенствованных методов расчёта установившихся режимов электроэнергетических систем с учётом температурной зависимости активных сопротивлений ВЛ // Электрические станции. 2019. № 11. С. 44–54.
 4. Горнштейн В. М., Мирошниченко Б. П., Пономарёв А. В., Тимофеев В. А., Юровский А. Г. Методы оптимизации режимов энергосистем / под ред. В. М. Горнштейна. — М.: Энергия, 1981. — 336 с.
 5. Инструкция по организации в министерстве энергетики российской федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям: утв. Минэнерго России от 30.12.2008 г. № 326 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти №16 от 20.04.2009.
 6. Петрова Е. В., Гиршин С. С., Ляшков А. А., Бигун А. Я. Аналитическое решение уравнения теплового баланса провода воздушной линии в условиях вынужденной конвекции // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 218.
 7. Frank S., Sexauer J., Mohagheghi S. Temperature-Dependent Power Flow // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 4, pp. 4007–4018, Nov. 2013.
-

Аков М. Ф., Пономарёва О. Л.

Сургутский государственный университет, г.Сургут

Ликвидация асинхронного хода генераторов при параллельной работе с сетью

г. Сургут

Аннотация. На сегодняшний день активно развивается система собственной генерации электроэнергии в нефтегазовых компаниях. Этим решаются две основные задачи. Первая — утилизация попутного нефтяного газа, вторая — стоимость электроэнергии ниже рыночной. В основном применяются генераторы единичной установленной мощностью до 12 МВт. Как правило, для обеспечения надежного электроснабжения собственных потребителей, генераторы работают параллельно с единой энергетической системой РФ. Здесь появляются проблемы и вопросы, связанные с тем, что генераторы работают параллельно с системой большой мощности. Одна из них — устойчивость работы при переходных процессах в сети, а именно, выпадение генераторов из синхронизма и, как следствие, снижение частоты ниже допустимых. В данной статье предлагается рассмотреть одно из решений по повышению устойчивости работы в ненормальных режимах.

Ключевые слова: собственная генерация, переходные процессы, асинхронный режим, параллельная работа.

Akov M. F., Ponomareva O. L.

Surgut State University, Surgut

Elimination of the asynchronous stroke of generators during parallel work with the network

Surgut

Abstract. Today, the system of own generation of electricity in oil and gas companies is actively developing. This solves two main problems. The first is the utilization of associated petroleum gas, the second is the cost of electricity below market. Generators with a unit installed capacity of up to 12 MW are mainly used. As a rule, to ensure reliable power supply to their own consumers, generators operate in parallel with the unified energy system of the Russian Federation. Here there are problems and questions related to the fact that the generators work in parallel with a high-power system. One of them is the stability of operation during transients in the network, namely, the loss of generators out of synchronism and, as a result, a decrease in the frequency below permissible. This article proposes to consider one of the solutions to improve the stability of work in abnormal modes.

Keywords: own generation, transients, asynchronous mode, parallel operation.

В данной статье рассматривается система, представленная на рис. 1, состоящая из 6 генераторов (установлено по 3 энергоблока в каждой газотурбинной электрической станции ГТЭС-1,2) единичной установленной мощностью 12 МВт, которые работают параллельно между собой и с внешней сетью. В нормальном режиме все генераторы работают в номинальном режиме и общая отпускаемая мощность 72 МВт (для простоты и наглядности собственное потребление генераторов не учитываем). С учетом собственного потребления НГДУ, переток

мощности во внешнюю сеть составляет 32 МВт (по 16 МВт по каждой линии ВЛ 110–1(2)).
Казалось бы, что собственная генерация полностью покрывает потребление и даже при отклю-
чении или повреждениях во внешних сетях с надежностью электроснабжения вопросов быть
не должно. Но на практике не совсем все так хорошо.

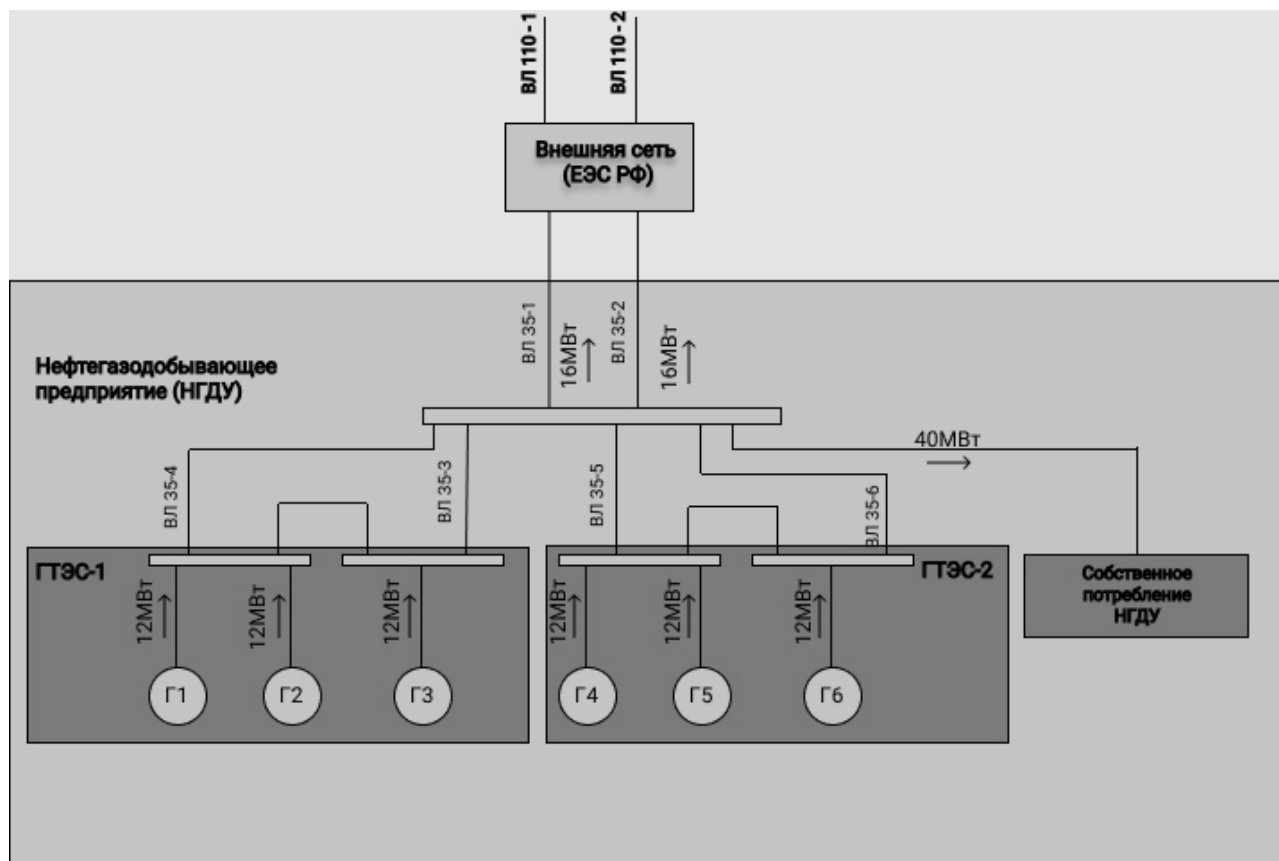


Рис. 1. Структурная схема системы

Рассмотрим работу единичного генератора в нормальном режиме. На вал генератора влия-
ют два момента (силой трения в подшипниках пренебрегаем): момент турбины, действующ-
ий на ускорение вращения ротора и тормозящий момент. Если между данными моментами
нарушается равновесие, то это приводит к качаниям в системе или режим генератора станет
асинхронным. Асинхронный режим — это переходной режим, при котором один или часть ге-
нераторов вращаются несинхронно. К асинхронному режиму могут привести такие события,
как отключение ЛЭП, со значительными мощностями, несинхронное включение оборудования
(ЛЭП и генераторов), аварийные отключения.

Переход генератора в асинхронный режим работы в результате потери динамической
устойчивости показан на рис. 2, при возникновении короткого замыкания во внешней сети
с отключением линии электропередачи Линия 1(2).

Удачное возобновление работы линии электропередачи после АПВ представлено
на рис. 2. Отключение линии было спровоцировано трехфазным коротким замыканием.

В связи с тем, что в рассматриваемом примере площадь ускорения f_{abcde} превосходит
максимально перспективный участок торможения f_{fgh} , в таком случае, в результате приобре-
тенной инерции турбина не имеет возможности остановиться в заданное время, что вынужда-
ет взаимный угол δ равноценного генератора G изменить свое значение на критическое δ_{KP} .

Следовательно, приступает оказывать давление на турбину избыточный момент, что служит источником для увеличения угла δ с увеличением скорости вращения турбины (ротора генератора).

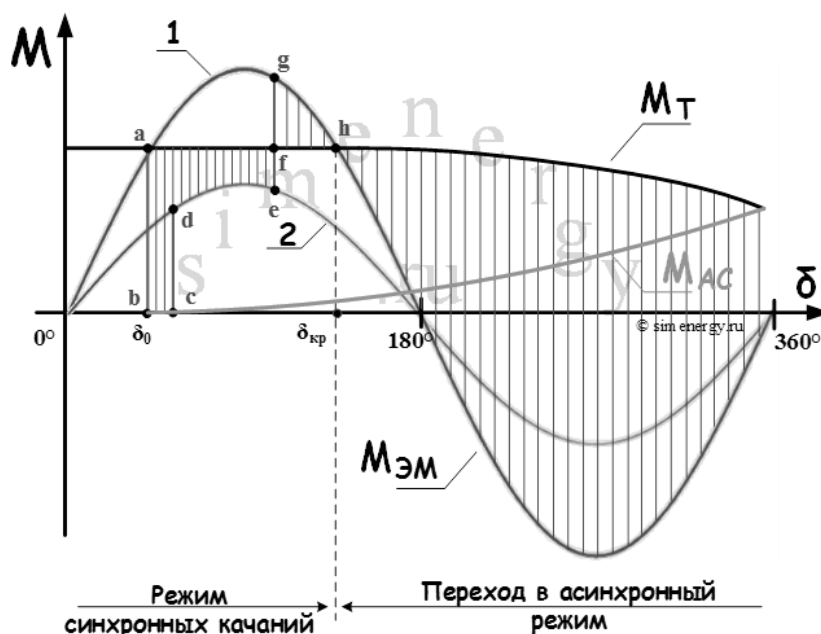


Рис. 2. Характеристика мощности (угловая)

В момент, когда разность между скоростью вращения ротора от синхронной частоты начинает меняться, возникает скольжение S . Разность скоростей приводит к увеличению скольжения. В результате возникновения скольжения в синхронной машине, приступают к действию регуляторы мощности турбины, которые, в свою очередь, производят уменьшение P_T ; возникает асинхронный момент, его появление обусловлено напряжением на зажимах генератора, его характеристики и скольжение.

$$M_{ac} = \frac{U^2 \cdot r \cdot s}{r^2 + (x_1 \cdot s)^2} = \frac{U^2 \cdot x_1 \cdot s / r}{x_1 \cdot (1 + (x_1 \cdot s / r)^2)} = \frac{U^2 \cdot (x_d - x'_d)}{x'_d \cdot x_d} \cdot \frac{T'_d \cdot s}{1 + (T'_d \cdot s)^2}$$

Последнее выражение получено с учетом следующих соотношений:

$$T'_d = x_1 / r \quad x_1 = \frac{x_d \cdot x'_d}{x_d - x'_d}$$

Средний асинхронный момент ($M_T = M_{AC}$) может уравновесить момент турбины при неком значении скольжения. Выполнение данного условия означает возникновение асинхронного режима. Как следствие на вал генератора вышедшего из синхронизма машины начнут воздействовать асинхронные моменты, которые взаимно уравновешивают друг друга и синхронный вращающий момент.

Синхронный вращающий момент вызывает периодическое изменение скорости вращения ротора в асинхронном режиме, следовательно, и пульсации скольжения, изменяющиеся от минимального до максимального [1].

Вектор ЭДС генератора, вышедшего из синхронизма, вращаются относительно вектора ЭДС синхронных генераторов. Машина начинает работать поочередно в генераторном и двигательном режимах, при этом возникают большие уравнивающие токи, значительные отклонения напряжения, а также большие моменты, действующие на генератор и турбину.

В рассматриваемой нами ситуации получается следующим образом. Во время переходных процессов, из-за динамической неустойчивости, часть генераторов в момент времени начинают работать в двигательном, другая в генераторном [2]. При этом в пределах одной ГТЭС генераторы могут работать в разных режимах относительно друг друга. Также режим может меняться одной ГТЭС относительно другой. Соответственно генераторы, перешедшие в двигательный режим, провоцируют дефицит мощности в системе и, как следствие, снижение частоты и напряжения. При достижении уровня частоты уставок АЧР, часть потребителей начинает отключаться по действию противоаварийной автоматики. Данный процесс, как показывает практика, стабилизируется только после перехода одной или двух ГТЭС полностью в автономный режим работы, то есть изолированно. В большой энергетике для ликвидации асинхронного режима в энергосистеме используются устройства ликвидации асинхронного режима (АЛАР), которые действуют на отключение связей по сечению асинхронного хода, то есть делением ЭЭС на несинхронно работающие части[4].

В нашей ситуации для того, чтобы повысить устойчивость системы электроснабжения НГДУ необходимо решить две задачи в разных ситуациях:

1. При возникновении возмущения в сети 110 кВ систему АЛАР необходимо предусмотреть для разделения сетей 35 кВ НГДУ от внешней сети 110 кВ (отключение ВЛ 35–1,2) до выпада генераторов в АР;
2. При возникновении асинхронного хода между ГТЭС-1 и ГТЭС-2 систему АЛАР необходимо установить для разделения ГТЭС-1,2 путем отключения ВЛ 35–3,4.

Система АЛАР может быть реализована на базе:

- Электромеханических реле;
- Терминалов защиты РЗА;
- Терминалов противоаварийной автоматики.

Использование электромеханических реле сопряжено с рядом трудностей. Во-первых, схемы на их базе отличаются большой сложностью. Во-вторых, электромеханические реле характеризуются ограниченным быстродействием, сравнимым с возможной длительностью АР. Кроме того, подобные схемы уже морально устарели.

Использование терминалов защиты, в функционал которых включен АЛАР, может отвечать требованиям релейной защиты (быстродействие, чувствительность, селективность, надежность). Однако в терминалах, установленных на объектах ПАО «Сургутнефтегаз», функция АЛАР не предусмотрена, а замена терминала сопряжена с изменением схем вторичных цепей, что является затратным и трудоемким процессом.

Использование терминалов противоаварийной автоматики отвечает всем требованиям и является наиболее простым техническим решением, который требует минимального вмешательства.

Принцип действия: при асинхронном режиме различные части энергосистемы работают несинхронно, векторы двух эквивалентных ЭДС взаимно вращаются, вызывая периодическое изменение тока и напряжения в точке измерения [3]. Терминал ПА отрабатывает на прямом признаке асинхронного режима — возрастании угла сдвига фаз δ (угол передачи) между векторами напряжений по концам контролируемого участка.

Но в любом случае техническое решение необходимо принимать строго на основании проектного решения.

Список использованной литературы

1. Жданов П. С. «Вопросы устойчивости электрических систем» — Москва, 1979. 456 с.
 2. Мелешкин Г. А., Меркурьев Г. В. «Устойчивость энергосистем» — Санкт-Петербург, 2006. 369 с.
 3. Сенегов П. Н. «Электромеханические переходные процессы» — Челябинск, 1996. 26 с.
 4. Хрущев Ю. В., Заповодников К. И., А. Ю. Юшков «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах» — Томский Политехнический университет, 2010. 168 с.
 5. Руководство по эксплуатации «Турбогенератор типа ТС-12–2РУХЛЗ, 6300В».
 6. Руководство по эксплуатации «Возбудитель бесщеточный диодный ВБД-80–3000 УЗ».
-

Владимиров Л. В.¹, Ощепков В. А.²

¹Сургутский государственный университет, г. Сургут

²Омский государственный технический университет, г. Омск

Определение поврежденного присоединения при однофазном замыкании на землю

г. Сургут

Аннотация. Определение поврежденного присоединения в сетях среднего напряжения представляет сложную в техническом плане задачу из-за уровня токов однофазного замыкания на землю и сильной разветвленности сети. Предлагаемый метод обеспечивает выявление поврежденной отходящей линии путем наложения тока высокой частоты от источника синусоидального напряжения, подключенного к электрической сети.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, поврежденное присоединение, высокочастотный метод.

Vladimirov L. V.¹, Oshepkov V. A.²

¹Surgut State University, Surgut

²Omsk state technical university, Omsk

Determination of a damaged connection in single-phase earth fault

Surgut

Abstract. The determination of damaged connection in medium voltage networks is technically difficult task because of the level of currents of a single-phase earth fault and the strong branching of the network. The proposed method provides for the identification of damaged outgoing line by applying high-frequency current from source of sinusoidal voltage connected to the electric network.

Keywords: single-phase earth fault, damaged connection, high-frequency method.

В электрических сетях среднего напряжения 3–69 кВ (Германия, Италия, Австрия, Япония и др.), 6–35 кВ (Россия) широко применяются режимы изолированной нейтрали и нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор. Большую часть всех повреждений в указанных сетях составляют однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Определение поврежденного присоединения осложняется малым уровнем тока ОЗЗ (особенно в сетях с компенсированной нейтралью) [2, 3].

На сегодняшний день разработано множество способов селективного определения поврежденного присоединения [4–6]. Их краткая характеристика представлена ниже:

1. Определение действующего значения тока нулевой последовательности. Метод основан на определении и сравнении действующих значений полного тока нулевой последовательности промышленной частоты ($3I_0$) каждого отходящего присоединения. Используется в ненаправленных токовых защитах. Не применим в распределительных сетях с малым током ОЗЗ.

2. Определение направления тока нулевой последовательности каждой линии. На поврежденной линии, при протекании суммарного емкостного тока $I_{C\Sigma}$ от шин подстанции к месту

повреждения, защита срабатывает, если значение этого тока больше, чем ток уставки. Не применим в распределительных сетях с малым током ОЗЗ.

3. Использование параметров переходного процесса при ОЗЗ. Заключается в запоминании и сравнении первоначальных знаков тока $3I_0$ и напряжения $3U_0$ в месте замыкания с параметрами переходного процесса. При совпадении знаков ОЗЗ фиксируется в защищаемом направлении, а при несовпадении регистрируется внешнее однофазное замыкание на землю.

4. Анализ установившихся значений высших гармонических составляющих тока нулевой последовательности. Выделение поврежденного присоединения осуществляется сопоставлением значений высокочастотных токов в поврежденных и неповрежденных присоединениях. В поврежденном присоединении значение высших гармонических составляющих будет максимально.

5. Наложение токов не промышленной частоты. Для этого необходимо подключить к контролируемой сети специальную установку, постоянно генерирующую ток выбранной частоты. При устойчивых ОЗЗ ток в основном проходит по поврежденному присоединению и воспринимается защитой данного присоединения. Есть положительный опыт использования метода при неустойчивых ОЗЗ с перемежающейся дугой.

На рис. 1 представлена упрощенная схема сети, которая состоит из распределительного устройства 1 с коммутационными аппаратами 2, от секции шин 3 которого питаются линии 4. Предположим, что на одной из отходящих линий присутствует ОЗЗ 5.

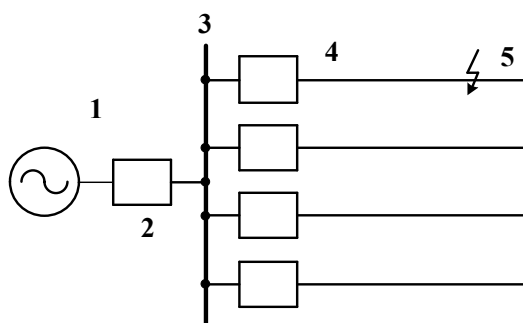
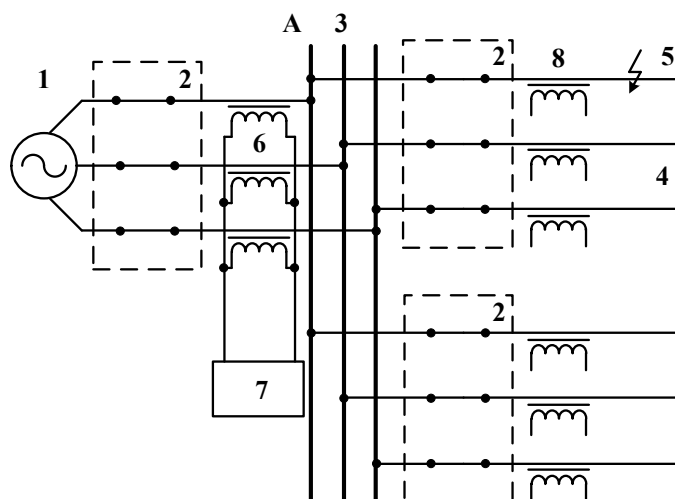


Рис.1. Схема распределительного устройства

Предлагаемый метод селективного определения отходящей линии реализуется путем фиксации момента возникновения ОЗЗ, включением дополнительного источника синусоидального напряжения частотой выше 50 Гц. Подключаемый источник не промышленной частоты (ИНЧ) имеет возможность регулирования. Поврежденная отходящая линия с ОЗЗ будет отличаться большим значением тока на резонансной частоте в сравнении с током на отходящей линии без повреждения.

На рис. 2 представлена схема подключения ИНЧ 7 через индуктор 6 к шинам 3 распределительного устройства 1, а так же расположение датчиков тока 8 на каждой фазе отходящих линий, с помощью которых определяется действующее значение тока не промышленной частоты. Частота ИНЧ изменяется до момента возникновения резонанса напряжения. Ток на резонансной частоте в защищаемых присоединениях 4 измеряется датчиками тока 8. Высокочастотная составляющая тока в поврежденной фазе линии 5 будет существенно выше высокочастотного тока в отходящей линии без повреждения, что позволяет выделить поврежденное присоединение.

Схема замещения при замыкании на землю фазы А на линии 1 (рис. 3) включает в себя следующие элементы: R_c — приведенное активное сопротивление системы; X_c — индуктивное сопротивление, учитывающее ЭДС, индуцируемое потоками рассеивания, Ом; $B_{л1}$ и $B_{л2}$ —



Угловая частота при резонансе для схемы, представленной на рис. 3, определяется следующим образом:

$$\omega_{\text{Bq}} = \sqrt{\frac{1}{3C_2L_C}} = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot (C_{J1} + C_{J2}) \cdot L_C}} = \sqrt{\frac{1}{3 \cdot (0,06 \cdot 10^{-6} + 0,06 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,01}} = 1,67 \cdot 10^4 \text{ c}^{-1}$$

Резонансная частота:

$$f_{\text{вч}} = \frac{\omega_{\text{вч}}}{2\pi} = \frac{1,67 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14} = 2,65 \text{ кГц}$$

В результате математического моделирования и решения системы уравнений, составленной методом узловых потенциалов [1] для схемы, представленной на рис. 3, определены амплитудные значения токов I_1 и I_2 при указанной резонансной частоте:

$$I_{1m} = 0,37 \text{ A}, I_{2m} = 1,85 \cdot 10^{-3} \text{ A}.$$

Найдем действующее значение токов I_1 и I_2 :

$$I_1 = 0,26 \text{ A}, \quad I_2 = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

Из полученных значений видно, что действующее значение тока на резонансной частоте в поврежденной фазе линии 1 на несколько порядков выше, чем в не поврежденной фазе линии 2. Для определения высокочастотной составляющей наложенного тока, по которой определяют поврежденную линию, используются токовые датчики. Дополнительная составляющая присутствует только на поврежденной линии и является признаком возникновения ОЗЗ на этой линии.

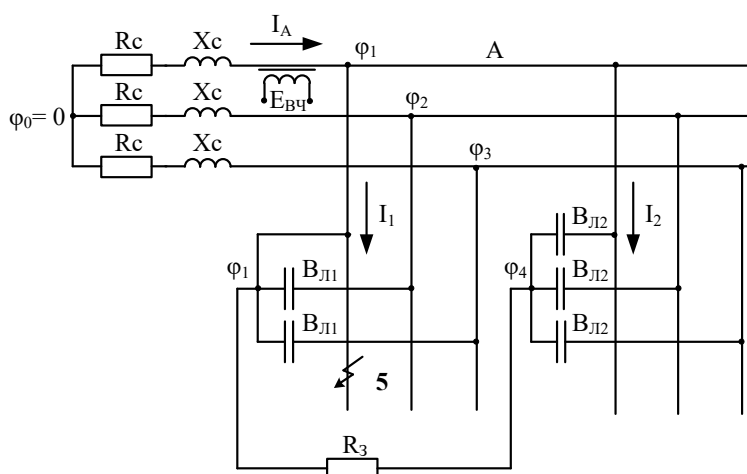


Рис. 3. Схема замещения сети при ОЗЗ в фазе А линии 1

Применение высокочастотного метода определения поврежденного присоединения имеет ряд преимуществ:

- не оказывает влияния на работу силового электрооборудования;
- не требует изменения режима работы нейтрали;
- не оказывает влияния на работу релейных защит, основанных на измерении токов и напряжений промышленной частоты 50 Гц;
- селективность предлагаемого метода подтверждается результатами моделирования;
- предлагаемый метод может быть реализован на базе известных микропроцессорных устройств.

Список использованной литературы

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. — М. : Гардарики, 2000. — 638 с.
2. Борковский С. О., Горева Т. С., Горева Т. И. Проблема диагностики однофазных замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9 (часть 5). — с. 954–959;
3. Вайнштейн Р. А. Режимы заземления нейтрали в электрических системах: учебное пособие / Коломиец Н. В., Шестакова В. В. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006 — 118 с.
4. Вайнштейн Р. А., Головкин С. И., Григорьев В. С., Коберник Е. Д., Максимов В. Н., Юдин С. М. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ // Электрические станции. 1998, № 7. — С. 26–30.
5. Патент РФ № 2232456 (от 11.10.2002). Способ распознавания однофазного дугового замыкания на землю и поврежденной фазы в распределительных сетях с резонансно-заземленной нейтралью // Качесов В. Е., БИ № 19, 2004.
6. Патент РФ № 2254586 (от 24.12.2003). Способ определения фидера с однофазным дуговым замыканием на землю в радиальных распределительных кабельных сетях // Качесов В. Е., БИ № 17, 2005.

Королев¹ А. А., Князев¹ О. А., Иванов² Д. М., Иванов¹ М. Н.

¹Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск

²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Вибродиагностика и балансировка электродвигателей

г. Новосибирск

Аннотация. В статье приведены существующие виды вибродиагностики, рассмотрены причины вибрации в электродвигателях. Целью исследования является повышение эффективности функционирования электродвигателя. Представлены результаты вибробалансировки электродвигателя постоянного тока — привода резьбонарезного станка.

Ключевые слова: балансировка, вибродиагностика, дисбаланс, электродвигатель.

Korolev A. A., Knazev O. A., Ivanov D. M., Ivanov M. N.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

Vibrodiagnostics and balancing of electric motors

Novosibirsk

Abstract. The article presents the existing types of vibration diagnostics, considers the causes of vibration in electric motors. The aim of the study is to increase the efficiency of the electric motor. The results of vibration balancing of a direct current electric motor — a drive of a thread-cutting machine are presented.

Keywords: balancing, vibration diagnostics, imbalance, electric motor.

Большое количество аварий электрического оборудования связано с не полноценным контролем технического состояния и как следствие ускоренным износом. Одним из видов оборудования, входящих в группу, наиболее подверженную износу, если не проводить контроль согласно правилам технического обслуживания, является электрическая машина. Это обуславливается тем что, электрические машины имеют вращающиеся элементы, которые имеют свойство виброактивности.

Виброактивность — это способность электрической машины быть источником колебаний. Эти колебания проявляются в виде шума и вибрации. Они возникают под действием переменных сил, вызывающих деформацию различных элементов электрической машины [1]. Вибрация — такой вид механического движения, при котором каждая из точек тела совершает периодически повторяющиеся перемещения вблизи некоторого относительно неподвижного тела. Вибрация происходит под действием сил возбуждения, имеющих различные причины. В роторных машинах силы возбуждения связаны, прежде всего, с процессом вращения валов. [1]

Существенные отклонения от нормируемых значений вибрации, в длительных режимах, изнашивают электрическую машину. С целью противодействия данным явлениям, применяется вибродиагностика. Вибродиагностика решает задачи, связанные с выявлением причин повышенного уровня вибрации механизмов и обнаружению скрытых дефектов конструкций.

Использует метод неразрушающего контроля машин, механизмов, узлов и агрегатов. Неразрушающий контроль — это метод профессиональной дефектоскопии и диагностики без механического вмешательства в узлы и агрегаты. Неразрушающий контроль используется для регулярной диагностики оборудования на опасных производственных объектах или в случаях,

когда разборка агрегатов является трудоемким и дорогостоящим процессом. А также на действующем оборудовании. [1]

Существуют следующие виды вибродиагностики:

- непрерывная диагностика или вибромониторинг — направлен на отслеживание ответственных или дорогостоящих узлов требующих постоянного контроля;
- периодическая вибродиагностика, которая выполняется на менее ответственных узлах, не требующих постоянного отслеживания. Такая диагностика проводится при начале проявления ощутимых, но не критичных вибраций.

До начала балансировки необходимо проверить состояние узлов машины и вращающихся деталей. Осмотреть машину на наличие грязи, болтающихся деталей или посторонних предметов. Произвести очистку и при необходимости ремонтные работы

Далее устанавливаются датчик вибрации, оптический или лазерный фотоотметчик, и опорная «нулевая» метка, на вращающемся валу. Датчики и фотоотметчики должны не менять расположение на протяжении балансировки. Опорную нулевую метку, необходимую для определения местоположения дисбаланса, наносят на ротор относительно элементов, которые постоянно закреплены на роторе.

Во время балансировки машины будет измеряться величина вибрации и угол сдвига фаз на частоте вращения ротора. Оценивать амплитуду колебаний балансируемой машины будем в линейных единицах. Логарифмические единицы (дБ) измерения амплитуды использовать при балансировке нельзя. Для измерения параметра вибрации будет использоваться вибросмещение или виброскорость и фаза. Во время проведения балансировки принимаем во внимание относительное изменение фазы, рассчитанное относительно исходного пуска, не абсолютное значение фазы. При балансировке машины, контролируется постоянство скорости вращения вала.

План действий при балансировке включает в себя: исходный пуск, пуск с пробным грузом, определение уравнивающего груза, пуск с уравнивающим грузом, пуск с корректирующим грузом, заключительный пуск.

Исходный пуск. Чтобы узнать, где расположен дисбаланс на роторе, в первую очередь нужно произвести начальные измерения вибрации, которые позволят оценить уровень и фазу вибрации. Фазовый угол — это угол между пиком вибрации и пиком сигнала фотоотметчика поступающего от «нулевой» метки установленной на валу или роторе. Метка используется в качестве начала отсчета углового местоположения «тяжелого» места на роторе и уравнивающей массы. [1]

Запускаем машину и ждем некоторое время, чтобы она полностью прогрелась. Очень часто во время прогрева машины можно увидеть, как фаза вибрации изменяется. Для того чтобы фаза при вращении машины была стабильной, необходимо чтобы ротор машины полностью прогрелся, то есть стал термически стабильным.

Регистрируем величину и фазу вибрации. Останавливаем машину.

Пуск с пробным грузом. Далее выполняем пробный пуск, он проводится с «пробным» грузом который имеет достаточно большую массу для изменения начального дисбаланса и не вызывать повреждения.

После запуска машины и стабилизации работы проводятся измерения в тех же контролируемых точках, что и при исходном пуске. Амплитуды и фаза колебаний, измеренные в контрольных точках должны существенно измениться. Если амплитуда не изменилась более чем на 30% и фаза, по крайней мере, на 30°, то необходимо увеличить массу пробного груза и изменить его место установки.

Пробный пуск позволяет узнать, как изменилось поведение машины от установки пробного груза. Воздействие массы пробного груза может быть выражено численно через коэффициент влияния.

Коэффициент влияния — это изменение (влияние) амплитуды и фазы вибрации машины, после установки на ротор уравнивающего груза определенной массы в определенное место. Предполагается, что это изменение (влияние) является линейным.

Определение уравнивающего груза. Векторные диаграммы используют для графического отображения первоначального дисбаланса ротора в виде вектора исходной вибрации и нового дисбаланса в виде вектора вибрации полученного после пробного пуска. Графически определяется вектор влияния и на основании этого вычисляют массу и угловое положение на роторе уравнивающего груза. Использование специализированных программ для балансировки упрощает и ускоряет решение задачи. По данным измерений амплитуды и фазы исходного и пробного пуска, программа производит расчёт местоположения и вес уравнивающего груза, который «теоретически» снизит дисбаланс машины до минимума.

Устанавливается расчетный уравнивающий груз. Пуск с уравнивающим грузом. Машину опять запускают и после стабилизации режима снимают показания амплитуды и фазы вибрации на частоте тех же измерений

Производится оценка полученных результатов. Если вибрация машины в контролируемых точках ниже нормируемых значений, то на этом балансировка машины на месте ее эксплуатации считается законченной.

Пуск с корректирующим грузом. При идеальных условиях уравнивающий груз должен обеспечить успешную балансировку. Но на практике необходима дополнительная корректировка, для снижения дисбаланса до нормируемых значений.

Заключительный пуск. На заключительном этапе на вал устанавливают постоянные грузы. При предыдущих испытаниях используют разнообразные балансировочные грузы, которые не подходят для постоянной работы. Крепежные болты надежно закручивают проверяют установку и осуществляют контрольный пуск для снятия заключительных показаний. [1]

Для балансировки выбран электродвигатель постоянного тока мощностью 69 кВт, имеющий скорость вращения 1500 об/мин, и являющийся главным приводом резбонарезного станка Colinet. Балансировка необходима после ремонта электродвигателя и замены подшипников. Для выполнения поставленной задачи используем балансировочный прибор ИВП–2. Результаты этапов вибробалансировки представлены в табл. 1–5.

Таблица 1.

Вибрационное состояние

Виброперемещение	Подшипник №1	Подшипник №2
Вертикальное, мк	80	25
Поперечное, мк	95 ⁻⁰	75 ⁻²⁰

Вибрация по виброперемещению превышает нормированное значение, которое при скорости вращения двигателя 1500 об/мин должно составлять не более 70 мк.

Основная причина вибрации — небаланс на роторе электродвигателя. Балансировку производили установкой уравнивающих грузов на балансировочное кольцо ротора электродвигателя.

Таблица 2.

Нулевой пуск

Виброперемещение	Подшипник №1	Подшипник №2
Вертикальное, мк	80	25
Поперечное, мк	95 ⁻⁰	75 ⁻²⁰

Пробный груз $P = 0,052$ кг на угол -190° .

Таблица 3.

Пробный пуск

Виброперемещение	Подшипник №1	Подшипник №2
Вертикальное, мк	90	70
Поперечное, мк	125 ⁻³⁵⁰	85 ⁻¹⁰

Повешен уравнивающий груз $P = 0,093$ кг на угол -220° .

Таблица 4.

Второй пуск

Виброперемещение	Подшипник №1	Подшипник №2
Вертикальное, мк	38	38
Поперечное, мк	80 ⁻⁰	55 ⁻⁴⁰

Повешен корректирующий груз $P = 0,052$ кг на угол -250° .

Таблица 5.

Третий пуск

Виброперемещение	Подшипник №1	Подшипник №2
Вертикальное, мк	30	50
Поперечное, мк	45	40

В результате проведённой балансировки вибрация снизилась до нормируемого уровня, что позволит повысить эффективность работы электродвигателя.

Список использованной литературы

1. Азовцев Ю. А., Баркова Н. А., Гаузе А. А. Вибрационная диагностика роторных машин и оборудования целлюлознобумажных комбинатов: учебное пособие. СПб: СПбГ-ТУРП, 2014. — 127 с: ил. 77.

Стрелецкий Н. Б., Садовская Л. В.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»

Применение системного подхода для повышения надёжности электроэнергетической системы в условиях гололёдно-ветровых ситуаций

г. Новосибирск

Аннотация: В статье описывается реализация системного подхода для повышения надёжности в сетях регионов страны, методика расчёта планирования и моделирования системы.

Ключевые слова: гололёд, трос, энергия, питание, нагрузка, система, ветровые нагрузки, опоры, траверс, системный подход.

Streletsky N. B., Sadovskaya L. V.

*Federal State-Financed Educational Institution of Higher Education
“Siberian State University of Water Transport”*

Application of the system approach to increase the reliability of the electric power system in the conditions of ice-wind situations

Novosibirsk

Abstract: The article describes the implementation of a systematic approach to improve reliability in the networks of the regions of the country, the methodology for calculating the planning and modeling of the system.

Key words: ice, cable, energy, power, load, system, wind loads, supports, traverse, systematic approach.

Во многих регионах Российской Федерации в осенне-зимней период возникают аварии, связанные с обледенением проводов и конструкций воздушных линий электропередачи. Такие климатические явления, как быстрые и большие перепады температуры воздуха, сильные ветры и высокая влажность, создают условия для образования гололёда на проводах и конструкциях воздушных линий электропередачи. Очень часто толщина льда в таких случаях достигает 10 см, соответственно, вес проводов с гололёдными отложениями увеличивается в разы, возникают дополнительные механические нагрузки на все элементы воздушных линий. Все это приводит к крупным авариям, при которых происходят обрывы проводов, тросов, разрушения арматуры, изоляторов и некоторых случаях опор воздушных линий электропередачи [2].

При образовании гололёда на проводах и конструкциях опор возникают следующие явления [1,2]:

- а) происходит сближение проводов и тросов между собой и их разрегулировка;
- в) пляска проводов;
- б) из-за неодновременного сброса гололёда наблюдается сближение проводов и тросов при их подскоке;
- г) обрыв проводов и тросов;

д) разрушение опор;

е) перекрытие линейной изоляции ВЛ при таянии гололёда из-за изменения влагоразрядных характеристик.

В результате происходящих из-за гололёда аварий сетевые энергокомпании и потребители несут крупные финансовые убытки, а восстановление работы электрических сетей занимает значительное время и требует серьезных материальных и финансовых затрат. Порой время ликвидации гололёдных аварий на порядок превышает время ликвидации аварий, связанных с другими причинами. Для решения проблемы образования гололёда во многих странах мира проводятся исследования и разрабатываются различные способы для борьбы со образованием гололёдных отложений на высоковольтных линиях электропередачи (ЛЭП).

Анализ эксплуатации ЛЭП показывает, что гололёдные отложения на проводах и тросах высоковольтных линий происходят при определенных условиях, а именно: температуре воздуха должна составлять около -5°C , а скорость ветра $5\ldots 10$ м/с. Для упрощения, оценку полной массы льда выполняют для случая, когда весь намерзший лед на проводе представляется в виде полого цилиндра с определенной толщиной стенки (рис. 1) [1].

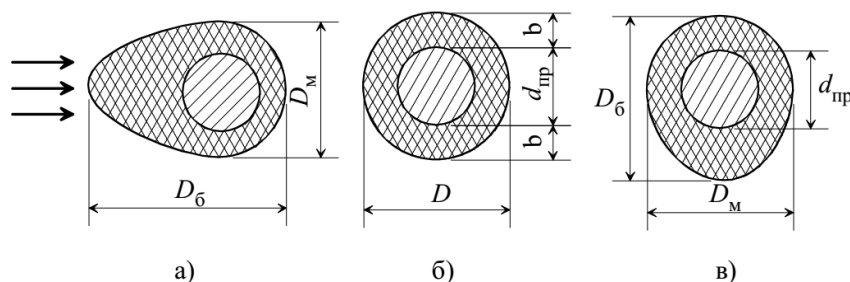


Рис. 1. Формы поперечного сечения гололёдной муфты.

$D_б, D_м$ — большой и малый диаметры гололёдной муфты, b — толщина гололёдной стенки, $d_пр$ — диаметр провода.

При одностороннем отложении льда (рис. 1, а) вероятнее всего возникает пляска проводов. В этом случае соотношение малого и большого диаметров будет $D_м/D_б = 0,3 - 0,7$, и толщина стенки гололёда составит $1 - 3,5$ мм.

Если процесс образования гололёда будет продолжаться, то провод начинает вращаться из-за создаваемого крутящего момента. Такое вращение со временем приводит к тому, что льдом покрывается вся поверхность проводника. Тогда форма сечения гололёдной муфты становится близкой к цилиндрической — рис. 1, б. Диаметр гололёдной муфты рассчитывается по формуле $D = d_пр + 2b$, при этом удельная гололёдная нагрузка, Н/м составляет [1]:

$$P = \rho_r \frac{10^{-3} \text{ кг}}{10^{-6} \text{ м}^2} \cdot 0,785 D^2 - d_{пр}^2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot 9,81 \frac{\text{ м}}{\text{ с}^2} = \rho_r \cdot 0,77 \cdot 10^{-2} D^2 - d_{пр}^2, \quad (1.1)$$

где ρ_r — плотность гололёда, г/см³.

Если имеются несимметричные эллиптические гололёдные образования (рис. 1, в) удельная гололёдная нагрузка составит, Н/м:

$$P = \rho_r \cdot 0,77 \cdot 10^{-2} (D_б D_м - d_{пр}^2). \quad (1.2)$$

Отношение $D_м/D_б$ зависит от особенностей самого процесса образования гололёда, так и от географических и климатических условий района, где проходит высоковольтная линия электропередачи. Так для гололёда отношение составит $D_м/D_б = 0,6$, а для зернистой изморози и смеси $D_м/D_б = 0,75$.

Одной из характеристик процесса образования гололёда служит интенсивность нарастания льда, она определяется скоростью роста по нагрузке на провод V_p и по диаметру отложения V_D :

$$V_p = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}, \quad V_D = \frac{D_2 - D_1}{t_2 - t_1},$$

где t_1 и t_2 — моменты первого и второго измерений.

Другим главным параметром является плотность отложения льда, которую оценивают по виду гололёдного отложения, а на линии электропередачи установлены датчики гололёдной нагрузки — то по геометрическим размерам провода и гололёдной муфты по формулам (1.1) или (1.2).

Также существенно влияют на процесс образования гололёда на проводах технические параметры воздушной линии электропередачи, в частности высота подвеса проводов [4]. Результаты наблюдений и проводимый анализ показывают, что в слое от 2 до 20 метров масса гололёдных отложений увеличивается в три раза.

Кроме того характер гололёда определяет явление закручивания проводов. Закручивание проводов приводит к образованию гололёдной муфты и увеличивает время существования осадка на проводах. На таких проводах муфта может расти несколько дней или даже несколько месяцев и достигать веса 10–20 кг/м и более. Поэтому, влияние закручивания проводов на форму и на массу льда исключительно велико [1].

Поскольку последствия гололёдных аварий практически всегда очень тяжелые и приводят к нарушению электроснабжения крупных территорий, то электросетевыми предприятиями разрабатывается целый комплекс мероприятий по предотвращению образования гололёда на воздушных линиях электропередачи.

В общем случае все причины аварий делят на четыре большие группы: человек, техника, средства их взаимодействия, управление. Чаще всего, к аварийным ситуациям приводят сразу несколько причин (в среднем от 2 до 8).

Любая электроэнергетическая система (ЭЭС) относится к «большим системам», которая характеризуется большим количеством элементов и их связей, иерархичностью построения. Для исследования «больших систем» используется системный подход, когда объект рассматривается как определенное множество элементов, взаимосвязь которых определяет целостные свойства этого множества. Внимание уделяется выявлению многообразия связей и отношений, имеющих место как внутри объекта исследования, так и в его взаимоотношениях с внешней средой. Основные свойства объекта определяются системообразующими связями. В настоящее время предложена методика применения системного подхода к решению сложной многофакторной проблемы обеспечения надежности ЭЭС в условиях гололёдно-ветровых воздействий [1–3].

Ниже приведена диаграмма связей (рис. 2) внешних факторов, системообразующих факторов и критериев надежности и эффективности ЭЭС при гололёдно-ветровых воздействиях.

Согласно предложенной методике к системообразующим факторам относятся [1]:

- K_y — коэффициент, характеризующий соответствие проектных и фактических нормативных районов по гололёду и ветру;
- Π_p — коэффициент, характеризующий качество принятых проектных решений;
- $P_{\text{л}}$ — отношение фактически выполненного объема реконструкции ВЛ к необходимому объему;
- K_p — отношение фактически выполненного объема капитального ремонта ВЛ к необходимому объему;



Рис. 2.а. Диаграмма связей внешних факторов, системообразующих факторов и критериев надежности и эффективности ЭЭС при ГВС

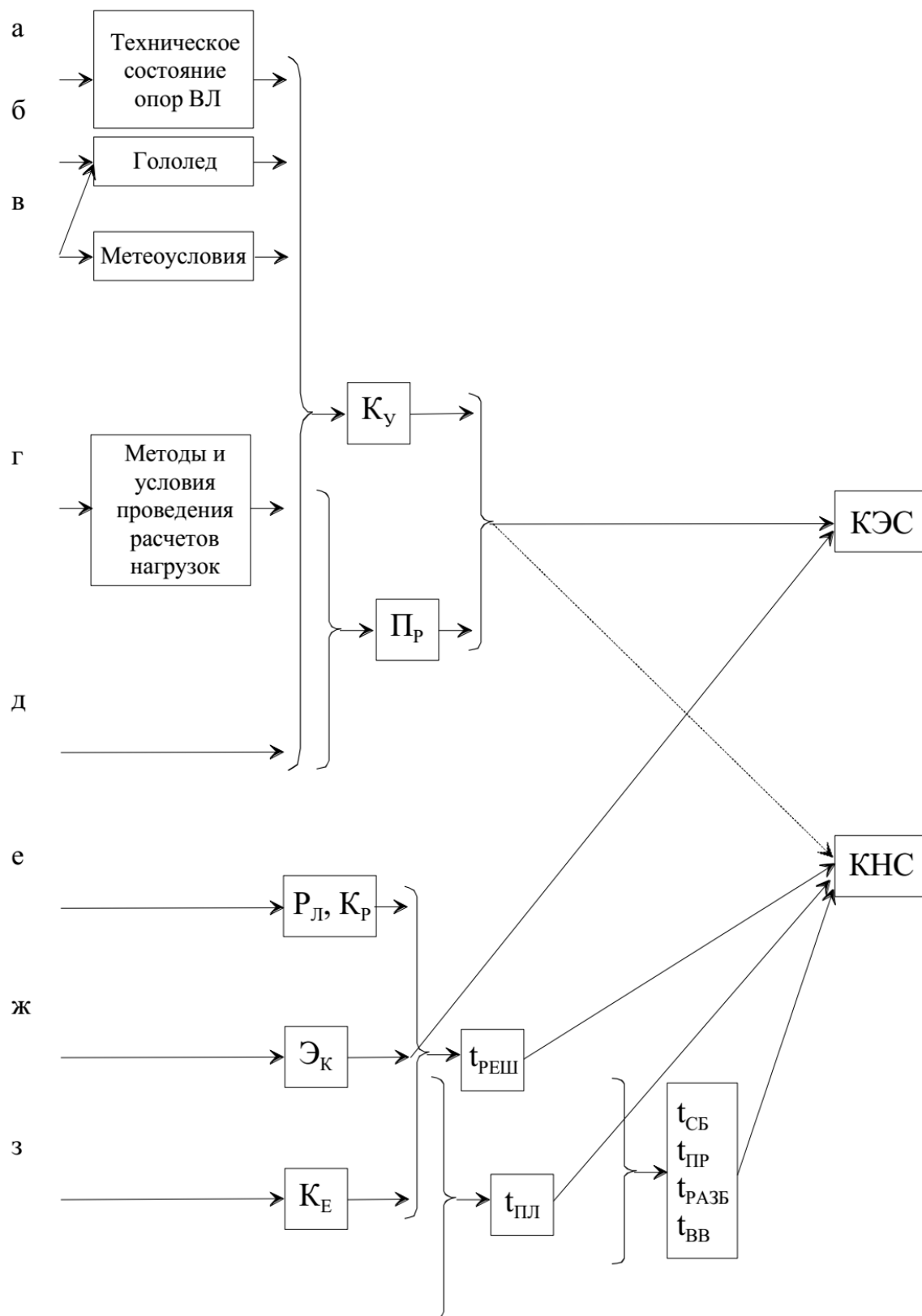


Рис. 2.6. Диаграмма связей внешних факторов, системообразующих факторов и критериев надежности и эффективности ЭЭС при ГВС

- $\mathcal{E}_K$ — коэффициент эффективности эксплуатационного обслуживания оперативно-диспетчерского управления в рассматриваемых электрических сетях;
- K_E — коэффициент эффективности работы персонала.
- K_P — отношение фактически выполненного объема капитального ремонта ВЛ к необходимому объему;
- $\mathcal{E}_K$ — коэффициент эффективности эксплуатационного обслуживания оперативно-диспетчерского управления в рассматриваемых электрических сетях;
- K_E — коэффициент эффективности работы персонала.
- $t_{\text{реш}}$ — время, затраченное на принятие решения и измеряемое с момента обнаружения гололёда до начала сборки схемы плавки гололёда;
- $t_{\text{сб}}$ — продолжительность подготовки схем плавки гололёда;
- $t_{\text{пл}}$ — продолжительность плавки гололёда;
- $t_{\text{кр}}$ — интервал времени между моментами обнаружения гололёда на ВЛ и появлением первых повреждений на ней (критическое время).
- $t_{\text{разб}}, t_{\text{пр}}, t_{\text{в.в}}$ — время разборки схемы плавки, проверки готовности и включения ВЛ после плавки гололёда.

Критерием надежности системы (КНС) в условиях гололёдно-ветровых воздействий является выполнение неравенства:

$$T_{\text{км}} = \frac{t_1 + \sum_{i=2}^N t_i}{K_y P_P P_L K_P \mathcal{E}_K K_E} < t_{\text{кр}},$$

где $T_{\text{км}}$ — «время комплексных мероприятий».

Смысл данного критерия заключается в том, чтобы при возникновении гололёда выбрать такую схему и режим плавки гололёда на каждой из линий и последовательность плавки на них, чтобы с учетом вероятностных значений системообразующих факторов время $T_{\text{км}}$ оказалось меньше $t_{\text{кр}}$ с заданной вероятностью.

Решение этой задачи возможно с использованием современных автоматизированных систем управления плавкой гололёда [1,5]. Предложенный критерий надежности системы отражает характерные особенности системного подхода. Он связывает большинство факторов, которые влияют на «время комплексных мероприятий».

Надежное электроснабжение в условиях гололёда также должно обосновываться технико-экономическими показателями. Это отражено критерием эффективности системы (КЭС) [1]:

$$\sum_1^k \mathcal{Z}_{\text{км}} < \sum_1^n \mathcal{Z}_{\text{пот}},$$

где — сумма приведенных затрат на комплексные мероприятия, направленные на повышение надежности ЭЭС; — сумма затрат, которые определяются различного рода потерями (нарушение электроснабжения, недоотпуск электроэнергии потребителю и внеплановый капитальный ремонт) в случае невыполнения тех или иных мероприятий.

Для повышения надежности и бесперебойной работы энергосистемы с учетом описанных выше критериев разрабатываются программы комплексных мероприятий, которые включают в себя оперативные, технические и организационные мероприятия.

Список использованной литературы

1. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололёдных районах / И. И. Левченко, А. С. Засыпкин, А. А. Аллилуев, Е. И. Сацук. Учеб. пособие — М.: Издательский дом «МЭИ», 2007. — 494 с.
 2. Опыт эксплуатации ЛЭП 330–500 кВ в условиях интенсивных гололёдно-ветровых воздействий. Распределенная система автоматического наблюдения за гололёдом. // Информационно-аналитический журнал ЭнергоINFO. URL: www.energo-info.ru/images/pdf/mes4/15.pdf.
 3. Банников Ю. И., Николаев Н. Я. Влияние напряжения ВЛ электропередачи на процесс гололёдообразования // Тр. ЧИМЭСХ — Челябинск, ВЫП. 123. 1977, с. 101–104.
 4. Будзко И. А. и др. Исследование нагрузок и стрел провеса при гололёдообразования в сельских электрических сетях // Докл. ВАСХНИЛ, 1974, N 2.
 5. Бургсдорф В. В. Плавка гололёда в энергетических системах как средство эффективного повышения надежности электрических сетей. М.: МИИСП, вып. 3, т. 1.
-

Болтабаев Р. А.

Сургутский государственный университет, г.Сургут

Влияние ветровых и гололедных нагрузок на линии электропередач среднего напряжения и мероприятия по повышению их надежности

г.Сургут

Аннотация. Для российских регионов в силу климатических условий чрезвычайно важной является проблема обледенения проводов на линиях электропередачи среднего напряжения. Обледенение может привести к отключению подачи электроэнергии и аварийным ситуациям с поломкой оборудования. Для борьбы с обледенением существует четыре группы методов — активные ледянофобные покрытия, механические методы, основанные на разрушении льда, пассивные методы, основанные на естественных силах или физической геометрии, термические методы таяния льда

Ключевые слова: линии электропередачи среднего напряжения, проводники, погодные условия, обледенение, антиобледенительные методы

Boltabaev R. A.

Surgut State University

Influence of wind and ice loads on medium voltage power lines and measures to improve their reliability

Surgut

Abstract. For Russian regions, due to climatic conditions, the problem of icing of wires on medium-voltage power lines is extremely important. Icing can lead to power outages and equipment failures. To combat icing, there are four groups of methods — active ice-phobic coatings, mechanical methods based on ice destruction, passive methods based on natural forces or physical geometry, and thermal methods of ice melting

Keywords: medium-voltage power lines, conductors, weather conditions, icing, de-icing methods

В тех частях мира, где происходит явление обледенения, экстремально низкие температуры и сильное обледенение оказывают неблагоприятное воздействие на инфраструктуру, влияя на ее эксплуатационные характеристики с точки зрения деградации материалов, неисправностей, поломок, жесткости, растрескивания и низкой производительности и т. д. Так как Россия характеризуется суровым климатом, исследование этого негативного явления и методов борьбы с ним в нашей стране особенно актуально.

Электросеть сталкивается с рядом проблем в условиях гололеда. Поскольку линии электропередачи среднего напряжения могут быть протяженными на большие расстояния от генерирующих станций до распределительных сетей, такая сеть проходит через разнообразный рельеф — обширные поля, горы, речные переправы и т. д.

Во время обледенения масса льда создает дополнительную нагрузку на сеть, а также увеличивает вероятность отключения электроэнергии из-за нарастания льда на проводниках. Практика показывает, что ветровые и гололедные нагрузки приносят большие потери электро-

сетям, и восстановительные работы заняли от нескольких дней до нескольких недель, чтобы возобновить электроснабжение. Во время обледенения происходит нарастание льда на проводниках, изоляторах и башнях, что может привести к обрыву линии, обрушению конструкции и дополнительной нагрузке на проводники.

Как только возникает неисправность, требуется много времени для нормализации сети, так как ремонтные работы требуют точного определения неисправности с последующей мобилизацией рабочей силы, логистики, материалов, а также проверки на неблагоприятные погодные условия и т. д. В этой связи возможны потери электроэнергии в холодных регионах во время ледяных бурь и финансовые потери, возникающие при отключении электроэнергии [4]. Поэтому необходимы превентивные меры, которые могут быть приняты для повышения надежности и надежности передачи электроэнергии.

В последнее время были достигнуты значительные успехи в области обнаружения ледовой нагрузки, улучшения конструкции, противообледенительных методов, что позволяет обеспечить непрерывное и надежное электроснабжение даже в суровых условиях.

Есть ряд новых методов обнаружения льда, которые дают хорошие результаты в различных холодных условиях. Температура воздуха и направление ветра играют важную роль в образовании льда.

В большинстве районов мира, где происходит обледенение линий электропередачи, обледенение может привести к целому ряду проблем, например, «галоупированию» проводов, короткому замыканию и обрушению башен из-за дополнительного веса, добавляемого льдом. Передающие башни рассчитаны на то, чтобы выдерживать вибрацию проводов, но если линия электропередачи касается или приближается достаточно близко к заземленной части, такой как стальная башня, то это может привести к короткому замыканию, срабатыванию защитных реле и разрыву цепи по сигналу неисправности [1].

Когда замерзающий дождь прилипает к опоре передачи и проводникам, это может привести к образованию льда. Сильный ветер, дующий через проводники, обвешанные льдом, может вызвать скачущее движение линий электропередач, и чем сильнее ветер становится, тем больше будет галоп. Отмечается, что при шести миллиметрах льда при постоянном ветре 30 км / ч дующий перпендикулярно линии электропередачи является идеальным условием для создания галопа.

В распределительной сети среднего напряжения обледенение также влияет на электроснабжение. Поскольку в сети передачи более низкого напряжения в основном используются деревянные столбы с изоляторами, удерживающими проводники, и со временем дефекты, образующиеся в проводниках, могут привести к аварийной ситуации, например, возгоранию. Некоторые другие факторы, включая грязь и пыль, покрывающие изоляторы, влагу в воздухе, густой туман, дождь и мокрый снег, могут вызвать короткое замыкание.

Другая опасность, вызванная обледенением линий электропередачи, — это накопление снега на башнях и изоляторах. Изоляторы определяются их нагрузочной способностью и должны выдерживать определенные электрические напряжения и более низкую вероятность внезапных отказов. Они также должны выдерживать кратковременные скачки напряжения, которые могут возникать при переключении или освещении [3].

Практически обледенение на линиях электропередач может влиять на сеть двумя способами. Во-первых, скопления льда на изоляторах снижают показатели их эффективности. Во-вторых, обледенение уменьшает воздушный зазор. Например, тяжелые обледенелые проводники и заземляющие провода уменьшают воздушный зазор между ними. Когда лед начинает таять на проводнике, это может привести к короткому замыканию и вспышкам. Обледенение может сломать проводник и опрокинуть башни [2].

В лесах большая нагрузка снега под ветром может привести к «ветровому броску» или обрыву провода, что является одним из самых вредных явлений.

Крупные катастрофы на ЛЭП происходили в холодных регионах мира. ЧП, связанные с обледенением, происходили как в нашей стране, так и во многих частях мира, таких как Северная Америка, Европа, Азия и Южная Африка.

Отказ электрооборудования сети может быть охарактеризован как несчастный случай или инцидент [1]. Несчастный случай — это событие, в котором есть повреждение оборудования, выгорание и отключение электроэнергии в течение длительного времени. Инцидент — это событие, в котором нет повреждения оборудования, но имеет место отключение электроэнергии на короткое время.

Так, в период с 1997 по 2019 год на отечественных подстанциях произошло почти 12500 аварий с отказом оборудования. Основная доля отказов произошла с выключателями (46,2%). Трансформаторы имели относительно незначительную долю отказов (12,9%). Обледенение накопление оказало очень меньшее воздействие и не оказало большого влияния на статистику ущерба для оборудования главной подстанции. Из всех рассмотренных случаев повреждений не более 2–3% произошло из-за обледенения [3].

Рассмотрим далее основные виды обледенения [1].

Обледенение на линиях электропередачи может наблюдаться при температуре от -3° до $+2^{\circ}$ C со скоростью ветра от 8 до 18 км в час.

Низкие температуры делают проводники холодными, и если температура выше земли увеличивается, затем ледяные осадки уменьшаются за счет теплого воздуха и дождя, а влага замерзает только на контакте с холодным проводником. Когда воздух над проводником становится слишком холодным, то осадки замерзают в воздухе и не прилипают к проводнику.

Атмосферное обледенение — это общий термин, используемый для замораживания водного вещества, и оно имеет три основных вида [4]:

- (I) обледенение осадков
- (II) замерзание льда в облаке
- (III) сублимационный лед.

Первые два типа могут привести к серьезным повреждениям на линии электропередачи. Существует несколько факторов, влияющих на обледенение, например, скорость ветра, температура, микроклимат, микрорельеф местности, а также содержание в воздухе сверхохлажденной воды.

Обледенение осадков может привести к образованию глазури из мокрого или сухого снега. Еще одним фактором является изменение в температурах, которая влияет на изменение льда. Это можно наблюдать в любом месте, где осадки могут сочетаться с температурой замерзания. Происходит накопление мокрого снега, при этом снегопад и считается самым экстремальным, особенно в странах, где высокий уровень осадков вблизи точек замерзания. Снежный покров образуется путем замерзающего дождя (сверхохлажденной воды), падающей на поверхность проводника, температура которого близка к 0° C. Эта сверхохлажденная вода имеет общее с размером и формой обычной капли воды. Чем ниже градус температуры, тем больше будет капель. Мокрый снег главным образом сформирован очень близко к интервалу температуры воздуха 0° C. Снежинки падают с неба через воздух с температурой, достигающей точки замерзания, в конечном итоге они столкнутся с температурой выше точки замерзания. Так как температура для мокрого снега составляет от $+0,5$ до $+2^{\circ}$ C, то, когда снежинки встречаются с объектом с температурой выше температуры замерзания, они тают, и когда в снежинках появляется вода, они становятся липкими к другим снежинкам и прочим объектам [2].

Сухой снег образуется при низкой скорости ветра около 2 м/с. Это, иногда, приводит к тому, что начинается сильный снегопад, но его плотность никогда не пересекает предел в 100 кг/м² что означает, что его массовая нагрузка ниже, чем несущая способность линий электропередач. Как только он попадет на поверхность проводника, он останется там. Так как уровень высвобождения скрытого тепла низок при низких температурах замерзания, формируется пленка воды на поверхности проводника, и при замерзании получается ледяная корка — глазурь. Это считается самым сильным вредным фактором для воздушных линий в силу ее высокой плотности и сильной адгезионной способности [3].

Также обледенение происходит в облаках, имеющих сверхохлажденные капли. В основном это происходит на больших высотах, в горах. Интенсивность и продолжительность процесса зависят от количества жидкой воды в облаках, температуры, скорости ветра, глубины облака и расстояния от него до земли. Иней — это явление, при котором пар воды превращается в твердое вещество. Такое случается во время холодных зимних ночей, и он воздействует на линии электропередач в виде коронного разряда, то есть энергии потери в виде шума и искр. Обледенение в облаке — это в основном лед, замороженный суперохлаждением облака или тумана в атмосфере, когда он соприкасается с линиями электропередачи. Такие типы обледенения происходят без дождя или снега и в основном зависят от скорости и влажности воздуха. Небольшие по размеру капельки воды могут быстро высвобождать скрытое тепло при замерзании, но для них невозможно сделать слой воды на поверхности проводника, и такой процесс приводит к образованию инея [3].

Сублимационная глазурь легко сбрасывается из-за ее слабой адгезии. Эта глазурь образуется, когда пар в атмосфере замерзает, и ее еще называют кристаллическим инеем. Она не представляет большой опасности для проводника [3].

Таким образом, существует целый ряд факторов, влияющих на модель обледенения — содержание воды в воздухе, направление и скорость ветра, а также температура. Когда проводник испытывает постоянное воздействие ветра, дующего в одну сторону его поверхности, это может привести к неблагоприятному влиянию на теплопередачу.

Также при обледенении могут формироваться различные виды кристаллов льда в зависимости от температуры. Эксперты считают игольчатые кристаллы наиболее проблематичными. Они могут быть сформированы примерно в -3 градуса. Они имеют форму цилиндра длиной до 1,1 мм. рис. 1 показывает различные виды структуры льда при различной температуре [2].

Чтобы справиться с неблагоприятными погодными условиями и последствиями объединения, необходимо разработать новые способы проведения технического обслуживания. Первым шагом к преодолению трудностей является внесение изменений в конструкцию, которая выдерживает экстремальные погодные условия и низкие температуры.

Антиобледенение может быть достигнуто либо плавлением льда (термический эффект), либо механическими методами, которые также могут быть приняты во время сильного снегопада и низкой температуры. Этот метод требует предотвращения больших ледовых нагрузок, которые препятствуют сцеплению линии электропередачи со льдом. Это может быть достигнуто с помощью антиадгезионного химического вещества, которое может растопить лед, и эти химические вещества оказывают прямое воздействие на линии электропередачи [4].

В целом антиобледенение может быть достигнуто четырьмя способами [1]:

1. Активные ледянофобные покрытия;
2. Механические методы, основанные на разрушении льда.
3. Пассивные методы, основанные на естественных силах или физической геометрии.
4. Термические методы таяния льда.

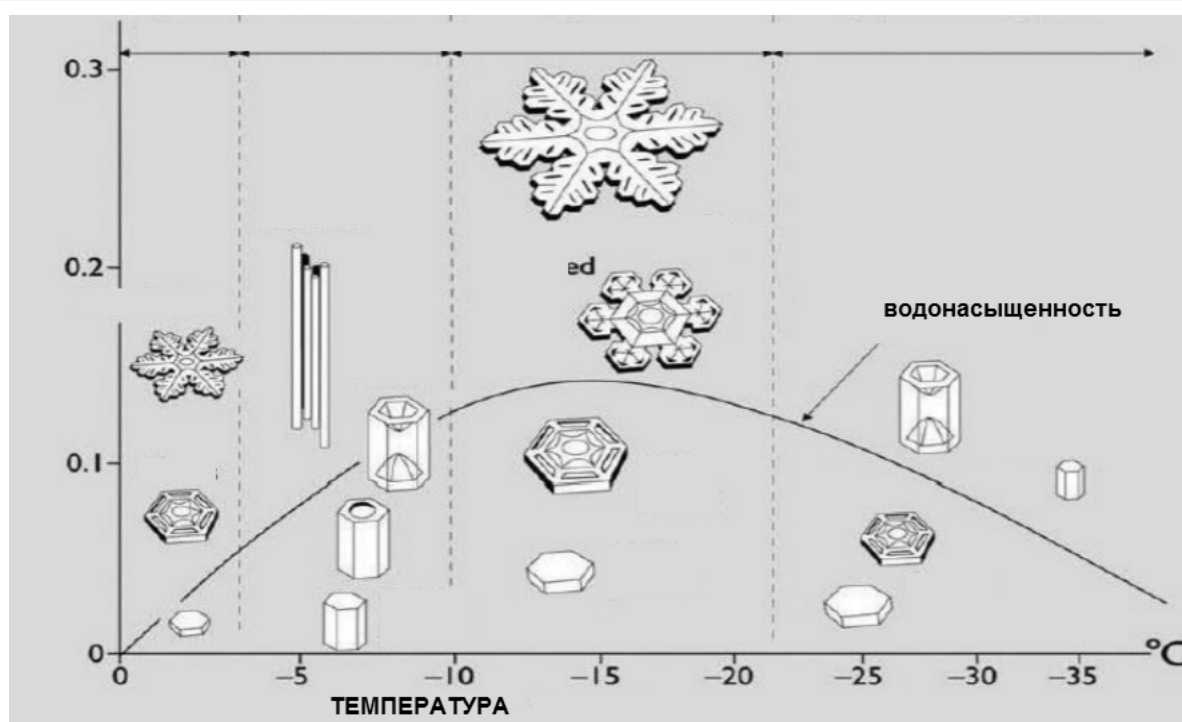


Рис. 1. Структура льда при различной температуре

В методе активных ледянофобных покрытий проводник имеет дополнительное диэлектрическое покрытие из сегнетоэлектрического материала, которое поддерживает температуру проводника выше точки замерзания. Однако эти покрытия могут быть нанесены только на этапе производства и не могут работать на уже существующей сети. Кроме того, такие покрытия имеют короткий срок службы 5 лет и требуют высокой частоты переменного тока 60 кГц. Поскольку стандартная используемая частота составляет 50 или 60 Гц в рабочем напряжении, а более высокая частота может непосредственно повлиять на срок службы проводника, такой метод может привести к потерям линии.

Способы механической антиобледенительной обработки можно подразделить на несколько методов, принятых в разных регионах:

- Методы выскабливания.
- Методы ударной волны.
- Вибрирующие устройства.

Они работают на простом базовом принципе, который заключается в применении механической силы либо человеком, либо прибором, который сбрасывает лед с линий электропередачи, и если сравнить с термическим методом, то на него требуется в 100 000 раз меньше энергии. Главным преимуществом этого метода является его относительная простота в использовании.

Деятельность с механическими методами является быстрой и технически несложной. Но если линии проходят через сложный рельеф, холмы и реки, тогда быть невозможно выполнить антиобледенение такими методами.

Существует ряд автоматических линейно-вибрационных устройств. В настоящее время наиболее практичны вибрационные или ударные воздействия. Волновой метод заключается в перемещении линии передачи с помощью веревки с узлом весом 90 кг для удаления наросов мокрого снега. Обычно считается, что 50% мокрого снега на 500-метровой линии может быть удалено в течение получаса. Для сброса льда также используется устройство под названием

«ледоход». Прибор подвешивается на проводник, движется по нему и вибрирует, что приводит к осыпанию льда. Скорость двигателя можно регулировать в соответствии с накоплением льда. Внешний вид устройства показан на рис. 2. [4].

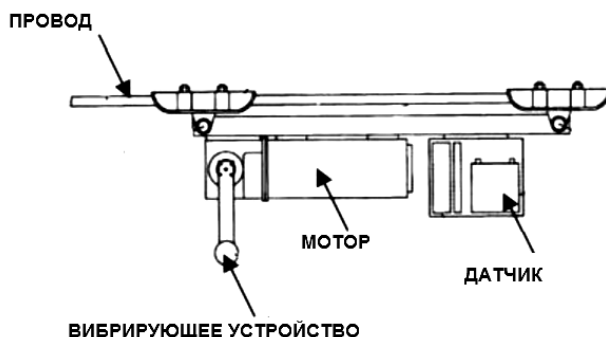


Рис. 2. Антиобледенительное механическое устройство

В пассивном методе рассчитывают на естественные силы, чтобы сбросить лед на линии электропередачи, например, ветер, солнце и гравитационная сила. Такие методы полезны для уменьшения аккреции льда. Этот метод может быть использован, когда нужно предотвратить образование мокрого снежного льда на проводниках. Существует несколько способов достичь этого. Можно ослабить адгезионные образования льда и остановить замерзание сильно охлажденных капель воды во время обледенения, используя либо естественную силу, такую как ветер и гравитация, либо используя комбинацию того и другого для ограничения воздействия. Но адгезия льда к поверхности имеет прямую зависимость от внешней температуры или внешней поверхностной энергии, а более низкая поверхностная энергия может отделить лед от поверхности (проводника), а затем гравитационная сила воздействует на лед. Для ослабления сцепления льда на проводах линий электропередачи используются промышленные вязкие жидкости, такие как смазки, промышленные масла и другие смазочные материалы.

Термический способ включает в себя нагрев линии электропередачи, который плавит скопления льда и обеспечивает его разрушение [3].

Термический способ широко применяется для противогололедных операций и считается наиболее надежным методом.

Продолжительность антиобледенительного эффекта может быть проанализирована в зависимости от температуры воздуха, толщины льда, скорости ветра и толщина кабеля. Однако метод переменного тока является самым дешевым, так как он требует только постройки ледоплавильных шин с контуром в подстанции, в силу чего и происходит таяние льда.

Термический способ антиобледенения можно разделить на две части [3]:

1. Методы, основанные на чистом «джоуль-эффекте».
2. Методы, основанные на диэлектрических потерях, радиоактивных волнах и внешних источниках тепла

Таким образом, для борьбы с обледенением проводов линий электропередачи существует четыре группы методов — активные ледянофобные покрытия, механические методы, основанные на разрушении льда, пассивные методы, основанные на естественных силах или физической геометрии, термические методы таяния льда. Наиболее эффективными и надежными считаются термические методы борьбы с обледенением.

Список использованной литературы

1. Дьяков В. В. Ликвидация гололедных аварий в электрических сетях. Пятигорск: Изд-во РП «Южэнерготехнадзор», 2000. 284 с.
 2. Емельянов И. Е. Способы борьбы с обледенением ЛЭП: перспективы и преимущества новых супергидрофобных покрытий. [Электронный ресурс] URL: //Журнал ЭЛЕКТРО № 6/2011. <http://www.ess.ru/>.
 3. Минуллин Р. Г., Абдуллазянов Э. Ю., Касимов В. А., Яруллин М. Р. Современные методы обнаружения гололедных отложений на проводах линий электропередачи. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-metody-obnaruzheniya-gololeda-na-provodaх-vozdushnyh-linij-elektroperedachi-chast-1-metody-prognozirovaniya-i>
 4. Никитина И. Э., Абдрахманов Н. Х., Никитина С. А. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015. № 3. С. 794–823
-

Карпова В. С., Мятаж Т. В.

Новосибирский Государственный Технический Университет

Проектирование гибридной схемы электроснабжения с использованием «умного» накопителя

г. Новосибирск

Аннотация. Статья посвящена проектированию гибридной схемы электроснабжения на базе возобновляемых и традиционных источников электроэнергии. Описан принцип выбора оборудования, приведена структурная схема такой электростанции. Алгоритм работы такой станции должен корректироваться по данным ежемесячного мониторинга показателей скорости ветра и солнечной инсоляции.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, ветроэнергетика, автономная электростанция.

Karpova V. S., Myatezh T. V.

Novosibirsk State Technical University

Designing a hybrid electricity supply circuit using a smart storage

Novosibirsk

Abstract. The article is devoted to the design of a hybrid power supply based on renewable and traditional sources of electricity. The choice of equipment is described, a structural diagram of such a power plant is given. The operation algorithm of such a station should be adjusted according to monthly monitoring of wind speed and solar insolation.

Key words: renewable energy sources, solar energy, wind energy, autonomous power station.

1. Введение

В настоящее время энергосбережение — одна из приоритетных задач. Это связано с дефицитом основных энергоресурсов, возрастающей стоимостью их добычи, а также с глобальными экологическими проблемами. Доля возобновляемых источников энергии в российском энергетическом балансе будет расти. Правительство РФ в 2009 году утвердило план, согласно которому к 2020 году объем электроэнергии, вырабатываемой на основе возобновляемых источников должен вырасти с менее чем с 1% до 4,5%.

Экономия энергии — это эффективное использование энергоресурсов за счет применения инновационных решений, которые осуществимы технически, обоснованы экономически, приемлемы с экологической и социальной точек зрения, не изменяют привычного образа жизни. Это определение было сформулировано на Международной энергетической конференции (МИРЭК) ООН. [1, с. 22].

Целью работы является проектирование гибридной электростанции, выбор основного оборудования солнечной и ветроэлектростанции, составление алгоритма совместной работы источников энергии.

2. Актуальность

Энергосбережение в любой сфере сводится по существу к снижению бесполезных потерь энергии. Анализ потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что большая часть потерь — до 90% — приходится на сферу энергопотребления, тогда как потери при передаче электроэнергии составляют лишь 9–10%. Поэтому основные усилия по энергосбережению сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии.

Основная роль в увеличении эффективности использования энергии принадлежит современным энергосберегающим технологиям. Энергосберегающая технология — новый или усовершенствованный технологический процесс, характеризующийся более высоким коэффициентом полезного использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Внедрение энергосберегающих технологий в хозяйственную деятельность как предприятий, так и частных лиц на бытовом уровне, является одним из важных шагов в решении многих экологических проблем — изменения климата, загрязнения атмосферы (например, выбросами от ТЭЦ), истощения ископаемых ресурсов и др. Bloomberg New Energy Finance прогнозирует увеличение доли возобновляемых источников энергии в общей мировой генерации до 50% уже в 2050 году. Ключевым фактором увеличения мощностей альтернативной генерации является стремительное уменьшение стоимости производства энергии из нетрадиционных источников, а также непрерывное развитие батарей, позволяющих сохранять избыточную «зеленую» электроэнергию. [2]

Таким образом внедрение альтернативных источников энергии поможет существенно улучшить экологическую обстановку и дадут значительный энергосберегающий эффект.

Однако привычные человечеству традиционные источники энергии, как уголь и атомная генерация все же продолжают функционировать. К 2050 году доля угольной генерации упадет с 37% до 12% в мировом балансе, когда атомная генерация будет занимать 21%. Согласно прогнозу, инвесторы в течение следующих 30 лет вложат в развитие индустрии ВИЭ около 13 триллиона долларов, а масштаб роста спроса на электроэнергию за тот же промежуток времени составит 62%. Одной из наиболее весомых причин, побуждающих к инвестициям в ВИЭ, кроме технологичности сектора и себестоимости производства, является стремление людей к уменьшению выбросов в атмосферу и сдерживанию роста температуры согласно тезисов Парижского соглашения.

Общемировой объем инвестиций в возобновляемые источники энергии в 2018 году составил \$ 332.1 млрд, что на 8% меньше, чем в прошлом году. Глобальные инвестиции в чистые источники энергии пять лет подряд держат отметку выше \$300 млрд в год. Объемы инвестиций непосредственно в странах Европы в сектор ВИЭ увеличился на 27%. Китай в 2018 году уменьшил объем финансирования новых объектов до \$100 млрд.

Правительство РФ утвердило Энергетическую стратегию на период до 2020 г. в которой в общем виде закреплена необходимость использования возобновляемых источников энергии для решения проблем обеспечения энергоснабжения населения и снижения вредных выбросов от энергетических установок в городах со сложной экологической обстановкой. [3]

3. Обоснование выбора гибридной схемы электроснабжения.

Оптимальным вариантом гибридной системы является система, содержащая несколько источников энергии, как правило два источника являются возобновляемыми (ветровая и солнечная электростанции), а один традиционным (дизельная или газопоршневая электростанция). С помощью гибридной схемы выработка всей необходимой энергии легко оптимизируется в зависимости от потребностей потребителя.

Гибридная система днем накапливает полученную от источников энергию в батареях, а в ночное время использует ее для электроснабжения объекта. Когда уровень потребления энергии значительно увеличивается, то инвертор в генераторе запускает специальную установку, которая занимается передачей электричества и на нужды потребителя, и на аккумулятор. Формируется алгоритм, который можно подстроить под нужды потребителя.

В общем случае гибридная ветро-солнечная электростанция состоит из следующих компонентов: ветроэлектрической установки, включающей ветротурбину, мачту, блок контроля и управления зарядом аккумуляторной батареи, балластную нагрузку; фотоэлектрических модулей; контроллера заряда для солнечных батарей; инвертора; аккумуляторных батарей; соединительных кабелей и другого электромонтажного оборудования. [4]

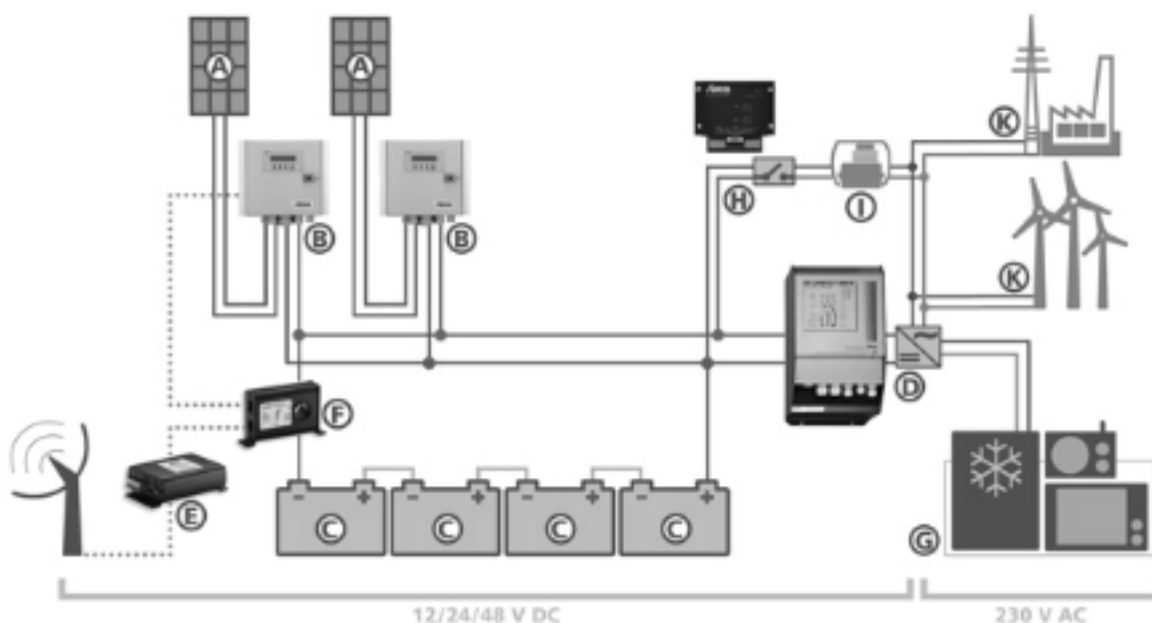


Рис. 1. Общий вид гибридной ветро-солнечной электростанции

Автономное электроснабжение — это независимое электропитание объекта, когда электроэнергия не подается от централизованной сети, а вырабатывается исключительно внутренними источниками. АСЭ широко применяют в промышленной индустрии, строительстве, сельском и коммунальном хозяйствах. Они работают на предприятиях, в аэропортах, морских и речных портах, в энергоблоках больниц, в фермерских хозяйствах, в системах аварийного энергоснабжения, на объектах оборонного комплекса — везде, где необходимо электричество, а сеть либо отдалена, либо работает с перебоями. Электроэнергия, которая необходима для питания таких объектов, должна вырабатываться бесконечно и при любых условиях, это ключ нормальной жизнедеятельности. Источник энергии должен быть предпочтительно возобновляемым и безвредным. Наиболее распространенными и доступными сегодня системами, которыми решается автономная электрификация, можно назвать следующие виды оборудования: — дизельные электростанции;

- солнечные электростанции;
- ветроэнергетические установки;
- портативные гидроэлектростанции. [5, с. 14]

4. Методика выбора основного оборудования.

В процессе выбора оборудования для солнечной электростанции важно учитывать два показателя. Один из них — максимальная мощность нагрузки, второй — номинальная мощность фотоэлектрической панели. Так же при выборе устройств необходимо установить, какое именно низковольтное напряжение ляжет в работу системы. Выбор выходного напряжения не вызовет ни у кого вопросов, ведь в данном случае существует единый стандарт. С низковольтным показателем ситуация более сложная. Входное напряжение инвертора равно номинальному напряжению аккумуляторов и солнечной батареи не имеет постоянного значения. Модули бывают 12-вольтовыми; 6-вольтовыми; 2-вольтовыми. Что касается номинального напряжения выходного напряжения панелей, мощность которых составляет более 50 Вт, то оно или превышает 12 В, или равно 24 В. Для увеличения этого показателя нужно соединить батареи последовательно.

Поскольку речь идет об автономной системе электроснабжения, то подойдет инвертор, способный выдерживать напряжение 24 В. Главное требование, выставляемое к данному типу устройств, — обеспечение необходимой мощности на выходе.

Говоря об аккумуляторном блоке автономной системы, следует подчеркнуть, что его работа напрямую зависит от трех основных параметров: емкости, тока разряда и заряда. Предпочтение лучше отдать свинцово-кислотным аккумуляторам высокой мощности. Именно они в настоящее время считаются наиболее надежными, эффективными и, что очень важно, доступными. При выборе солнечных панелей необходимо принять во внимание следующие параметры: номинальное напряжение, геометрию, разновидность фотоэлементов. Еще одним важным элементом является контроллер заряда. Он обеспечивает нормирование напряжения, которое вырабатывается фотоэлементами, по отношению к напряжению, требующемуся для накопления энергии аккумуляторным блоком с учетом его состояния. В случаях, когда аккумулятор полностью зарядился, контроллер снизит напряжение во избежание перезарядки. Присоединяя фотоэлектрическую панель к контроллеру, необходимо следить за тем, чтобы общий ток батарей был не более 75–85: от тока контроллера к номиналу. [6]

Для выбора оборудования ветроэнергетической установки необходимо оценить ветровые ресурсы территории, на которой она находится. Рассчитать среднюю скорость ветра за определенный период, повторяемость различных градаций скорости ветра. Зная скорость ветра, номинальную мощность, тип генератора, номинальную скорость ветра можно выбрать модель ВЭУ. В состав ветроэнергетической установки входят так же аккумулятор, инвертор, коммутационное оборудование, кабель и прочие устройства.

В результате было выбрано следующее оборудование: монокристаллический солнечный модуль 200M TPS105S; контроллер заряда ECO Энергия MPPT Pro 200/100; инвертор МАП SIN Dominator; ветроэнергетическая установка Nordtank NTK 300/31, аккумулятор LiFePO4 300 А*ч.

5. Алгоритм работы гибридной схемы электроснабжения

Для составления алгоритма работы гибридной схемы электроснабжения был составлен баланс мощности для зимних и летних суток. Было рассмотрено три варианта: в работе только ДЭС; в работе ВЭУ и ДЭС; в работе ФЭП и ДЭС; в работе ФЭП, ВЭУ, ДЭС. Для баланса мощности летнего дня рассмотрены такие варианты как: в работе ДЭС; в работе ФЭП и ДЭС, так как в летний день скорость ветра недостаточная для запуска работы ВЭУ.

По результатам расчетов были сделаны следующие выводы:

Для баланса мощности зимнего дня:

В режиме работы одной лишь ДЭС расход топлива составляет 76,8 л за 18 рабочих часов. В режиме работы ВЭУ и ДЭС расход топлива составляет 56,4 л, что на 20,4 меньше, чем при работе одной ДЭС. Режим работы ФЭП и ДЭС оказывается самым экономически не эффективным. Расход топлива составляет 88,8 л.

Самым экономически эффективным является режим работы ФЭП, ВЭУ и ДЭС, тогда расход топлива составляет 55,3 л.

Для баланса мощности летнего дня:

В режиме работы одной лишь ДЭС расход топлива составляет 76,8 л за 18 рабочих часов. В режиме работы ФЭП и ДЭС расход топлива составил 75,3 л.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что самым эффективным является вариант работы сразу трех источников ФЭП, ВЭУ и ДЭС.

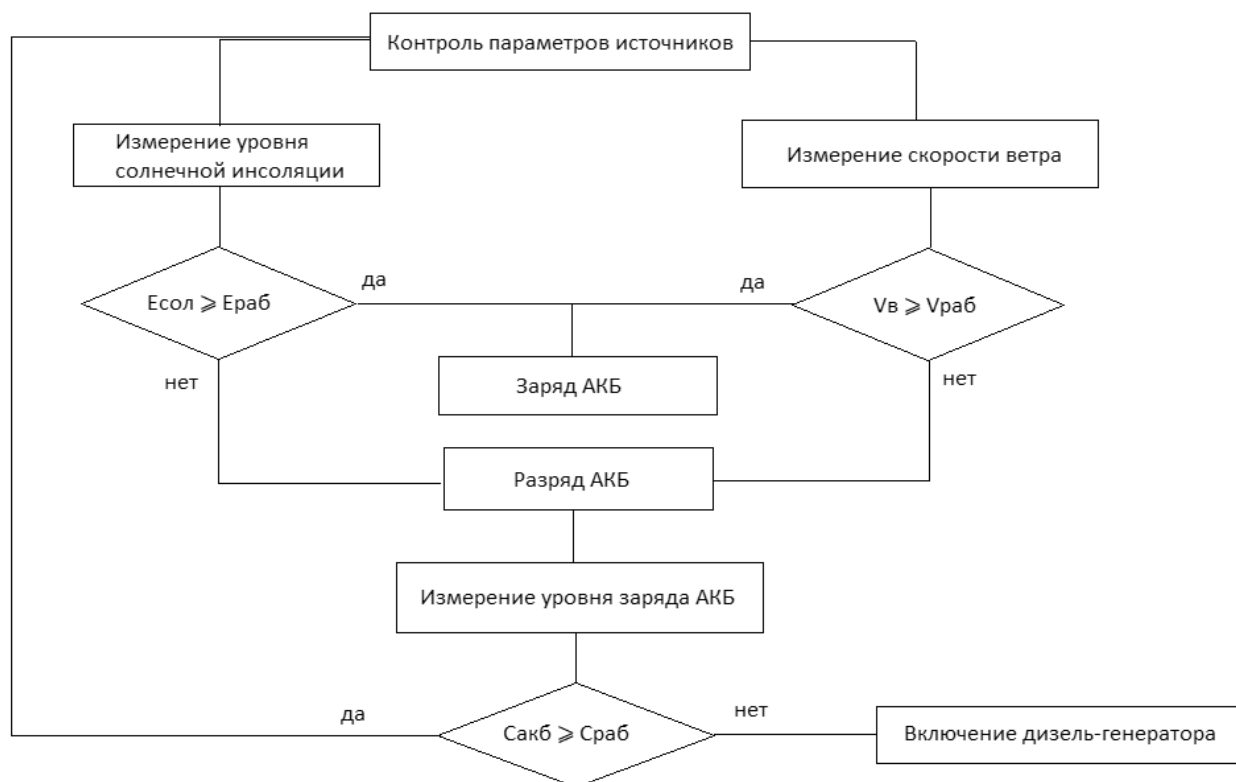


Рис. 2. Алгоритм работы гибридной схемы электроснабжения

6. Выводы

В результате проведенной работы был разработан алгоритм работы автономной схемы электроснабжения, было выбрано оборудование солнечной и ветряной электростанций. Алгоритм может быть полезен для различных категорий потребителей, которые планируют применять рассмотренную систему электроснабжения.

Список использованной литературы

1. Афонин В. С. Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии // Энергосервисосбережение и энергоэффективность : сетевой

журн. (электр. журн.). 2012. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemnye-svoystva-gibridnyh-energokompleksov-na-osnove-vozobnovlyemyh-istochnikov-energii/viewer>

2. РИА Наука : сетевой журн. (электр. журн.). 2012. URL: <https://ria.ru/20081205/156573930.html>

3. Kosatka.Media// Возобновляемая энергия// Место ВИЭ в мировой генерации 2050 года : сетевой журн. (электр. журн.). 2019. URL: <https://kosatka.media/category/vozobnovlyaemaya-energia/analytics/mesto-vie-v-mirovoy-generacii-2050-goda>

4. Принцип работы и преимущества гибридной системы электроснабжения//: сетевой журн. (электр. журн.). URL: <https://remtechnikspb.ru/informatsiya/printsip-raboty-i-preimushhestva-gibrid/>

5. Шишлянникова С. А. Применение накопителей энергии для повышения эффективности автономных систем электроснабжения // Автореферат. 2017. URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/38380/1/TPU332745.pdf> С. 14.

6. Ветро-солнечная электростанция (электр. журн.). URL: <https://www.solarhome.ru/basics/autonom/windsolar.htm>

Кислицин Е. Ю., Доценко Д. А., Чирятьев К. В.

БУ ВО «Сургутский государственный университет»

Электробезопасность заземляющих устройств в нефтегазовой отрасли

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассмотрено обеспечение условий электробезопасности в электроустановках, расположенных в северных регионах Российской Федерации. Предложен состав для защиты от техногенных излучений, позволяющий улучшить электромагнитную обстановку при реконструкции подстанции и внедрении цифровой техники. Разработано заземляющее устройство подстанции с помощью электропроводящего покрытия, которое позволяет снизить напряжение прикосновения на три порядка, не зависящее от сопротивления грунта и существенно влияет на сопротивление растеканию.

Ключевые слова: Заземляющее устройство, электропроводящее покрытие, сопротивление растеканию, напряжение прикосновения, вечномерзлые грунты.

Kislicin E. Y., Docenko D. A., Chiratev K. V.

Surgut State University

Electrical safety of grounding devices in the oil and gas industry

Surgut

Abstract. This article discusses the provision of electrical safety conditions in electrical installations located in the Northern regions of the Russian Federation. The composition for protection from man-made radiation is proposed, which allows to improve the electromagnetic environment during the reconstruction of the substation and the introduction of digital technology. A substation grounding device has been developed using an electrically conductive coating that reduces the contact voltage by three orders of magnitude, which does not depend on the ground resistance and significantly affects the spreading resistance.

Keywords: Grounding device, conductive coating, spreading resistance, contact voltage, permafrost soils.

Характеристики заземляющего устройства (ЗУ) должны отвечать требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала обеспечивать в нормальных и аварийных условиях следующие эксплуатационные функции электроустановки:

- действие релейных защит от замыкания на землю;
- действие защит от перенапряжений;
- отвод в грунт токов молнии;
- отвод рабочих токов (токов несимметрии и т. д.);
- защиту изоляции низковольтных цепей и оборудования;
- снижение электромагнитных влияний на вторичные цепи;
- защиту подземного оборудования и коммуникаций от токовых перегрузок;
- стабилизацию потенциалов относительно земли и защиту от статического электричества;
- обеспечение взрыво- и пожаробезопасности.

Основными параметрами, характеризующими состояние ЗУ, являются:

- сопротивление ЗУ (для электроустановок подстанций, электростанций и опор высоковольтных линий (ВЛ));
- напряжение на ЗУ при стекании с него тока замыкания на землю;
- напряжение прикосновения (для электроустановок выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью, кроме опор ВЛ).

В соответствии с ПТЭ для контроля ЗУ в электроустановках до 1000 В с изолированной нейтралью производится проверка пробивных предохранителей, а в электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью проверка цепи «фаза-ноль». Объем и нормы испытаний ЗУ установлены РД 34.45–51.300–97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

Опыт эксплуатации заземляющих устройств в северных регионах (при наличии вечномерзлых грунтов) показывает, что очень трудно обеспечить требуемые параметры электробезопасности (сопротивление растеканию и напряжения прикосновения). Для этих целей разработаны составы электропроводной композиции для защиты от техногенных излучений «Электропроводная композиция для защиты от техногенных излучений» № 2 648 253 РФ и устройство для заземления электроустановки «Устройство для заземления электроустановки» № 187 307 РФ.

С помощью этих составов имеется возможность обеспечения условий электробезопасности и благоприятной электромагнитной обстановки, что важно при реконструкции подстанции в том числе в северных условиях.

Электропроводящая композиция для защиты от техногенных излучений

Электропроводящую композицию готовят следующим образом. Вначале необходимо отвесить все сухие компоненты смеси и произвести их смешивание в течение 5–7 минут. Одновременно отмеривают необходимое количество воды и растворяют в ней соответствующее количество смеси полиэтиленгликолевых эфиров моно- и диалкилфенолов (Оп-10). В сухую смесь вводят подготовленную жидкую составляющую композиции, после чего все перемешивают в течение 10 минут.

Приготовленную композицию укладывают в формы и уплотняют вибрированием. Отформованное изделие выдерживают при температуре 20–25 °С в течение 8 часов, после чего его подвергают пропарке в пропарочной камере при температуре 98–100° С.

В табл. 1 приведены составы электропроводящих композиций. В приведенных составах видно, какое влияние оказывают различные компоненты на прочность материала при сжатии и удельное электрическое сопротивление.

Таблица 1.

Состав и свойства электропроводящей композиции

№ п/п	Цемент, %	Сажа, %	Крупный наполнитель (5–25 мм), %	Мелкий наполнитель (0.1–5 мм), %	Оп-10, %	Вода, %	Удельное сопротивление, Ом/м	Предел прочности при сжатии, МПа
1	40	5,2	24	14,5	0,3	16	0,9	32,6
2	15	7,3	30	39,4	0,3	8	0,16	14,0
3	30	10	16,5	25	0,3	14	0,08	14,5
4	30	3	21	30	0,3	12	2.9	32

№ п/п	Цемент, %	Сажа, %	Крупный наполнитель (5–25 мм), %	Мелкий наполнитель (0,1–5 мм), %	Оп-10, %	Вода, %	Удельное сопро- тивление, Ом/м	Предел прочности при сжатии, МПа
5	30	5,2	45	7,3	0,3	12,2	0,38	14,1
6	30	5,2	1	51,3	0,3	12,3	0,48	14,2
7	20	5,2	3	62	0,3	9,5	0,42	13,9
8	35	5,2	42,5	3	0,3	14	0,34	16,4
9	29,5	5,2	8	42,5	0,15	14,65	1,2	14,6
10	30	5,2	9	43,5	0,5	11,8	0,49	20

Установлено, что электропроводящая композиция противостоит действию постоянных и переменных токов химической коррозии.

Введение в состав электропроводящей композиции добавки Оп-10 позволяет получать ее низкое удельное электрическое сопротивление и при этом сохранять высокую механическую прочность.

С практической точки зрения состав материала должен иметь достаточную механическую прочность — не менее 20–30 МПа. С этой целью в экспериментальных исследованиях изменялось содержание следующих компонентов:

- - цемент в интервале от 15 до 40 %;
- - проводящий компонент (сажа) от 3 до 10 %;
- - крупный наполнитель от 1 до 43 %;
- - мелкий наполнитель от 3 до 62 %;
- - Оп-10 от 0,15 до 0,5 %;
- - вода от 8 до 16 %.

Как показывает анализ таблицы наилучшим требованиям соответствуют 1-й и 10-й составы, для которых получена максимальная механическая прочность на сжатие и небольшое удельное сопротивление. Также заслуживает внимания и 3-ий состав, для которого получено минимальное значение удельного сопротивления, но в этом случае в два раза снизилась механическая прочность материала.

С практической точки зрения интерес представляют 1-й, 3-ий и 10-й составы, для которых будут проведены расчеты по выравниванию потенциала.

Известно, что идеальное эквипотенциальное покрытие — это стальной лист на поверхности грунта. Поэтому необходимо сравнить выравнивание потенциала с помощью стального листа и с помощью электропроводящей композиции. Ее составы выбираются с прочностью на сжатие от 14 до 32,6 МПа и удельной электропроводностью от 0,16 до 0,9 Ом/м. Расчеты выполняются для стальной полосы и электропроводящей композиции (ширина $b = 2$ м и длина $l = 5$ м) и для круга диаметром ($D = 100$ м и 200 м).

Изменение потенциала по материалу оценивается по выражению:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-x\sqrt{R_m - R_n}} \quad (1)$$

где φ_0 — потенциал в точке ввода тока, В;

φ — потенциал в точке x , В.

Поскольку стальная пластина и слой электропроводящей композиции располагаются на поверхности, то сопротивление растеканию для пластин определяется по формуле:

$$R_i = \frac{\rho_c}{\pi \cdot 1} \ln \frac{4l}{b} \quad (2)$$

где ρ_c — удельное электрическое сопротивление песчано-гравийной засыпки на подстанции (принимается равным 400 Ом/м);

l — расстояние от места ввода тока, м;

b — ширина полосы, м.

Для круга сопротивление растеканию оценивается по формуле:

$$R_n = \frac{\rho_c}{2D} \quad (3)$$

где D — диаметр круга, м.

Сопротивление слоя стали и электропроводящей композиции, пренебрегая толщиной, определяется по формуле:

$$R_m = \frac{\rho_m}{S} \quad (4)$$

где ρ_m — удельное электрическое сопротивление стали (0,135 Ом·мм²/м) и электропроводной композиции (табл. 2);

S — площадь покрытия, м².

Степень выравнивания потенциала электропроводной композиции оценивалась по отношению к стальной полосе $\varphi_{\text{элк}}/\varphi_{\text{ст}}$.

Результаты расчетов по выравниванию потенциалов на заземляющем устройстве для полосы приведены в табл. 2.

Из анализа данных табл. 2 видно, что для целей выравнивания потенциала пригодны составы с удельным электрическим сопротивлением до 0,49 Ом/м и прочностью на сжатие до 20 МПа. Это дает практически эквипотенциальное покрытие на расстоянии до 100–200 м от места ввода тока и практически полное выравнивание потенциала.

Следовательно, альтернативным решением по выравниванию потенциала на ЗУ может быть использование покрытия на поверхности грунта из электропроводящей композиции. Ее использование для выравнивания потенциала на заземляющем устройстве в зоне помещений, в которых расположена цифровая техника, устранил влияние параллельных цепей заземлений, улучшая тем самым электромагнитную обстановку в электроустановке.

Таблица 2.

Сравнение выравнивания потенциала с помощью полосы электропроводящей композиции со стальной полосой

№ п/п	Предел прочности, МПа	Удельное электрическое сопротивление электропроводной композиции, Ом/м	R _{элк}	R _{ст}	φ _{элк}	φ _{ст}	Отношение φ _{элк} /φ _{ст}
1	14	0,16	0,016	0,0135	0,96	0,963	0,997
2	16,4	0,34	0,034		0,942		0,978
3	20	0,49	0,049		0,93		0,966
4	32,6	0,9	0,09		0,907		0,942
5	14,5	0,08	0,008		0,971		1,009

№ п/п	Предел прочности, МПа	Удельное электрическое сопротивление электропроводной композиции, Ом/м	Rэлк	Rст	фэлк	фст	Отношение фэлк/фст
6	32	2,9	0,29		0,839		0,871
7	14,1	0,38	0,038		0,938		0,975
8	14,2	0,4	0,04		0,937		0,973
9	13,9	0,42	0,042		0,935		0,971
10	14,6	1,2	0,12		0,893		0,928

Таблица 3.

Сопротивление растеканию и напряжение «до прикосновения» для различных грунтов в случае применения только электропроводящей композиции.

№ п/п	Тип грунта	Удельное сопротивление, Ом/м	Сопротивление растеканию в случае применения экрана, Ом	Напряжение «до прикосновения», В
1	Болотистый	0,6	0,00075	1,19
2	Щелочной	2,5	0,003	1,19
3	Суглинок	3–150	0,0625	1,19
4	Глина	3,5–300	0,37	1,19
5	Торф	10–20	0,085	1,19
6	Чернозем	10–500	0,625	1,19
7	Супесь	75–450	0,3	1,19
8	Песок	10–700	0,875	1,19
9	Каменистый	200	0,125	1,19
10	Лесс	250	0,156	1,19

Экран из электропроводящей композиции позволяет существенно улучшить и сопротивление растеканию. Для талых грунтов средней полосы сопротивление растеканию, в случае применения экрана составило 0,6–0,8 Ом.

Особый интерес представляет использование электропроводящей композиции для северных условий в Российской Федерации.

Для мерзлых грунтов сопротивление растеканию только от экрана составляет:

$$R = \rho / 2D = 1000 / 2 \cdot 800 = 0,625 \text{ Ом.}$$

Таким образом, выравнивание потенциала с помощью электропроводящих композиций позволяет устранить трудности обеспечения условий электробезопасности для мерзлых грунтов северной части РФ.

Выводы

1. Разработаны способы обеспечения условий электробезопасности в электроустановках. Предложены составы электропроводящих композиций, позволяющие выравнивать потенциал в электроустановке. Эквипотенциальные покрытия выравнивают потенциал диаметром 800 ме-

тров. Применение экрана из электропроводящей композиции снижает напряжение прикосновения на 3–4 порядка и не зависит от удельного сопротивления грунта. Это позволяет использовать эти экраны в различных климатических условиях, в том числе и в районах вечной мерзлоты.

2. Расчеты напряжения «до прикосновения» показывают, что величина потенциала от места ввода тока до 0,8 м составляет 1,19 В при применении экрана из электропроводящих композиций.

3. Экран из электропроводящей композиции позволяет существенно улучшить и сопротивление растеканию. Для талых грунтов средней полосы сопротивление растеканию в случае применения экрана составило 0,6–0,8 Ом. Для мерзлых грунтов сопротивление растеканию только от экрана составляет 0,625 Ом.

4. Таким образом, применение электропроводящих композиций позволяет существенно улучшить обеспечение условий электробезопасности в электроустановке в северных регионах.

Список использованной литературы

1 Демин Ю. В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах: том 2 / Ю. В. Демин [и др.]; под. ред. В. П. Горелова. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. — 198 с.

2 Демин Ю. В. Обеспечение долговечности электросетевых материалов и конструкций в агрессивных средах: том 1 / Ю. В. Демин [и др.]; под. ред. В. П. Горелова. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1998. — 210 с. 3. Жук Н. П. Коррозия и защита металлов. Расчеты / Н. П. Жук.— М.: ГНТИ МАШГИС, 1957. — 333 с.

Кийко А. А., Кирюшин А. В., Иванова Е. В.

Сибирский государственный университет водного транспорта

Исследование причин отключения высоковольтных линий электропередачи

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные причины отключения линий электропередачи. Перечислены основные факторы, которые приводят к повреждениям и отключению линий электропередач. Полноценным образом изучена характеристика и сущность каждой причины отключения электроэнергии. В заключении описаны самые распространённые причины отключения линий электропередач.

Ключевые слова: линия электропередачи, грозовые отключения, немотивированные отключения, перекрытие изоляции.

Kiyko A. A., Kiryshin A. V., Ivanova E. V.

Siberian State University of Water Transport

Study of the reasons for disconnecting high-voltage electric transmission lines

Novosibirsk

Abstract. This article discusses the main reasons for disconnecting power lines. The definition of a power line. The main factors that lead to damage and disconnection of power lines are listed. The characteristic and essence of each cause of a power outage has been fully studied. In conclusion, the most common causes of power line outages are described.

Keywords: power line, lightning outages, unmotivated outages, insulation overlap.

В современное время электричество является одним из самых необходимых человечеству ресурсов. Оно в значительной степени упрощает жизнедеятельность человека, делая её более интересной и полезной. Однако зачастую линии электропередачи подвергаются отключению, вследствие чего могут возникнуть негативные последствия. Такие отключения определены причинами различного характера и проблемами, связанными непосредственно с повреждениями линий электропередач.

Собственно, линия электропередачи (ЛЭП) представляет собой один из элементов электрической сети, систему энергетического оборудования, которая предназначена непосредственно для передачи электроэнергии при помощи электрического тока.

Высоковольтные линии электропередач могут отключаться вследствие различных причин. По большей части причины отключения линий электропередач определяются именно повреждениями на этих линиях, что обусловлено разными факторами, основными из которых являются следующие:

- изменение температуры окружающей среды;
- вибрация;
- гололедные образования на проводах;
- «пляска» проводов;

- действие ветра;
- перенапряжение (атмосферные и коммутационные);
- загрязнение воздуха [1].

Вышеперечисленные факторы оказывают негативное воздействие на линии электропередач, в результате чего они сильно повреждаются и практически во всех случаях отключаются. Все эти причины отключения линий электропередач являются довольно распространёнными и могут возникать в любой местности. Самыми часто встречающимися причинами являются природные явления и атмосферные перенапряжения, в особенности воздействие ветра и гололедные образования.

Одной из основных причин отключения линий электропередач являются перенапряжения, связанные с атмосферными воздействиями, которые появляются вследствие такого природного явления, как гроза. Данный вид перенапряжения имеет кратковременное действие. Именно вследствие данного воздействия могут появиться пробой в изоляции, а также проблемы в перекрытии линий электропередач, в более редких случаях могут возникнуть проблемы серьёзного повреждения или полного разрушения изоляции. Перекрытие изоляции сопровождается непосредственно появлением электрической дуги, действие которой может продолжаться и после возникновения перенапряжения, то есть при рабочем напряжении. Появление дуги определяет короткое замыкание, вследствие чего крайне важно иметь налаженную автоматическую систему отключения линии электропередач в местах повреждения.

Во время включения или соответственно отключения выключателей могут появиться так называемые коммутационные (иначе говоря, внутренние) перенапряжения. Их действие на изоляцию устройств сети является таким же, как и на изоляцию вследствие перенапряжений атмосферного характера. Само место перекрытия требует срочного отключения в автоматическом режиме.

Стоит отметить, что для сетей, обладающих напряжением до 220 кВ, считаются наиболее опасными перенапряжения атмосферного характера. В свою очередь коммутационные перенапряжения несут опасность для сетей, имеющих напряжение от 330 кВ и выше [4].

Ещё одним фактором, который может оказать негативное воздействие на линии электропередач, является изменение температуры окружающей среды. Стоит отметить, что температура может изменяться в диапазоне от -40° до $+40^{\circ}$. Собственно, течение тока в проводах имеет температуру на $2-5^{\circ}\text{C}$ выше, чем температура воздуха. Если температура воздуха будет снижаться, то значительным образом будет увеличиваться допустимое плюсовое значение температуры в проводах, вследствие чего они могут подвергаться очень сильному нагреву. В том случае, если температура будет снижаться вместе с увеличением допустимого предела нагрева температуры в проводах, их длина будет уменьшаться. Это обуславливает повышение напряжения механического характера. Результатом повышения температуры проводов может стать их полный отжиг или снижение самой прочности проводов. Также при повышении температуры провода начинают значительно удлиняться и увеличиваться стрелы провеса. Вследствие этого могут существенно нарушаться изоляционные расстояния, а также границы воздушной линии, то есть будет серьёзным образом снижена безопасность и надёжность работы линии электропередачи [2]. Таким образом, изменение температуры вызывает отключение линий электропередач в результате появляющихся повреждений.

Ветер также задаёт негативное влияние на воздушные линии и может стать фактором их отключения. Данная причина отключения линии электропередачи является самой распространённой и часто встречающейся, поскольку явление ветра происходит в любое время года. Достаточно сильный ветер приводит к появлению давления на провода, тросы и опоры. Во время действия сильных порывов ветра возникают сильные влияния изгибающего характера на опоры. Такое сильное давление может вызвать серьёзную поломку или даже падение опор с вы-

рыванием фундаментной основы из грунта. При этом провода и тросы начинают утяжеляться, возникают напряжения механического характера их материала. При особо сильных порывах ветра могут подвергаться повреждениям сразу несколько опор линий электропередач.

Вследствие попадания каких-либо осадков на провода появляются гололедные покрытия на них. Данные явления приводят к появлению существенной дополнительной нагрузки, а также к понижению прочности проводов, различных опор линий электропередач. На некоторых пролетах может возникнуть изменение стрелы провеса проводов, сокращение изоляционных расстояний. Следствием образования гололедного покрытия являются срывы проводов и разлом опор. Провода могут сильно сближаться и путаться между собой, перекрывая тем самым промежутки в изоляции. Таким образом, гололедные покрытия на проводах вызывают существенную нагрузку на них, вследствие чего может произойти отключение электроэнергии.

Следующей причиной отключения линий электропередач является вибрация. Собственно, вибрация проводов представляет собой их колебания с достаточно высокой частотой (5–50 Гц), малой длиной волны (2–10 м) и малой амплитудой (2–3 диаметра провода). Наиболее подвержены вибрации такие провода, которые располагаются на открытой местности, когда равномерное движение ветра не нарушается сооружениями и рельефом. Опасностью вибрации является так называемая «усталость» материала проводов, а также разрывы некоторых закрепляющих проволочек в определенных местах, находящихся непосредственно рядом с зажимами у опор. Это может приводить не только к снижению прочности проводов, но и иногда к их обрыву [5].

К причинам отключения линий электропередач относится также так называемая «пляска» проводов. Данное явление представляет собой колебания провода с малой частотой (0,2–0,4 Гц), большой длиной волны и большой амплитудой колебания (0,5–5 м и более). Их длительность зачастую является небольшой, но в некоторых моментах она может превышать несколько дней. «Пляска» проводов может происходить при сильных порывах ветра, зачастую на проводах, обладающих большим сечением. Такое явление может спровоцировать схлестывание проводов, вызывать серьёзные динамические усилия в линейной арматуре опор и траверсах, возможны появления повреждений изоляторов, а также заброс гирлянд изоляторов на траверсу. «Пляска» проводов может являться причиной длительного выхода из работы линий электропередач. При этом очень сокращаются расстояния в изоляции, из-за большой амплитуды колебаний провода могут подвергаться сильному схлестыванию между собой, вследствие чего возможны появления перекрытий при рабочем напряжении линии. Кроме того, «пляска» проводов зачастую сопровождается сильными порывами ветра. Тем самым, данное явление в большинстве случаев приводит к отключению линии электропередачи [3].

Существенно опасным влиянием для работы линий электропередач может стать загрязнение воздуха. Оно может быть обусловлено присутствием мелких частиц пыли, каких-либо химических соединений и др. В том случае, если данные части будут осаждаться на проводах, в особенности на влажных, то это приведёт к сильному ослаблению изоляции проводов. Вследствие этого может появиться значительное перенапряжение линий электропередач. По большей части данная причина отключения линий электропередач распространена в летнее время, когда пыль с дорог посредством ветра или движения транспортных средств может подниматься до уровня проводов.

В некоторых случаях отключения линий невозможно объяснить перекрытиями увлажнённой изоляции, так как они возникают при низкой влажности воздуха. В таких случаях наиболее вероятным объяснением является вмешательство птиц. Птицы часто становятся причинами отключений, основными из которых являются: загрязнение изоляции пометом, набросы проволоки и других предметов, перекрытие изоляционных промежутков самой птицей и схлест проводов ВЛ при взлете стаи [6].

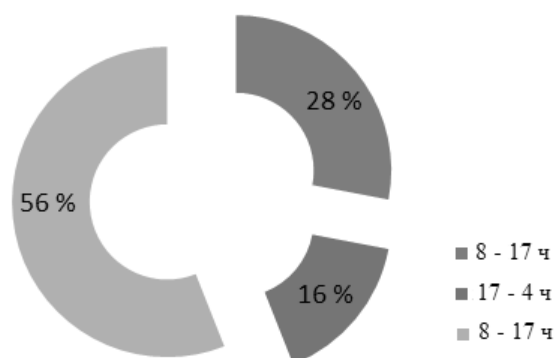


Рис. 1. Распределение отключений ВЛ по времени суток

Статистика отключений линий электропередачи северных регионов России показывает преобладание грозовых отключений и перекрытия изоляции 77 %, отключений по невыясненным причинам 23% [6]. Распределение отключений по времени суток в летний период показывает наибольшее число отключений в утренние часы — 56% (рис. 1).

В распределениях отключений воздушных линий по месяцам года выделяется период с апреля по сентябрь. В апреле и в мае отключения могли быть спровоцированы и прилетающими после зимы птицами, и увлажнением загрязнённой после зимы изоляции. Провал в июне можно объяснить тем, что в это время птицы высидивают птенцов, а грязь с поверхности изоляторов смывается дождями. В августе–сентябре отключения можно объяснить тем, что птенцы «встают на крыло» и частыми утренними туманами и росой [6].

Для снижения числа немотивированных отключений воздушных линий электропередачи длину пути утечки необходимо увеличить до требуемых ПУЭ величин и выбирать наиболее эффективные, но не противоречащие требованиям экологов птицевозащитные мероприятия.

Список использованной литературы

1. Боровицкий, В. Г. Связь вероятности перекрытия изоляции ВЛТ 110 кВ с метеорологическими факторами / В. Г. Боровицкий [и др.] // Линии электропередачи 2012: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс: материалы пятой Российской науч.-практ. конф. с междунар. участ., Новосибирск, 11–13 сентября 2012 г. — Новосибирск. — 2012. — С. 196 — 202 с.
2. Комолов, А. А. Совершенствование методов контроля технического состояния внешней изоляции системы тягового электроснабжения по току утечки: дис. канд. тех. наук: 05.14.12 / А. А. Комолов. — Томск. — 2013. — 189 с.
3. Пименов, П. В. Исследование работы высоковольтной изоляции в условиях атмосферных увлажнений / П. В. Пименов /Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Новосибирск — 1989. — 168 с.
4. Правила устройства электроустановок, 7-е изд. Раздел 1. Глава 1.9 «Изоляция электроустановок». — М.: НИЦ ЭНАС- 2002. — 20 с.
5. Техника высоких напряжений: учебник для ВУЗов / И. М. Богатенков, Ю. Н. Бочаров и др.; Под ред. Г. С. Кучинского. — СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд-ние. — 2003. — 608 с.
6. Боровицкий В. Г. Исследование причин немотивированных отключений ВЛ 110 кВ и разработка рекомендаций по снижению их числа: дис...канд.техн.наук НГАВТ, Новосибирск, 2013.

Маринова А. Д.¹

¹Сургутский государственный университет

Диагностика кабельных линий электропередачи

г. Сургут

Аннотация. Кабельные линии электропередачи (КЛ), как средство транспорта электрической энергии, получили очень широкое распространение, особенно в сетях 0,4, 6 и 10 кВ. Состояние изоляции КЛ периодически проверяется путем проведения высоковольтных испытаний. Существуют различные методы диагностики КЛ, но в большинстве своем они требуют предварительного прожига изоляции. Их можно отнести к разрушающим методам. В последнее время часто применяются современные неразрушающие методы диагностики кабельной линии.

Ключевые слова: кабельная линия электропередачи, диагностика кабельной изоляции, частичные разряды.

Marinova. A. D

Surgut state university

Diagnostics of electric transmission cable lines

Surgut

Abstract. Cable power lines (CL), as a means of transporting electric energy, are very widespread, especially in 0.4, 6 and 10 kV networks. The insulation status of the CL is periodically checked by conducting high-voltage tests. There are various methods for diagnosing CL, but for the most part they require preliminary burning of insulation. They can be attributed to destructive methods. Recently, modern non-destructive methods for diagnosing a cable line are often used.

Keywords: cable power line, cable insulation diagnostics, partial discharges.

В настоящее время электроэнергетика представляет собой постоянно растущую, сложную систему, которая состоит из множества источников электрической энергии и потребителей. Для обеспечения надежной работы сложной электроэнергетической системы необходимо обеспечить исключение внезапных коротких замыканий (КЗ) для повышения динамической статической и результирующей устойчивости всей электроэнергетической системы. Так же исключение коротких замыканий повысит длительность безотказной работы всей электроэнергетической системы в целом, за счет отсутствия негативного влияния тока, возникающего во время внезапных КЗ, на отдельные электроустановки. Из этого следует, что повышение надежности системы распределения и передачи электрической энергии является одной из важнейших задач развития современной электроэнергетики.

Статистический анализ коротких замыканий показал, что доля технологических нарушений, произошедших из-за пробоя кабельных изоляции линий электропередачи 6–10 кВ, составила не менее 71%. Вероятность пробоя кабельной изоляции зависит от степени износа и остаточного ресурса кабеля. В местах нахождения дефектов кабельной изоляции образуются частичные разряды (ЧР), развитие которых в дальнейшем приводит к пробое изоляции.

Исходя из вышеперечисленного, сделан вывод, что надежность электроэнергетической системы напрямую зависит от рабочего состояния изоляции кабельных линий электропередачи, мониторинг которой должен проводиться на протяжении всего срока эксплуатации кабель-

ной линии. Для обеспечения надежной работы кабельной линии электропередачи 6–10 кВ необходимо решить различные задачи. Первостепенно необходима оценить значения группового ресурса силовых кабельных линий, вследствие важно определить фактический индивидуальный ресурс каждой отдельной кабельной линии [3]. Для достижения решения поставленных задач важно разработать непрерывную систему диагностики силовых кабельных линий, позволяющую получать достоверную информацию о фактическом состоянии кабельных линий.

Традиционные методы контроля за состоянием кабельной изоляции, закрепленные в действующих нормативных документах, не позволяют полностью и достоверно анализировать состояние кабельной линии электропередачи. Данный метода контроля заключается в визуальном осмотре кабельной линии, измерении сопротивления на изоляции. Основным методом диагностирования линии электропередачи является испытания повышенным напряжением постоянного или синусоидального тока [2]. Главным недостатком проведения мониторинга состояния линии традиционными методом является разрушающий контроль. При проведении нормированной проверки повышенным напряжением может происходить прожиг имеющихся изъянов, которые образовались под воздействием внешних и внутренних факторов, что значительно ускорит процесс ухудшения состояния кабельной изоляции. Данное испытание дает информацию только о том, что на изоляция кабельной линии не произошло пробоя, но по мимо этого ведет к образованию новых дефектов в кабельной изоляции и значительному сокращению срока службы. Так же следует отметить, что данный метод диагностики оказывает на кабельную линию с изоляцией на основе сшитого полиэтилена (СПЭ) дополнительное негативное воздействие. Под действие постоянного напряжения в кабелях с СПЭ изоляцией может накапливаться объемный заряд, из-за которого возможен быстрый выход кабеля из строя [1].

В настоящее время на практике применяются различны методы оценки диагностики состояния кабельной изоляции, позволяющие расширить объем полученных сведений. Так же следует отметить, что современные методы диагностики не воздействуют негативно на кабельную изоляцию. К неразрушающим методам контроля относятся измерение частичных разрядов, ультрафиолетовый и телевизионный контроль, импульсная рефлектометрия. Степень старения изоляции можно рассчитать и оценить методом электрической абсорбции.

Однако одной из наиболее явных причин снижения электрической прочности кабельной изоляции в процессе эксплуатации является частичные разряды (ЧР). В кабельных линиях ЧР возникают в местах резкой неоднородности электрического поля. При длительном воздействии частичных разрядов бомбардировка частиц с большой энергией вызывает эрозию твердого диэлектрика, в локальных местах повышается температура и появляются продукты распада вещества изоляции. что в следствии может привести к старению изоляции [4]. Для определения характеристик ЧР необходимо прежде всего зарегистрировать сигнал, содержащий частичные разряды. Для анализа полученных результатов произвести фильтрацию полученного сигнала и уже после обработать полученный сигнал. На основе полученных данных оценивается характер распределения, концентрация и средняя величина частичных разрядов. Определение места и уровня возникновения ЧР позволит исключить аварийные ситуации и в плановом порядке производить ремонтные работы.

В заключение можно отметить, что многообразие методов диагностики состояния кабельной изоляции подтверждает актуальность данного вопроса. Традиционные методы диагностики повышенным напряжением не информативны и являются разрушающими для кабельной изоляции, введу чего, актуальным является вопрос разработки альтернативных неразрушающих методов. На основе комплекса современных методов контроля кабельной изоляции можно разработать рациональную систему диагностики кабельных линий, которая позволит не только выявлять повреждения, но прогнозировать остаточный ресурс кабеля. Основным недостатком

всех способов контроля состояния кабельной изоляции является необходимость сложного анализа данных персоналом для правдоподобной оценки состояния изоляции, исходя из чего наиболее актуальным сейчас является разработка автоматизированного мониторинга по определения остаточного ресурса кабельной лилии и предпробойного состояния её изоляции.

Список использованной литературы

1. Пономарев Н. В. Анализ методов диагностики состояния силовых высоковольтных кабельных линий / Н. В. Пономарев // Вестник КузГТУ. — 2012. — No 5(93). — С. 68–71.
 2. Михель, А. А. Обзор методов диагностики кабельных линий напряжений 6 и 10 кВ / А. А. Михель, А. В. Авдонин, Д. М. Левин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2009. — No 2. — С. 31–39.
 3. Правила устройства электроустановок. — М.: НЦ ЭНАС, 2000. — 552 с.
 4. Кучинский Г. С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Г. С. Кучинский. — Л.: «Энергия». Ленингр. Отд-ние., 1979. — 224 с.
-

Тыщенко А. А.¹, Рысев П. В.²

¹ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»

²БУ ВО «Сургутский государственный университет»

Оценка влияния децентрализованной автоматизации распределительных электрических сетей на надежность электроснабжения

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается проблема низкой надежности распределительных электрических сетей сельскохозяйственного назначения. Дается оценка возможности применения и эффективности современных дистанционно-управляемых коммутационных аппаратов. Показано, что автоматизация сети может существенно повысить надежность.

Ключевые слова: Надежность, автоматизация, электроснабжение

Tyschenko A. A.¹, Rysev P. V.²

¹Omsk state technical university

²Surgut state university

Assessment of the impact of decentralized automation of distribution power networks on the reliability of power supply

Surgut

Abstract. The article deals with the problem of low reliability of agricultural electric distribution networks. The possibility of using and efficiency of modern remote-controlled switching devices is evaluated. It is shown that network automation can significantly improve reliability.

Keywords: Reliability, automation, power supply

На рубеже веков, вследствие распада Советского Союза, электроэнергетике России как отрасли пришлось пережить самый масштабный кризис со времен своего основания. Расходы на обновление и ремонт основных фондов значительно уменьшились, а в некоторых случаях и вообще прекратились.

В результате, за несколько лет значительно усилился износ основных фондов. К середине 2010-х годов общий износ электрических сетей перевалил за 50 %, наиболее тяжелая ситуация в распределительных электрических сетях, в которых общий износ составил 70% [1].

В такой ситуации на первый план в эксплуатации электрических сетей выходят вопросы обеспечения надежности электроснабжения потребителей электрической энергии.

Согласно [1; 2] ПАО Россети, которое является крупнейшим в стране оператором электрической сети, планирует поэтапное обновление электросетевой инфраструктуры с целью повышения эффективности объектов электроэнергетики. В первую очередь это относится к надежности и экономичности электрических сетей.

В [2] определены основные целевые показатели, реализация которых критически важна и требует контроля. В плане надежности это SAIFI (среднее количество отключений потребителей в год) и SAIDI (средняя длительность отключений потребителей в год) [3].

Значения целевых показателей: «снижение индекса SAIDI до 6 часов; индекса SAIFI до 2 в сетях на ВЛ 6–35 кВ» [1].

С другой стороны, ПАО Россети, реализуя программу инновационного развития, устанавливает дополнительные относительные целевые показатели, в соответствии с которыми SAIFI и SAIDI должны уменьшиться на 30 % в результате внедрения мероприятий по повышению надежности.

В нашем исследовании будем учитывать оба критерия при оценке выполнения целевых показателей.

Для исследования выберем распределительные сети, как наиболее изношенный элемент электросетевого комплекса. В качестве объекта исследования рассмотрим сельские распределительные сети.

Эти сети отличаются рядом особенностей: это преимущественно сети с односторонним питанием, аппараты защиты установлены в питающих центрах 110/10 кВ или 35/10 кВ; линии электропередачи выполнены воздушными с неизолированными проводами на деревянных или железобетонных опорах. Также для сельских сетей характерна низкая степень автоматизации, резервирования; наблюдаемость сети диспетчерами практически полностью отсутствует.

Особенностью отказов таких сетей является то, что около 70% всех повреждений являются неустойчивыми, связанными с перехлестом проводов, замыканиями вследствие падения веток на провода, прикосновениями крупных птиц.

Исходя из этой характеристики, можно наметить основные направления повышения надежности сельских распределительных сетей. Это, прежде всего, внедрение автоматики повторного включения на тех линиях электропередачи, где она отсутствует и увеличение кратности АПВ, секционирование с целью автоматического резервирования участков электрических сетей; повышение наблюдаемости электрических сетей.

Рассмотрим электрические сети одного из филиалов ПАО Россети. Сеть представляет собой центр питания — двухтрансформаторную подстанцию 110/35/10 кВ с отходящим от нее воздушными линиями. Линии проложены неизолированным проводом марок А и АС на деревянных и железобетонных опорах. Секционирование предусмотрено лишь на некоторых участках и осуществлено секционирующими разъединителями с ручными приводом. Линейные разъединители также присутствуют, но не на всех отходящих линиях; привод также ручной.

По проекту, в РУ НН центра питания имеется однократное АПВ, но по факту оно выведено из работы и не функционирует, поэтому делаем вывод, что электрическая сеть не автоматизирована.

Для анализа надежностных характеристик была обработана доступная статистика по повреждениям электрических сетей рассматриваемого района (рис. 1)

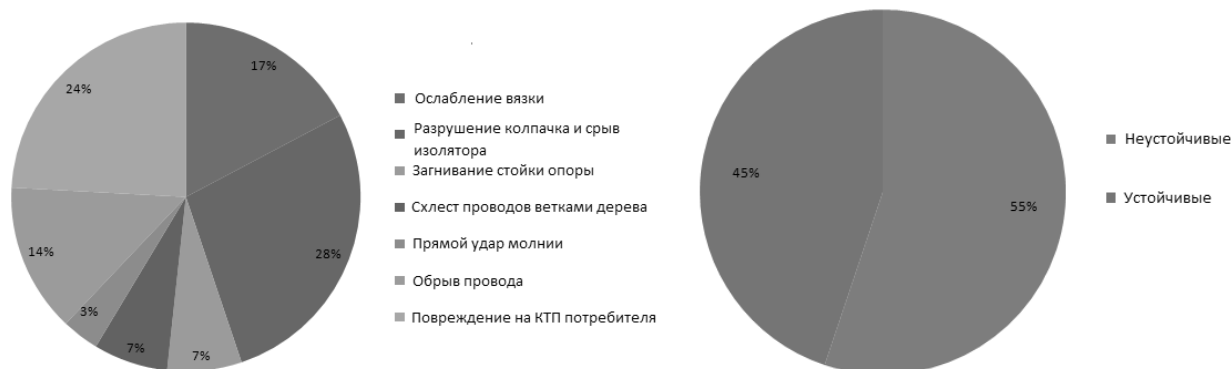


Рис. 1. Классификация причин повреждений воздушных линий 10 кВ

Для примера рассмотрим одну из отходящих от центра питания линий электропередачи. На рис. 2а приведена упрощенная схема исследуемого фидера, на которой стрелками показаны основные точки поставки электроэнергии, отпайки.

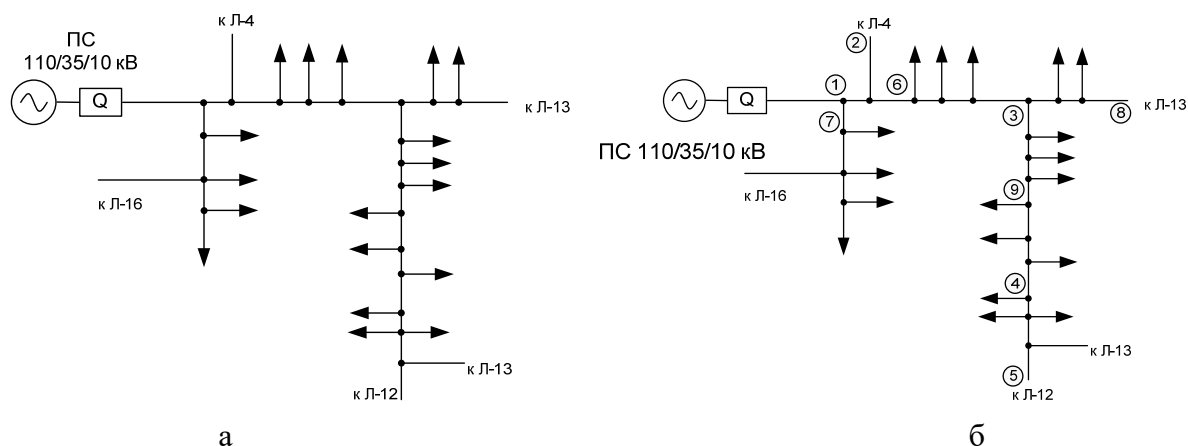


Рис. 2. Схема рассматриваемого фидера (а) и места установки аппаратов (б)

Фидер характеризуется следующими параметрами: количество точек поставки электроэнергии — 602; длина фидера со всеми отпайками — 54,9 км.

Показатели надежности для данного фидера [3] (в скобках приведены расчетные значения при работающем однократном АПВ):

$$SAIFI = \frac{\sum (\omega_i \cdot N_i)}{\sum N_i} = 6,4 (2,6) \text{ 1/год}, \quad (1)$$

где ω_i — количество отключений потребителей i -го участка фидера, 1/год;
 N_i — количество потребителей i -го участка фидера, шт..

$$\omega_i = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нп}}) \cdot L_i = 6,4 (2,6) \text{ 1/год}, \quad (2)$$

где ω_0 — удельная частота повреждений на 100 км 1/год;
 $k_{\text{нп}}$ — коэффициент неустойчивых повреждений (при отсутствии АПВ принимается равным 0; при наличии однократного АПВ — 0,6, двухкратного — 0,8).

L_i — суммарная длина участков фидера, при повреждении на которых происходит отключение потребителей i -го участка, км.

$$SAIDI = \frac{\sum (T_i \cdot N_i)}{\sum N_i} = 20,9 (8,3) \text{ ч/год}, \quad (3)$$

где T_i — время перерыва электроснабжения потребителей i -го участка фидера, ч/год.

$$T_i = \omega_i \cdot T \cdot k_{\text{вв}} = 20,9 (8,3) \text{ ч/год}, \quad (4)$$

где T — среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, ч;
 $k_{\text{вв}}$ — коэффициент восстановления электроснабжения.

Как видно из приведенных расчетов, показатели надежности электроснабжения для данного фидера не соответствуют ни одному нормативному документу, даже при работающем АПВ. Говоря о причинах, следует прежде всего указать большую протяженность, отсутствие секционирования, автоматики повторного включения. Фидер не разделен на участки, в резуль-

тате, любое повреждение отключается выключателем центра питания, то есть отключается весь фидер.

Для повышения надежности электроснабжения потребителей, подключенных к данному фидеру было предложено реализовать ряд мероприятий.

1. Внедрить двухкратное АПВ в ячейках выключателей 10 кВ центра питания.

2. Разделение фидера на участки (4 участка) с целью повышения селективности действия защит. Разделение на участки производилось по критерию примерного равенства точек присоединения к сети, учитывая расположение на местности, схему сети. Разделение осуществляется реклоузерами или дистанционно-управляемыми разъединителями. Данное мероприятие позволяет локализовать поврежденный участок линии, оставив в работе потребителей других участков. Наличие АПВ на линейном реклоузере позволяет эффективно бороться с неустойчивыми повреждениями.

1. Установка пунктов автоматического секционирования сети в местах соединения с другими фидерами.

2. Установка индикаторов короткого замыкания, оснащенных функцией передачи телеметрической информации на пульт диспетчера для снижения времени поиска повреждения на ЛЭП.

Места планируемой установки коммутационных аппаратов приведены на рис. 2б и обозначены окружностями с цифрами.

Было предложено два альтернативных варианта установки коммутационных аппаратов.

1. Установка реклоузеров в точках 1, 2, 3, 4, 5; индикаторов коротких замыканий в местах отпаек от ВЛ.

2. Установка реклоузеров в точках 2, 5, 8, 8; линейных дистанционно-управляемых разъединителей в точках 1, 6, 7; индикаторов коротких замыканий в местах отпаек от ВЛ.

Реклоузер (рис. 3а) [4] представляет собой коммутационный аппарат, силовая часть которого построена на вакуумных дугогасящих камерах, предназначенный для коммутации как рабочих токов, так и токов коротких замыканий. Аппарат может использоваться в качестве линейного коммутационного аппарата (для деления сети на участки, организации системы защиты этих участков, а также автоматического повторного включения) и пункта секционирования (для резервирования параллельных линий). Реклоузеры являются отдельно устанавливаемыми малогабаритными аппаратами, снабженными основными системами защиты и автоматики линий, которые могут обмениваться телеинформацией с диспетчерским центром, дистанционно управляться, встраиваться в существующие SCADA — системы.

Дистанционно-управляемый разъединитель (рис. 3б) [5] отличается от разъединителя, автоматизированным приводом ножей, аппаратурой для связи с диспетчерским центром, датчиками напряжения и тока. Аппарат способен передавать различную телеинформацию в диспетчерский центр, осуществлять коммутации по команде диспетчера.

В качестве средства повышения надежности работает по принципу отделителя, размыкая контакты в безтоковую паузу, образованную отключением коммутационного аппарата со стороны центра питания. Такой режим работы позволяет селективно выделить поврежденный участок, сократив количество отключенных потребителей.

По результатам расчетов оба варианта оказались близки по надежности показателям, обеспечивают снижение повреждаемости участка сети в 9–16 раз; позволяют сократить перебои электроснабжения более чем в 14 раз по сравнению с базовым вариантом (табл. 1).

Поскольку надежность показатели предложенных вариантов удовлетворяют целевым, итоговый выбор может быть сделан по экономическим параметрам и другим особенностям схем. По затратам эти варианты также оказались примерно одинаковыми. Поэтому, для рекон-

струкции рекомендован вариант 2, как обладающий большей гибкостью схемы, в том числе в ремонтных режимах.

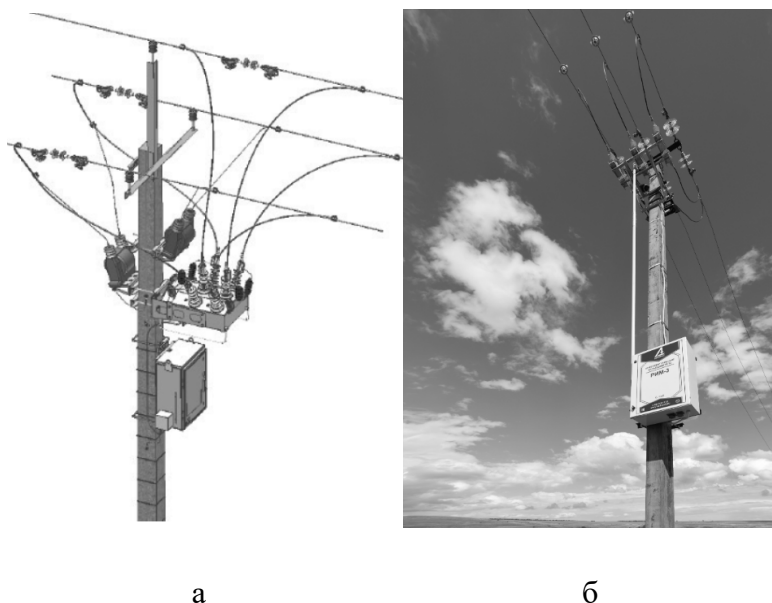


Рис. 3. Внешний вид реклоузера (а) и дистанционно-управляемого разъединителя (б)

Таблица 1.

Сравнение показателей надежности нескольких вариантов схем

Вариант схемы	Участок фидера	N_i	Луч, км	$n_{откл}, 1/$ год	$T_{пер}, ч/$ год	$w_o, 1/$ год	$w_r, 1/год$	$T, ч/год$	$T_r, ч/$ год	SAIFI 1/год	SAIDI ч/год
Вариант 1	1	0	11,1	6,4	20,9	11,6	0,3	3,2	0,5	0,4	0,8
	2	416	18,3				0,4		0,8		
	3	10	11,7				0,3		0,5		
	4	176	13,8				0,3		0,6		
Вариант 2	1	0	11,1	6,4	20,9	11,6	0,6	3,2	1,2	0,7	1,4
	2	224	4,6				0,3		0,6		
	3	195	15,3				0,8		1,5		
	4	183	23,9				1,2		2,3		

Выводы

В настоящее время большинство распределительных электрических сетей в сельскохозяйственных районах не удовлетворяют требованиям по надежности электроснабжения и характеризуются значительным износом.

Повсеместное обновление основных фондов электросетевых организаций требует колоссальных сумм и в настоящее время не может быть реализовано в полном объеме.

Повышение надежности электроснабжения может быть достигнуто применением современных технологий защиты и автоматизации электрических сетей.

Наиболее перспективным выглядит установка дистанционно-управляемых коммутационных аппаратов, программное обеспечение которых может быть встроено в существующие SCADA — системы, а сами аппараты обладают высокой степенью автономности, различными системами защит, измерительными преобразователями для контроля параметров режима электрической сети.

Список использованной литературы

1. Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. [Электронный ресурс]. — URL: https://www.rosseti.ru/investment/policy_innovation_development/doc/innovation_program.pdf (дата обращения: 17.04.2020).
 2. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (дата обращения: 17.04.2020)..
 3. Приказ Минэнерго России от 29.11.2016 N1256 «Об утверждении Методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций» [Электронный ресурс]. — URL: <https://base.garant.ru/71578114/> (дата обращения: 19.04.2020).
 4. Сайт компании «Таврида электрик» [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.tavrida.com/ter/solutions/REC15/> (дата обращения: 19.04.2020).
 5. Сайт компании «Антракс» [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.antraks.ru/produktsiya/upravlyayushchie-ustrojstva> (дата обращения: 19.04.2020).
-

Шаймарданов И. Ф.

Сургутский государственный университет

Определение состояния силового оборудования по температурному режиму

г. Сургут

Аннотация. В статье проводится обзор источников, посвящённых диагностике силового оборудования по тепловому режиму. Также обзревается статьи о моделировании теплового режима.

Ключевые слова: силовой трансформатор, нагрев, срок эксплуатации, диагностика

Shaimardanov I. F.

Surgut state university

Determination of the state of power equipment and load tolerance by temperature

Surgut

Abstract. The article reviews sources that describes diagnostics of power equipment by thermal regime. Also reviewed articles about simulation of thermal regime.

Keywords: power transformer, heat, power equipment lifetime, diagnostics

Диагностика силового оборудования, а в особенности силовых трансформаторов, становится всё более актуальным направлением для исследований. В первую очередь, это связано со значительным устареванием технического парка ЕНЭС — на 2016 год 57% оборудования подстанций 110 кВ и ниже эксплуатируются дольше своего нормативного срока службы [7].

Так как полное обновление технического парка является слишком дорогостоящим проектом, появляется необходимость в максимально эффективном использовании имеющегося оборудования. Для этого требуется регулярно получать информацию о текущих параметрах, развивающихся дефектах и запасе устойчивости эксплуатируемого оборудования, а также прогнозировать его состояние на некоторое время вперёд.

Выполнение этих требований возможно при использовании автоматизированных систем мониторинга и диагностики (АСМД). В данной статье обзревается работы конкретно по системам диагностики по тепловому режиму.

В работе [1] рассматриваются вопросы определения суточного износа витковой изоляции силового трансформатора по тепловому режиму. Одной из основных проблем, решаемых в статье, является алгоритм расчёта температуры наиболее нагретой точки (ННТ) обмотки трансформатора.

Исходными данными для расчёта температуры ННТ и износа витковой изоляции являются:

Настраиваемые параметры задачи:

- Δt — интервал накопления и обобщения (усреднения) сигналов телеизмерений, мин;
- $\Delta K_{ст}$ — ширина коридора зоны нечувствительности, определяющая точность формирования ступенчатого графика нагрузки, %.

Настраиваемые параметры трансформатора (автотрансформатора):

- $I_{н\text{ ном}}$ — номинальный ток нагрузки, А;
- $t_{обм}$ — тепловая постоянная обмотки, мин;
- $F_{ном}$ — нормированный износ витковой изоляции (срок службы трансформатора (автотрансформатора), «нормальные сутки износа»;
- $F_{пред}$ — фактический предыдущий износ витковой изоляции до ввода в эксплуатацию задачи на данной подстанции, «нормальные сутки износа».

Измеряемые значения:

- I_n — ток нагрузки, А;
- Θ_m — температура верхних слоёв масла, К;

Дальнейшие расчёты производятся по следующему алгоритму:

1. Формирование исходных суточных графиков нагрузки и температуры масла в интервалах Δt ;
2. Построение суточного графика относительной нагрузки;
3. Построение эквивалентного прямоугольного графика относительной нагрузки по заданной ширине коридора нечувствительности $\Delta K_{ст}$;
4. Определение превышения температуры ННТ обмотки над маслом, на основании полученного графика, для каждой ступени;
4. Построение суточного графика теплового состояния ННТ обмотки на основании телеизмерений температуры масла и вычисленного превышения температуры ННТ;
5. Определение износа витковой изоляции обмоток для каждой ступени графика;
6. Определение суточного износа витковой изоляции;

Расчёты производятся для наиболее загруженной обмотки.

Таким образом ознакомление с данной работой позволит определять состояние изоляции обмоток силового масляного трансформатора с помощью телеизмерений температуры поверхности масла и нагрузки по току.

Аналогичные методики расчёта приведены и в [5].

Работы [2], [4] и [8] посвящены моделированию теплового режима трансформатора в различных программных комплексах.

В работе [2] рассматривается вопрос моделирования теплового режима силового трансформатора в программном комплексе Comsol Multiphysics. Приняты допущения в виде упрощённой формы бака, магнитопровода и катушек (катушки представлены эквивалентным сплошным твёрдым телом). Дефект задаётся точкой с повышенной температурой.

Результаты моделирования представлены на рис. 1.

Данная работа не даёт точных рекомендаций по построению модели. Не заданы требуемые исходные данные для построения модели; не представлены возможности задания конкретных дефектов, а только их проявления в виде повышения температуры; геометрические параметры заданы в общем виде.

Данная работа лишь демонстрирует возможности программного комплекса для моделирования тепловых режимов.

В работе [4] рассматривается вопрос моделирования нестационарного теплового режима силового трансформатора в программном комплексе SolidWorks.

Геометрия конструктивных частей трансформатора представлена в общем виде. Конструкция модели состоит из бака, магнитопровода, обмоток, радиаторов охлаждения и расширительного бака. Заданы параметры сред — воздуха и трансформаторного масла. Заданы электрические параметры — величина потерь мощности, коэффициент загрузки по току и др.

Обмотка катушек ВН и НН представлена различными объектами. Обмотки катушек моделируются без разделения на отдельные витки.

В ходе моделирования программный комплекс позволяет отобразить распределение температуры (рис. 2), а также температурных полей скорости циркуляции масла (рис. 3) внутри бака трансформатора.

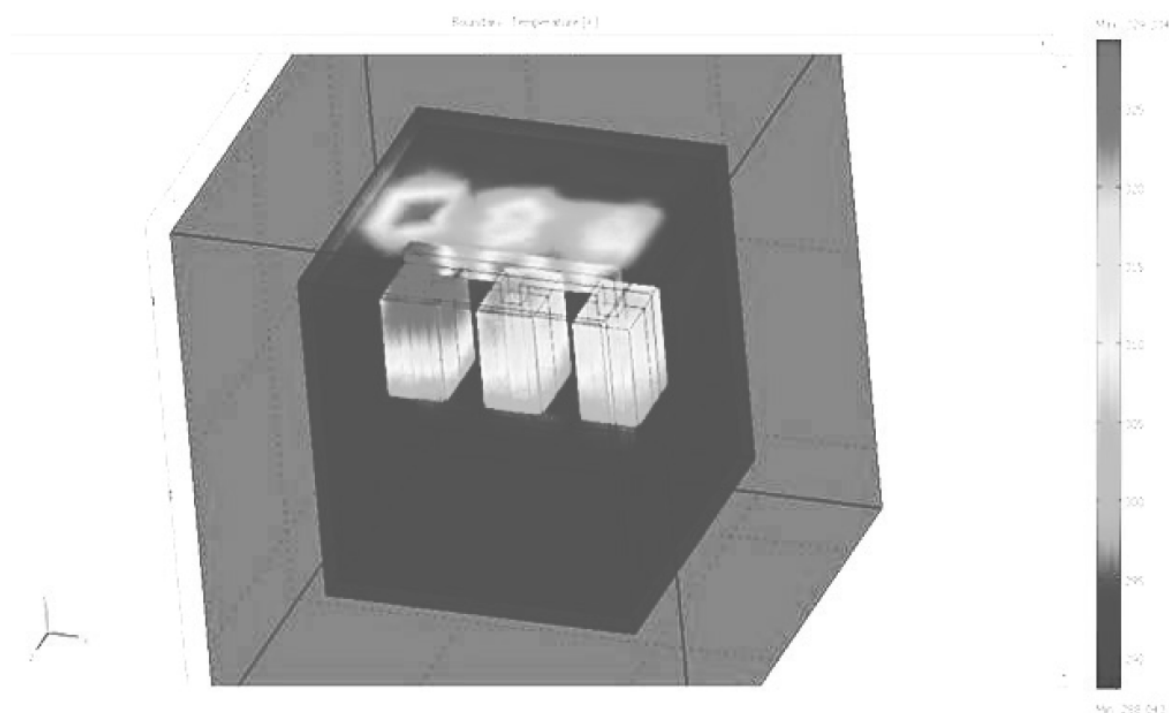


Рис. 1. Распределение теплового поля в силовом трёхфазном трансформаторе с дефектом фазы А (левая обмотка) (Comsol Multiphysics)

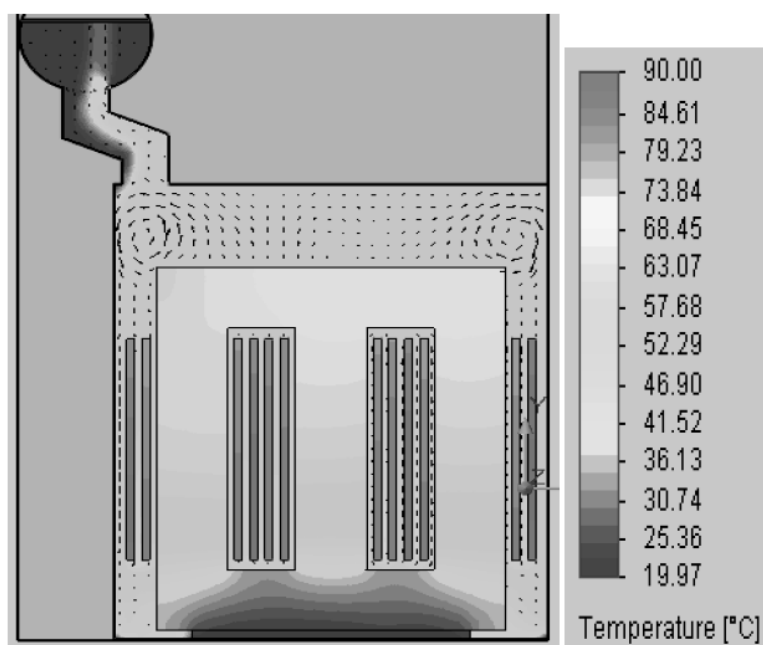


Рис. 2. Картина распределения температуры в продольном срезе бака трансформатора (SolidWorks)

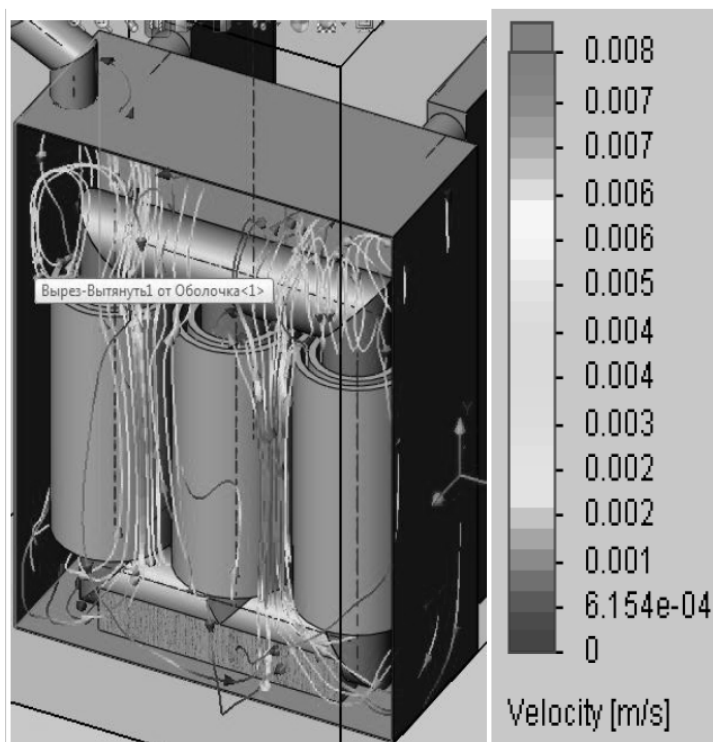


Рис. 3. Температурные поля скорости циркуляции масла внутри бака трансформатора (SolidWorks)

Данная работа отражает возможности программного комплекса, а также достаточно подробно описывает методику моделирования нестационарного теплового режима трансформатора в общем виде.

В работе [8] рассматривается вопрос моделирования нестационарного теплового режима силового трансформатора в программном комплексе MatLab Simulink. Математические формулы для создания модели были взяты из [3] и [6].

Исходными данными для моделирования являются:

- d — отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода трансформатора;
- $S_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора, МВА;
- S' — мощность нагрузки трансформатора, МВА
- $\theta_{м.ном}$ — температура верхних слоёв масла при номинальном режиме, °C;
- m — показатель степени масла;
- T — постоянная времени нагрева трансформатора, мин;
- $\theta_{м.}$ — температура верхних слоёв масла, °C;
- $\theta_{обм. нач}$ — начальный нагрев обмотки, °C;
- g —градиент превышения температуры обмотки над температурой масла;
- ε — превышение температуры в наиболее нагретой точке обмотки над температурой в верхних слоях масла, °C;
- T_a — постоянная времени нагрева обмотки трансформатора, мин;
- n — показатель степени обмотки;

Значения m и n принимаются в зависимости от типа охлаждения трансформатора, g и ε — по тепловой диаграмме трансформатора [8Кабышев].

Искомыми значениями являются температура масла и температура наиболее нагретой точки обмотки.

Полученная модель представлена на рис. 4.

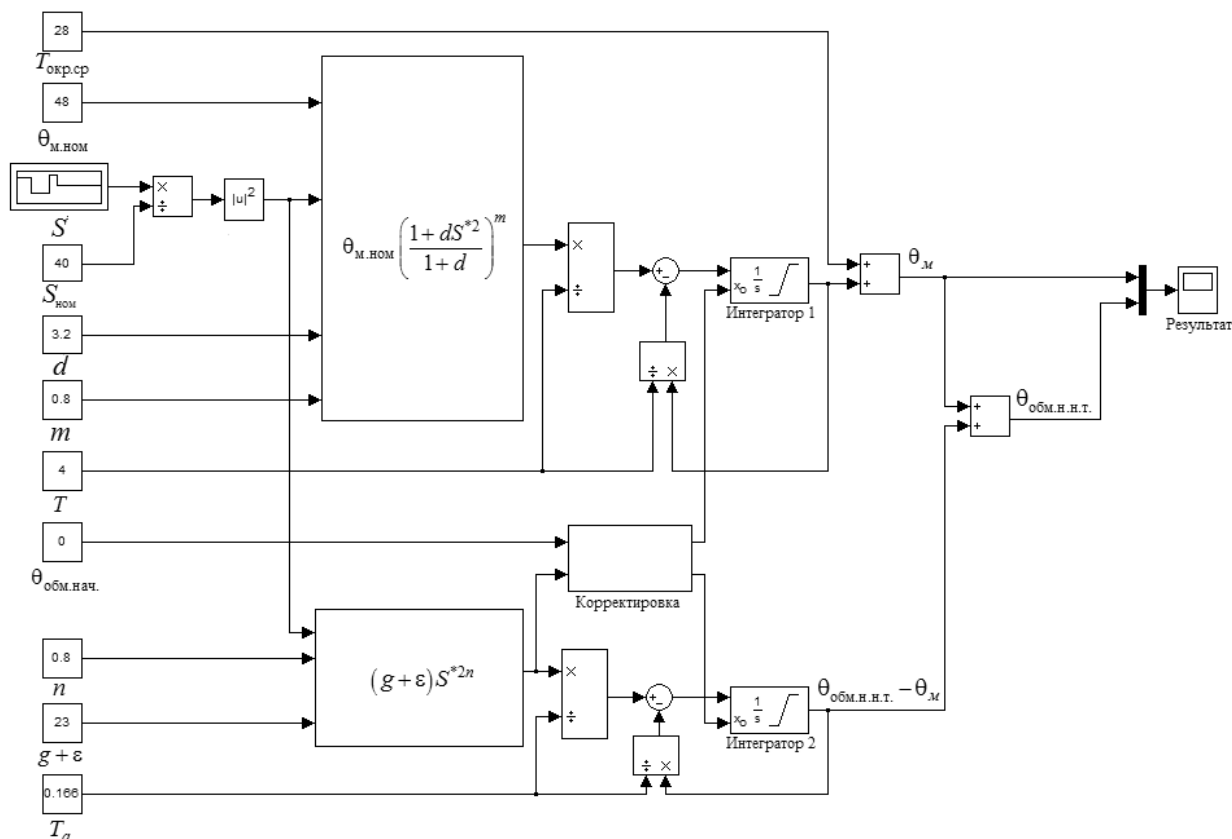


Рис. 4. Модель нагрева обмотки и масла трансформатора (MatLab Simulink).

Корректность модели была проверена авторами статьи для трансформатора типа ТМН-6300/35-УХЛ1. Результаты экспериментальных данных были взяты из [9]. Разность между результатами эксперимента и моделирования составили: для температуры масла -0,2%; для температуры ННТ $\approx 20\%$. Авторами высказывается мнение, что погрешность в определение температуры ННТ связано с неточностью тепловой диаграммы, по которой определяются значения g и ϵ .

Данная работа отражает возможности программного комплекса MatLab Simulink. Составленная модель позволяет получать корректные данные лишь частично и нуждается в доработке.

Вывод:

Была рассмотрена методика определения суточного износа витковой изоляции на основании телеизмерений температуры масла и нагрузки. Оценены возможности моделирования тепловых режимов силового трансформатора в различных программных комплексах (Comsol Multiphysics, SolidWorks, MatLab Simulink) на основании ряда публикаций.

Список использованной литературы

1. Бурлюк В. В., Жерко С. Н. Расчёт ресурса трансформаторов и автотрансформаторов в АСУ ТП Подстанций // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2009. С. 42–48.

2. Гнидюк А. Ф. Моделирование тепловых режимов трансформаторов // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2015. №1. С. 30–34.
 3. Кабышев А. В. Электроснабжение объектов. Ч.1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие // Изд-во. Томского политехнического университета, 2007. — 185 с.
 4. Казанский С. В., Моссаковский В. И., Печенкин Д. П. Моделирование нестационарных тепловых режимов силовых трансформаторов // Энергетика. 2015. №2. С.53–58.
 5. Костин В. Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: учебное пособие. СПб.: СЗТУ, 2006. — 177 с.
 6. Киш Л. Нагрев и охлаждение трансформаторов / Пер. с венгерского. Под ред. Г. Е. Тарле. — М.: Энергия, 1980. — 208 с., ил. — (Трансформаторы; Вып. 36).
 7. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». 2017 г. — 219 с.
 8. Ромодин А. В., Борисов М. С. Разработка модели теплового режима масла и обмотки трансформатора// Энергетика и автоматика. 2018 г. №6. С. 94–97
 9. Трякин А. О. Совершенствование методик теплового расчета силовых масляных трансформаторов: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. — С. 2015. — С. 114–115.
-

Сарбасова Н. Д.¹, Умурзакова А. Д.²

¹Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, Казахстан

²Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, Казахстан

К вопросу о проблеме обеспечения бесперебойного водоснабжения на основе погружных электродвигателей

г. Павлодар

Аннотация. В статье раскрыты проблема и важность обеспечения сельских населенных пунктов и объектов сельскохозяйственного производства качественной питьевой водой из артезианских скважин на основе погружных электродвигателей и необходимости применения специальных средств управления погружными насосами в сельскохозяйственном производстве, чтобы при выходе его из строя электронасоса избежать финансовые потери вследствие технологического ущерба от перерывов в водоснабжении и из-за необходимости работ по подъему и опусканию насоса

Ключевые слова: погружной электродвигатель, водоснабжение, погружной электронасосный агрегат

Sarbassova N. D.¹, Umurzakova A. D.²

¹Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan

²Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan

To the question of the problem of ensuring uninterrupted water supply based on submersible electric motors

Pavlodar

Abstract. The article reveals the problem and the importance of providing rural settlements and agricultural production facilities with high-quality drinking water from artesian wells based on submersible electric motors and the need to use special means of controlling submersible pumps in agricultural production, so that if it fails, the financial losses due to technological damage from interruptions in water supply and due to the need to raise and lower the pump.

Keywords: submersible electric motor, water supply, submersible electric pump unit

Казахстан — страна с большими запасами природных ресурсов, благодаря которым развивается свой экономический, научный и культурный потенциал. Однако, именно объемы водных ресурсов в Казахстане ограничены, при этом Казахстан нельзя отнести к числу стран с острым дефицитом водных ресурсов. Водные источники распределяются неравномерно по территории страны и нерационально используются, что существенно усложняет решение задач по обеспечению населения и хозяйственного комплекса водой в необходимом объеме и гарантированного качества.

Одним из важнейших аспектов этой общей проблемы является проблема обеспечения населения страны питьевой водой, которая до настоящего времени не решена полностью во многих населенных пунктах. Необходимо отметить, что в странах Центральной Азии обеспечение населения водными ресурсами уменьшилось почти в 3,5 раза, и, согласно данным ООН к 2025 году может достичь критического показателя — 1,7 кубических метра на человека в год.

В настоящее время Казахстан — одна из стран Евразийского континента, которая в значительной степени испытывает дефицит водных ресурсов, а около половины поверхностных вод республики (44,9 куб. км) поступает с территории сопредельных государств, в основном из РФ и КНР.

По представленным данным в последнее время наблюдается тенденция сокращения естественных ресурсов поверхностных вод Казахстана, например, учеными установлено, что обмеление реки Иртыш в ближайшие 10–15 лет лишь усугубится, так как в настоящее время соседи строят дамбы и плотины.

На сегодняшний день показатели обеспеченности питьевой водой и, в целом, характеристики систем водоснабжения в Казахстане остаются по-прежнему неудовлетворительными, а к 2050 году Казахстан возникнет дефицит воды.

В Казахстане на 2002—2010 годы была принята программа «Питьевая вода», и пока действовала программа, чистой водой были обеспечены всего 3417 отдаленных сел и аулов вместо 7232, поэтому в итоге госпрограмму свернули и, учтя все предыдущие недостатки, дали старт другой — «Ак булак», рассчитанной на 2011—2020 годы, и ориентированной на использовании потенциала подземных вод [1].

Именно с помощью разработки новых источников воды планируется обеспечить чистой питьевой водой ряд населенных пунктов. Казахстан имеет большие перспективы по трехкратному приросту запасов подземных вод. Уже исследовано 1552 месторождения. Утвержденные запасы подземных вод, которые состоят на балансе государства, — 42,2 миллиона кубометров в сутки. Они формируются за счет восполняемых естественных ресурсов (атмосферных осадков, речных стоков и так далее) [1].

Как источники водоснабжения подземные воды имеют большее распространение. Как правило, они лучше поверхностных вод по качеству и имеют незначительные колебания температуры.

Так как поверхностные (в реках, каналах и водоемах) подвержены всевозможным загрязнениям; количество и качество воды, температура непостоянны и зависят от времени года. Такая вода нуждается в очистке, что значительно удорожает ее стоимость. Например, стоимость 1 м³ воды поверхностного источника с очисткой ее на медленных фильтрах примерно в 4 раза выше стоимости 1 м³ воды из подземного источника.

Поэтому обеспечение сельских населенных пунктов и объектов сельскохозяйственного производства качественной питьевой водой имеет большое значение через обеспечение бесперебойного водоснабжения из артезианских скважин на основе погружных электродвигателей.

Механизация и автоматизация процесса подъема воды позволяет резко снизить затраты труда и уменьшить себестоимость продукции.

Автоматизация на объектах, обеспечивающих водоснабжение и канализацию, необходима для повышения эффективности технологического процесса добычи и транспортировки воды, снижения затрат электроэнергии, повышения качества и надежности подачи воды потребителям.

Современные системы водоснабжения и канализации — это совокупность сложных сооружений, механизмов и аппаратов, все части которой должны точно и без сбоев работать совместно. К ним относятся водоприемные сооружения, станции очистки воды, сети водоснабжения и канализации с обслуживающими их устройствами, насосные станции.

В качестве водоподъемного оборудования наибольшее распространение получили центробежные погружные электронасосные агрегаты (ПЭА) разных типоразмеров [2].

ПЭА обладают целым рядом преимуществ по сравнению с поверхностными насосными агрегатами, предназначенными для водоподъема из буровых скважин. Это, прежде всего, зна-

чительно более высокий КПД (50–55%) , малая металлоемкость, отказ от строительства специальных насосных помещений [3].

Подъем и опускание ПЭА — трудоемкая и продолжительная операция, поэтому профилактические работы в процессе эксплуатации не производятся, чем объясняется их высокая аварийность.

Необходимо отметить, что вопросы, связанные с повышением эксплуатационной надежности ПЭА имеют большое значение, и поэтому необходимо уделять внимание развитию методов и средств, которые увеличат их срок службы.

Одним из таких методов, позволяющих снизить аварийность асинхронных электроприводов является применение устройств плавного пуска, которые формируют переходный процесс с уменьшением пускового тока, переходного момента и увеличением времени пуска.

В настоящее время серийно выпускается большое количество ПЭА, однако методики их настройки на конкретных электроприводах проработаны недостаточно. Неправильное задание параметров закона управления пуском, реализованное в ПЭА (начальное напряжение и динамика его увеличения) в ряде случаев может свести на нет ожидаемый эффект или даже ухудшить переходный процесс, сокращая срок службы электропривода.

Ряд электроприводов, например ПЭА, отличаются неопределенностью механической характеристики рабочей машины. При этом непосредственный контроль процесса пуска затруднен, поэтому перспективным направлением совершенствования таких электроприводов является разработка софтстартеров, обладающих функцией самонастройки[2].

Асинхронный электропривод на основе погружных электродвигателей в сельскохозяйственном производстве при выходе его из строя электронасоса приводит к значительным финансовым потерям вследствие технологического ущерба от перерывов в водоснабжении и из-за необходимости работ по подъему и опусканию насоса.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что надёжность сельскохозяйственного водоснабжения можно существенно повысить за счёт обеспечения работоспособности в аварийных режимах работы путём использования специальных устройств защиты и управления погружными электродвигателями, а именно, разработки программного обеспечения ПЭА управления погружными насосами.

Список использованной литературы

1. Бузун С. А. Повышение эффективности работы погружных электронасосных агрегатов софтстартерным пуском: дис. ... канд. техн. наук:/ С. А. Бузун. — Зерноград, 2009. 159 с.
2. Счастливый Г. Г. Погружные асинхронные электродвигатели / Г. Г. Счастливый, В. Г. Семаков, Г. М. Федоренко. — М: Энергоатомиздат, 1983. — 268 с.
3. Целевые показатели к Протоколу по проблемам воды и здоровья Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (электронный ресурс), 2017. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Baseline_study_and_target_indicators_to_the_Protocol_on_Water_and_Health_May_2017_RUS.pdf

Мамедов А. Н.¹, Хаитов К. Х.²

¹Сургутский государственный университет, г. Сургут

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

Автоматизация устройств электрохимической защиты подземных энергетических сооружений

г. Сургут

Аннотация. Выполнено сравнение типов электрохимических защит. Предложены количественный метод определения степени коррозии, автоматизация устройств электрохимической защиты подземных энергетических сооружений.

Ключевые слова: подземные энергетические сооружения, устройства электрохимической защиты.

Mamedov A. N.¹, Khaitov K. Kh.²

¹ Surgut state University, Surgut

² Surgut state University, Surgut

Automation of electrochemical protection devices of underground energy structures

Surgut

Abstract. A comparison of the types of electrochemical shields is carried out. A quantitative method for determining the degree of corrosion, automation of devices for electrochemical protection of underground power plants is proposed.

Keywords: underground power structures, electrochemical protection devices.

Коррозия металлов — это самопроизвольный процесс разрушения металлических элементов, который происходит вследствие электрохимического или химического взаимодействия металлических элементов с внешней средой.

Коррозионный или гетерогенный (неоднородный) процесс, который, особенно протекает на границе раздела металл (иначе агрессивная среда), имеет довольно сложный механизм. При коррозионном процессе атомы металла теряют валентные электроны, атомы переходят через границу раздела во внешнюю среду, взаимодействуют с компонентами внешней среды и образуют так называемую продукты коррозии, то есть окисляются. В большинстве случаев коррозия по поверхности металлов происходит неравномерно, могут иметься участки, на которых возникают локальные поражения. В некоторых случаях в процессе коррозии металла, образуется поверхностные пленки, которые дают металлу коррозионную стойкость. Но иногда могут возникать такие продукты коррозии, которые имеют слабое сцепление с металлом они называются рыхлые продукты коррозии. Если разрушать такие пленки, то это вызывает интенсивную коррозию обнажающего металла. Когда металл подвергается коррозии происходит потеря его массы, снижение механической прочности, пластичности и других свойств.

Процессы коррозии необратимы и приводят к снижению эксплуатационного ресурса промышленного оборудования, трубопроводов, заземляющих устройств электроустановок, металлоконструкций электросетевых конструкций, что приводит к дополнительным внеплановым материальным затратам.

Поэтому их необходимо обнаруживать на ранних стадиях, давать количественную оценку коррозионного повреждения, прогнозировать опасность развития в случае непринятия мер по усилению коррозионной защиты.

Подавляющее большинство коррозионных разрушений подземных энергетических сооружений вызвано электрохимической коррозией.

При электрохимической коррозии протекают два процесса — катодный и анодный, которые локализуются на различных участках металлической поверхности. При этом катодные и анодные участки пространственно разделены, что приводит к электрохимической гетерогенности (неоднородности) поверхности металлов.

Существующие методы оценки коррозионного состояния подземных энергетических сооружений дают качественную оценку опасности коррозии материала и не учитывают реальных размеров конструкций и их взаимные влияния.

Количественную оценку коррозии можно получить, выполнив расчет коррозионных токов и потенциалов защищаемой конструкции.

Физической основой метода расчета токов и потенциалов коррозии является теория многоэлектродных электрохимических систем. В основе математической модели лежит система нелинейных уравнений, связывающих значения электродных электрохимических потенциалов и коррозионных (стекающих и втекающих) токов линейных коррозионных систем. Метод позволяет определять режимы работы электродов («анодный» или «катодный») через коррозионные токи и соотношение их поверхностей.

Установление причин коррозионного разрушения и получение количественной оценки, позволяет правильно выбрать метод защиты.

К активным средствам защиты трубопроводов от наружной коррозии относятся электрические методы: протекторная (рис. 1) и катодная защита (рис. 2).

Рассмотрим принцип работы электрохимической защиты.

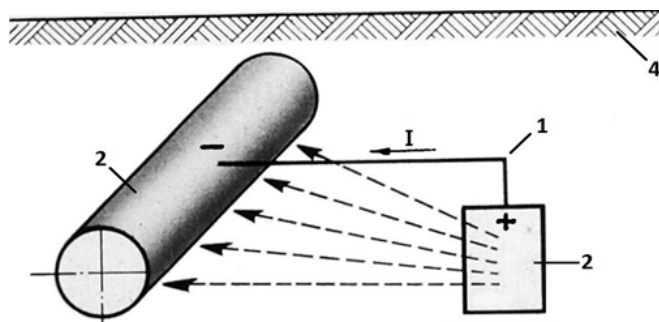


Рис. 1. Схема протекторной защиты:

1 — соединительный провод; 2 — элемент подземного энергетического сооружения; 3 — протектор (анод); 4 — электролит (почва).

При протекторной защите необходимый для защиты ток получается за счёт работы гальванического элемента, в котором роль катода играет металл защищаемого подземного энергетического сооружения, а анодом (протектором) служит более электроотрицательный металл, чем защищаемый. Электролитом служит почва, окружающая трубопровод и протектор. Так как материал протектора является более электроотрицательным, то под действием разности потенциалов происходит разрушение протектора.

Катодная защита заключается в поляризации защищаемого подземного энергетического сооружения и придания ему отрицательного потенциала относительно окружающей среды при помощи источника постоянного тока. Отрицательный полюс источника тока присоединя-

ется к конструкции, а положительный — к анодному заземлению. Электролитом также служит почва, окружающая подземное энергетическое сооружение и анодное заземление. При этом постепенно разрушается анодное заземление, защищая конструкцию.

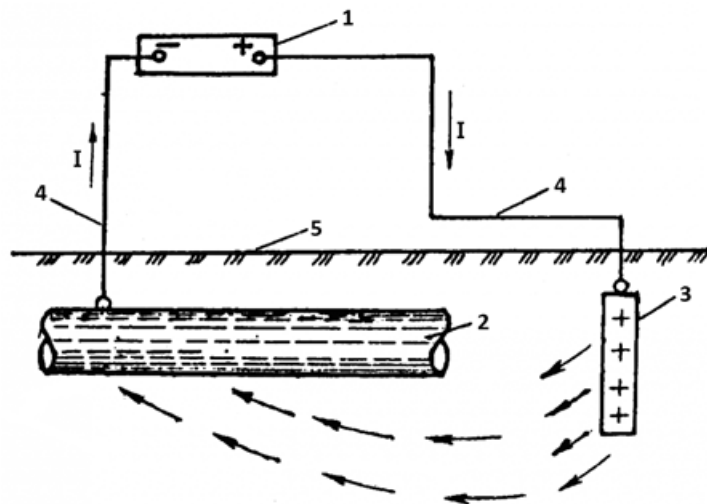


Рис. 2. Схема катодной защиты:

1 — катодная станция (источник постоянного тока); 2 — элемент подземного энергетического сооружения; 3 — анодное заземление; 4 — соединительные провода; 5 — электролит (почва).

В качестве достоинств электрохимических защит можно отметить:

– протекторная:

- ввиду небольшой разницы потенциалов обычно не возникает проблем по технике безопасности и не создает помех для окружающих объектов;
- не требует больших технических затрат;
- для защиты от грунтовой коррозии протекторы могут быть размещены вплотную к защищаемому объекту в той же траншее, так что практически не требуется дополнительных земляных работ.

– катодная:

- материал анода выбирается для конкретной почвы из расчета эксплуатации без замены минимум 15 лет;
- возможность защиты протяженных металлических поверхностей, имеющих поврежденную изоляцию и вообще лишенных её в средах с различным удельным сопротивлением;
- возможность регулирования защитного тока в процессе эксплуатации;
- возможность автоматизации процесса защиты.

Не лишены рассматриваемые установки и недостатков:

– протекторная:

- низкая ЭДС, что ограничивает применение протекторов в плохопроводящих средах;
- снижение эффективности при значительном удельном сопротивлении грунта, окружающего протектор;
- средний срок службы протектора — 5–10 лет.

– катодная:

- высокая начальная стоимость работ;
- необходимость систематического контроля и профилактического ремонта;
- возможное вредное влияние на соседние незащищенные металлические конструкции.

Особую роль в своевременном обнаружении коррозионных повреждений играет внедрение системы автоматизации и дистанционного контроля электрохимической защиты, которая позволяет:

- оперативно информировать руководство соответствующие службы о состоянии оборудования и средств противокоррозионной защиты и статусе исполнения текущих планов;
- повышать обоснованность и качество оперативно принимаемых решений в области управления средствами противокоррозионной защиты, а также повышать производительность труда эксплуатационного персонала служб защиты от коррозии;
- поддерживать необходимые параметры для эксплуатации подземного энергетического сооружения из единого центрального рабочего места;
- системно улучшать коррозионное состояние объектов и повышать стабильность противокоррозионной защиты;
- рационально использовать материально-технические и трудовые ресурсы службы электрохимзащиты;
- сокращать время проведения ремонтных работ и восстановления необходимых защитных режимов на подземных энергетических сооружениях;
- более точно и обоснованно делать выводы о причинах возникновения коррозионных дефектов и давать долгосрочные прогнозы эксплуатации;
- перейти от затратного метода технического обслуживания средств электрохимической защиты по план-графику к оперативному ремонту по техническому состоянию, которое позволяет экономить значительные материальные и технические ресурсы.

Таким образом, внедрение системы автоматизации и дистанционного контроля объектов системы электрохимической защиты позволяют существенно снизить стоимость эксплуатации средств защиты. С внедрением таких систем, становится возможным определение общей тенденции развития коррозионного состояния объекта и соответствующая оптимизация объемов ремонтных и диагностических работ, а это в свою очередь повышает общую надежность объекта с точки зрения коррозионного состояния. Эффект состоит в снижении потребления системой электрохимической защиты электроэнергии в среднем на 25 — 30% за счет повышения КПД катодных преобразователей в результате их модернизации и оптимизации защитных режимов.

Список использованной литературы

1. Анализ методов и средств оценки состояния металлических электросетевых конструкций / Ю. В. Демин, Г. В. Иванов, Б. В. Палагушкин [и др.]. — Текст: непосредственный // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2015. — №2. — С. 102–106.
 2. Процессы коррозии железобетонных конструкций / Ю. В. Демин, Г. В. Иванов, Д. С. Скотников [и др.]. — Текст : непосредственный // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2013. — №1. — С. 102–106.
 3. Методика расчета катодной защиты заземляющих устройств электроустановок / Ю. В. Демин, Г. В. Иванов, А. С. Будкин [и др.]. — Текст: непосредственный // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2015. — №2. — С. 114–117.
-

Пономарёва О. Л.

Сургутский государственный университет

Повышение напряжения до 20 кВ для распределительных электрических сетей России

г. Сургут

Аннотация. Рассмотрены вопросы использования сетей 20 кВ для распределительных электрических сетей России. Основными преимуществами являются: увеличение пропускной способности линии электропередач, потери электроэнергии, снижение токов короткого замыкания и пр.

Ключевые слова: воздушные и кабельные линии электропередачи, потери электрической энергии, напряжение.

Ponomareva O. L.

Surgut State University

Voltage up to 20 kV for Russian distribution electric networks

Surgut

Abstract. The issues of using 20 kV networks for distribution electric networks of Russia are considered. The main advantages are: an increase in the capacity of the power line, loss of electricity, reduction of short circuit currents, etc.

Keywords: overhead and cable power lines, loss of electrical energy, voltage.

Основную область в электроэнергетике представляет собой отрасль, которая занимается повышением эффективности распределительных и питающих сетей.

На сегодняшний день электrorаспределительные сети находятся в тяжелом состоянии. Это объясняется высоким износом энергооборудования, большими потерями в линиях электропередач, а также низким уровнем автоматизации. Потери в сетях составляют до 16%. Уровень автоматизации не больше 16% — телеуправление, до 38% — телесигнализация. Целью современной энергетики является создание на базе инновационных технологий надежных, качественных и экономически выгодных сетей — интеллектуальных, активно-адаптивных.

С каждым днем увеличиваются нагрузки на существующие воздушные и кабельные линии электропередачи, в результате чего оборудование начинает работать на износ. Для обеспечения необходимых запросов потребителей производят модернизацию существующего оборудования, а именно: увеличивают мощность генерации, параллельно прокладываются новые линии. Данные виды работ, лишь временно решают имеющиеся проблемы. Предприятия разного рода, а также городские нужды остаются не обеспечены. Для повышения эффективности сетей электроснабжения производят замену сетей с напряжением 6–10 кВ, которые используются повсеместно на территории России, на сети с напряжением 20 кВ, что существенно сокращает потери передачи электроэнергии. Существуют нормативные документы, которые рекомендуют переход в приоритетном порядке с напряжения 6–10 кВ на напряжение 20 кВ [1–3]. Реализация данного подхода является важнейшей и необходимой для энергетики в целом.

Зарубежные коллеги из Европы предоставляют информацию о положительном опыте использования сетей повышенного напряжения, а именно 20 кВ. В России опытными городами для тестирования сетей данного типа являются Москва и Екатеринбург.

Сети с напряжением 20 кВ принадлежат тому же классу, что и сети 6–10 кВ, что облегчает составление схем и установку оборудования в имеющиеся ранее конструкции. Снижаются требования к аппаратам защиты вследствие снижения токов короткого замыкания.

Основными достижениями сетей 20 кВ является уменьшение потерь электроэнергии, увеличение значения передаваемой мощности, увеличение дальности передачи мощности. В сравнительной табл. 1 представлено отношение потерь электрической энергии к количеству поступившей электрической энергии в сеть. В соответствии с приведенными данными экономия электроэнергии может составлять до 15–20%.

Таблица 1.

Приведённые потери электрической энергии

Сечение, мм ²	Отношение потерь электрической энергии к количеству поступившей электрической энергии в сеть, %								
	6кВ			10кВ			20кВ		
	Воздушная линия (АС)	Кабельная линия (АПвПБ)	Кабельная линия (СБл)	Воздушная линия (АС)	Кабельная линия (АПвПБ)	Кабельная линия (СБл)	Воздушная линия (АС)	Кабельная линия (АПвПБ)	Кабельная линия (СБл)
25	5,88	6,41	3,79	2,12	2,31	1,37	0,59	0,58	0,347
35	3,98	4,58	2,72	1,47	1,65	0,98	0,36	0,41	0,24
50	3,05	3,21	1,89	1,09	1,15	0,68	0,27	0,286	0,17
70	2,16	2,29	1,31	0,78	0,87	0,47	0,19	0,21	0,12
95	1,54	1,69	1,00	0,56	0,61	0,36	0,14	0,15	0,09
120	1,25	1,34	0,79	0,45	0,48	0,28	0,11	0,12	0,07
150	1,05	1,07	0,72	0,38	0,38	0,26	0,09	0,09	0,06
185	0,79	0,87	0,53	0,3	0,33	0,2	0,06	0,07	0,04
240	0,61	0,61	0,4	0,21	0,24	0,11	0,04	0,06	0,02

Ввод в эксплуатацию сетей 20 кВ рационально осуществлять в городах с высокой мощностью нагрузки на сеть [4], при модернизации подстанции и осуществлении проектирования новых сетей электроснабжения. Переход на более высокий класс напряжения может осуществить устранение дефицита мощности, увеличивает надежность, маневренность, сокращает потери на длительное время.

Список использованной литературы

1. Сосина Е. Н., Лоскутова А. Б., Лоскутова А. А «Топология городских распределительных интеллектуальных электрических сетей 20 кВ.
 2. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом хозяйстве комплексе. Утверждено Советом директоров ОАО «Россети». Протокол №138 от 23.10.2013г.
 3. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства РФ №511-р от 03.11.2013.
 4. Положение о единой технической политике ОАО «Холдинг МРСК» в распределительном сетевом комплексе. Решение Совета директоров ОАО «Холдинг МРСК». Протокол №64 от 07.10.2011.
-

Закиров Д. З., Евдокимов А. А., Ермакова Е. Н.

Сургутский государственный университет

Электрический генератор малой мощности для системы энергоснабжения удаленных потребителей

г. Сургут

Аннотация: В статье приведен анализ потребителей Ханты-Мансийского автономного округа и предложен вариант обеспечения электропитанием с помощью альтернативного источника энергии совместно с дизельными генераторами для снижения себестоимости электроэнергии и уменьшения выбросов в атмосферу. Рассматривается конструкция предлагаемого электрического генератора малой мощности, для электроснабжения потребителей удаленных районов, а также определены оптимальные конструктивные параметры факторов влияющих на функцию оптимизации электрического генератора.

Ключевые слова: ветровая установка, энергоснабжение удаленных потребителей, тихоходный электрический генератор, оптимальные параметры.

Zakirov D. Z., Evdokimov A. A., Ermakova E. N.

Surgut State University

Low power electric generator for remote consumers power supply system

Surgut

Abstract: The article presents an analysis of consumers of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug and offers the option of providing power using an alternative energy source together with diesel generators to reduce the cost of electricity and reduce emissions into the atmosphere. The design of the proposed low-power electric generator for power supply to consumers in remote areas is considered, and the optimal design parameters of factors affecting the optimization function of the electric generator are determined.

Keywords: wind installation, power supply to remote consumers, low-speed electric generator, optimal parameters.

Развитие альтернативной, экологически чистой, природосохраняющей энергетики становится одной из главных тем международных саммитов и форумов. В России государственная политика в сфере использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) предусматривает рост доли таких источников в энергобалансе страны с 1,3 % в 2015 г. до 6,5 % к 2025 г. [4].

Применение ВИЭ для энергоснабжения потребителей в удаленных районах, малонаселенной местности, объектах малоэтажного строительства, в заповедных районах, лесных пасек, рыболовных артелей и охотничьих угодьях, позволяет сохранить экосистему, снизить вредные выбросы, получить энергию там, где отсутствуют традиционные источники или нет возможности доставки энергоресурсов из других регионов [4, 5].

На территории автономного округа ХМАО-Югры располагаются населенные пункты, работающие изолированно от единой энергетической системы России (далее — ЕЭС). Максимумы нагрузок в энергорайонах населенных пунктов в среднем составляет около 0,6 МВт [7].

В Ханты-Мансийском автономном округе-Югра, большие площади занимают болота, озера и маленькиереки, данные особенности приводят к тому, что присоединение части поселений к Единой энергетической системы России может оказаться затратным и сложным в исполнении. Для обеспечения энергией маломощных потребителей используются автономные системы электроснабжения (дизельные электростанции). На нужды электро- и теплоснабжения ежегодно расходуется десятки тонн различного топлива. К тому же доставка в некоторые населенные пункты затруднительна и может производиться только в короткие сроки воздушными или речными путями. Это увеличивает себестоимость получаемой электрической энергией и сопутствующее интенсивный выброс вредных веществ в окружающую среду. Предлагаемый электрический генератор предполагается подключить в работу совместно с дизельными генераторами, для снижения нагрузки [3, 10,11].

В округе находиться 34 поселения, электроснабжения которых осуществляется за счет дизельных электростанций. К примеру, село Няксимволь удаленность от ближайшей подстанции Единой энергетической системы — около 80 км. Большая часть данного расстояния проходят через местность со сложным рельефом. Доставка топлива для обеспечения электроэнергии возможна только летом в период речной навигации. Данные о фактическом потреблении электрической энергии и мощности за 2014–2019 годы, с. Няксимволь представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Данные о фактическом потреблении электрической энергии и мощности

Показатель	ед.изм	2014 г	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	2019 г
Потребленная электроэнергия на собственные нужды	кВт·ч	45 195	36 285	39 975	31 289	20 840	19 205
Мощность в период максимальных нагрузок	кВт	374	372	470	498	425	487

На рис. 1 представлены средние годовые графики потребления электроэнергии села Няксимволь за 2019 год. На графике можем наблюдать, что пик потребления приходится на зимний период в связи с низкой температурой и коротким световым днем, пиковая потребляемая мощность составляет — 488 кВт. Минимум наблюдается в летний период, составляет 345 кВт. В среднем в поселке годовой показатель — 429 кВт.

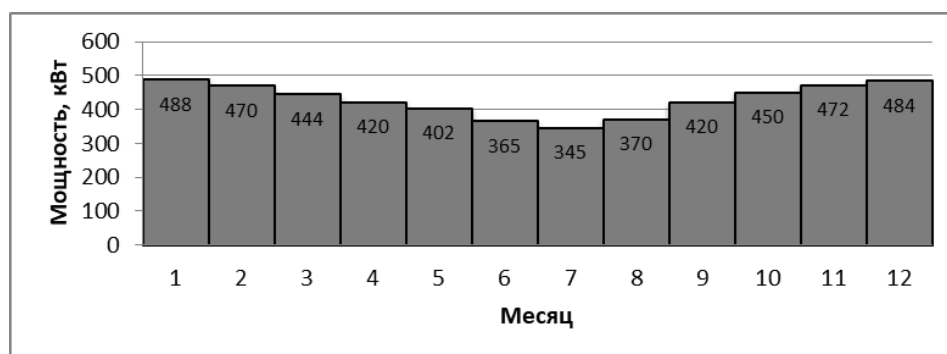


Рис. 1. Средне-годовой график потребления электроэнергии с. Няксимволь за 2019 г.

Ханты-Мансийский автономный округ характеризуется малыми значениями скорости ветра 1,5...5,5 м/с[2] и разнообразной направленностью ветровых потоков и относится к 1–3 ветровому району[8]. Характер ветровых районов отражен в табл. 2. Наибольшая средняя ско-

рость ветра в регионе приходится на осеннее зимний период, период наибольшей потребности в электроэнергии и тепле.

Таблица 2.

Таблица определения ветровой нагрузки местности

Ветровой район	I	II	III
Ветровая нагрузка W_0 (кгс/м ²)	23	30	38
Давление, Па	230	300	380
Максимальная скорость ветра, м/с	19,5	22,3	25,2



Рис. 2. Карта ветровых районов Ханты-Мансийского автономного округа

На кафедре радиотехники и электроэнергетики политехнического института, разрабатывается электрический генератор малой мощности [4, 12, 13]. Разрабатываемый электрический генератор, используется в преобразовании механической энергии ветра в электрическую энергию в условиях слабых ветров, представляет собой синхронную машину с постоянными магнитами, является тихоходным и обладает низкой скоростью вращения, надежностью и простотой изготовления конструкции.

Внешний вид генератора приведен на рис. 3. Электрический генератор на постоянных магнитах 1 состоит из статора — 2 и ротора 3 выполненных из композитного материала на металлическом валу — 5. Магниты с чередующимися полюсами установлены на роторе в пазах. Статорная обмотка — 4 расположена на статоре и выполнена в виде независимых секций.

У электрического генератора (рис. 3) на постоянных магнитах 1, содержащего статор 2 и ротор 3, а также статорную обмотку 4, ротор 3 выполнен из композитного материала сечением П-образной формы, установленном на металлическом валу 5, магниты 1 с чередующимися полюсами установлены на роторе 3 в пазах, статорная обмотка 4 размещена на композитном статоре 2 и выполнена в виде независимых секций.

Электрический генератор на постоянных магнитах работает следующим образом.

При вращении ротора 3 генератора силовые линии полей постоянных магнитов 1 пересекают витки статорной обмотки 4, расположенные на неподвижном статоре 2. В них возникает ЭДС электромагнитной индукции, величина которой зависит от скорости вращения ротора 3.

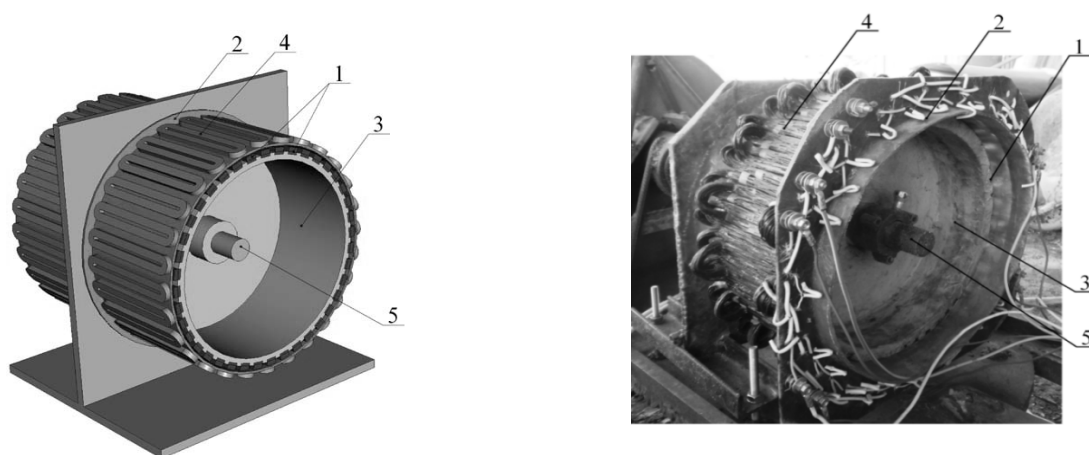


Рис. 3. Конструкция электрического генератора с ротором на постоянных магнитах: 1 — постоянные магниты, 2 — статор, 3 — ротор, 4 — статорная обмотка, 5 — металлический вал

На основании анализа научно-технической литературы [5, 9, 10] и информации, которая была получена в ходе теоретических исследований, во время проведения предварительных опытов на экспериментально-лабораторной установке, был сделан вывод, что ЭДС магнитного поля является одним из параметров мощности электрического генератора, наряду с током. Поэтому функцией оптимизации является мощность электрического генератора. В качестве варьируемых при определении оптимальных параметров электрического генератора выбраны три фактора: частота вращения ротора (x_1), длина сегмента обмотки статора (x_2), длина магнитной системы (x_3).

В качестве функции, описывающей влияние исследуемых параметров, принимаем полином второго порядка. Для реализации эксперимента принят центральный композиционный ротатабельный униформ — план второго порядка [1, 6]. Повторность опытов трехкратная.

Данный униформ-план обеспечивает простоту в вычислениях параметров полиномиальной модели и проведение статистических анализов эксперимента.

Для построения поверхности отклика расчеты производились с помощью ЭВМ в программе STATISTICA.

На рис. 4 представлены линии уровня $B(x_1, x_2)$, $B(x_1, x_3)$, $B(x_2, x_3)$.

Анализ зависимости (рис. 4а) изменения мощности от частоты вращения ротора и длины статорной обмотки при ($x_3 = 0$) показывают, что при повышении частоты вращения ротора повышается и мощность: при $\omega = 10$ об/мин, $N = 100$ кВт, при $\omega = 20$ об/мин, $N = 200$ кВт и длины статорной обмотки $l = 120$ мм, $N = 40$ кВт, при $l = 200$ мм, $N = 55$ кВт.

Анализ зависимости (рис. 4б) изменения мощности от частоты вращения ротора и длины магнитной системы при ($x_2 = 0$) показывают, что при повышении частоты вращения ротора повышается и мощность: при $\omega = 10$ об/мин, $N = 65$ кВт, при $\omega = 20$ об/мин, $N = 170$ кВт и длины магнитной системы $l_1 = 100$ мм, $N = 30$ кВт, при $l_1 = 200$ мм, $N = 60$ кВт.

Анализ зависимости (рис. 4в) изменения мощности от длины статорной обмотки и длины магнитной системы при ($x_1 = 0$) показывают, что при увеличении длины статорной обмотки повышается и мощность: при $l = 100$ мм, $N = 100$ кВт, при $l = 140$ мм, $N = 205$ кВт и длины магнитной системы $l_1 = 100$ мм, $N = 65$ кВт, при $l_1 = 200$ мм, $N = 150$ кВт.

В этих условиях можно получить максимальное значение мощности электрического генератора.

В результате выполнения работы решается актуальная научно-техническая задача, состоящая в обосновании и разработке электротехнического устройства, обеспечивающего энерго-

снабжение потребителей, за счет тихоходного электрического генератора. Определены оптимальные конструктивные параметры электрического генератора, установленные и обоснованные в зависимости от факторов, определяющих ЭДС магнитного поля и мощности установки. Оптимальным сочетанием факторов системы являются: частота вращения ротора $\omega = 50$ об/мин, длина магнитной системы $l_1 = 210$ мм, длина статорной обмотки $l = 230$ мм.

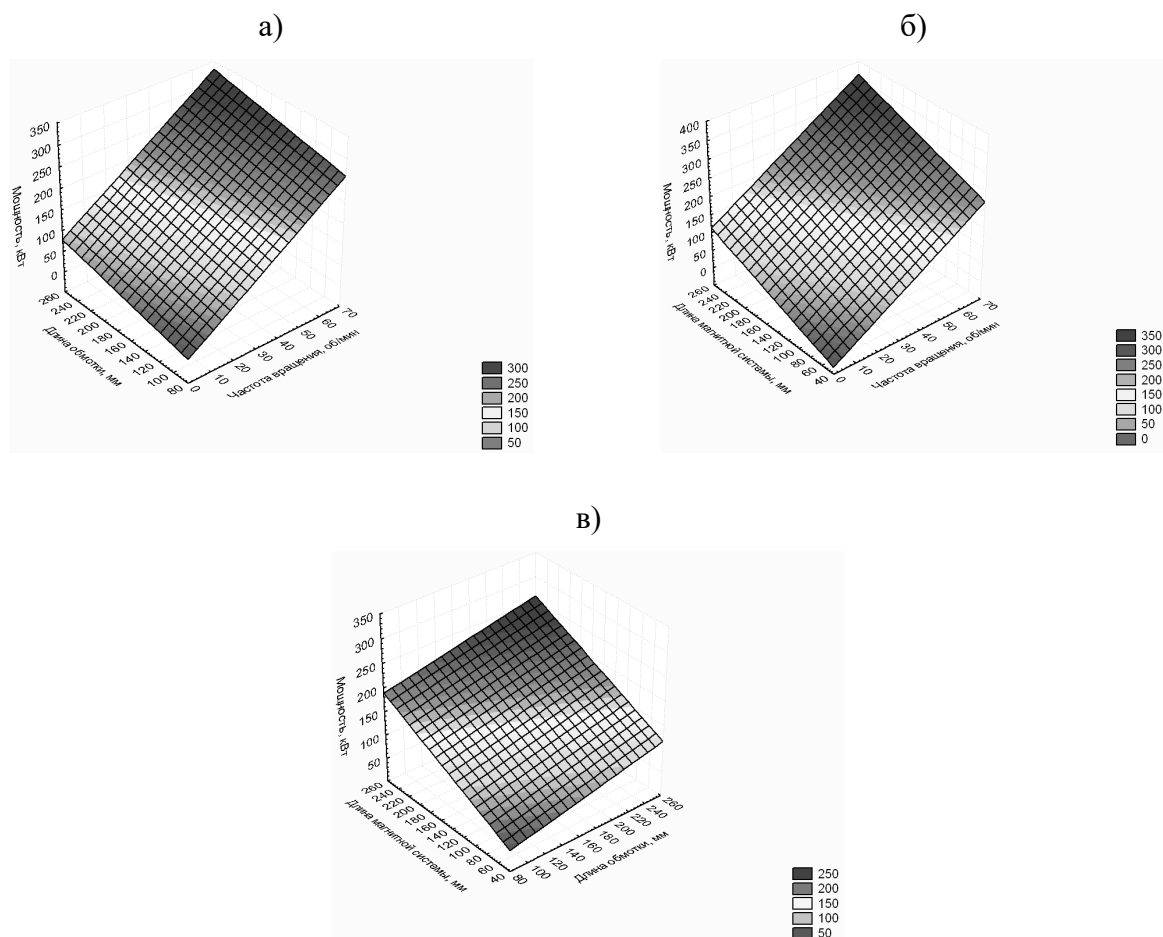


Рис. 4. Поверхности откликов, характеризующие значение мощности в зависимости: а — от частоты вращения ротора и длины статорной обмотки; б — от частоты вращения ротора и длины магнитной системы; в — от длины статорной обмотки и длины магнитной системы.

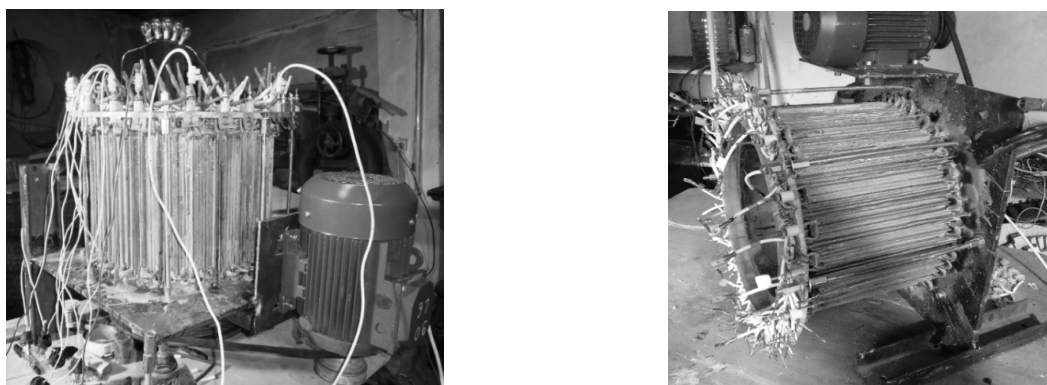


Рис. 5. Лабораторно-экспериментальная модель электрического генератора на 8 кВт

Применение электрического генератора в составе ветросиловых установок (ВСУ) позволяет повысить эффективность электроснабжения потребителей. Предлагаемый электрический ветровой генератор малой мощности поможет снизить нагрузку на дизельные установки, что позволит увеличить срок их службы и привести к экономии расходуемого топлива, что повлечет за собой снижение себестоимости энергии. Ветровые генераторы не расходуют ресурсы, кроме затрат на периодическое техобслуживание.

Внедрение электрического генератора малой мощности в состав энергоснабжения потребителей в удаленных районах позволит:

- снизить затраты на транспортировку
- уменьшения себестоимости электрической энергии
- уменьшение количества выбросов углекислого газа в атмосферу
- уменьшение занимаемой площади, что позволит окружающее пространство использовать для хозяйственных нужд.

Список использованной литературы

1. Адлер. Ю. П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. — М.: Металлургия, 1969. — 253 с.
2. Атласы ветрового и солнечного климатов России. — СПб.: Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова, 1997. — 173 с.
3. Вольдек А. И., Попов В. В.: Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов, 2010. — 350 с.
4. Евдокимов А. А., Черыков В. И., Саттаров Р. Р. [и др.] Расчет магнитной системы магнитоэлектрических генераторов мощностью до 10 кВа для ветроэнергетических установок // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2018. — № 1. — С. 27–33.
5. Новожилов. Н. А. Выбор параметров ветроэнергетической установки / Н. А. Новожилов, С. В. Соломин // Электрические станции. — 1994. № 8. С. 46–48.
6. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. — М.: Машиностроение; София; Техника, 1980. — 304 с.
7. Схема и программа развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2024 года: ввод в действие с 1 января 2020 года — Ханты-Мансийск
8. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85* (с Изменениями N 1, 2)
9. Таранов. М. А. Оптимизация параметров ветроэнергетической установки для фермерских хозяйств / М. А. Таранов, С. М. Воронин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2000. — № 5. — С. 37–39.
10. Фатеев. Е. М. Ветродвигатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев. — М.: Огиз-Сельхозгиз, 1948. — 544 с
11. Шерьязов. С. К. Выбор ветроэнергетической установки / С. К Шерьязов, М. В. Шелубаев // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. — 2010. — № 2. — С. 7.
12. Пат. 2532250 Российская Федерация, МПК H02K 19/22 Электрический генератор на постоянных магнитах // Игнатьев. С. Г., Евдокимов А. А. 2013124190/07; заяв. 27.05.2013; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31, 7с.: ил.
13. Пат. 135460 Российская Федерация, МПК H02K 19/22, H02K 1/28, H02K 1/16.Электрический генератор // Игнатьев. С. Г., Евдокимов А. А 2013125830/07; заяв. 04.06.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. 34. 7 с.: ил.

Асуева Х. Л.

БУ ВО «Сургутский Государственный университет»

Повышение пропускной способности линий электропередачи с помощью установок продольной компенсации

г. Сургут

Аннотация. В статье дано определение понятию пропускной способности и представлены способы ее повышения. Произведен анализ работы устройства продольной компенсации и представлены рекомендуемые места его установки.

Ключевые слова: пропускная способность линий электропередачи, устройства продольной емкостной компенсации, FACTS.

Asueva Kh. L.

Surgut State University

Increasing the capacity of electric transmission lines by using the longitudinal compensation devices

Surgut

Abstract. The article defines the concept of bandwidth and presents ways to increase it. The analysis of the operation of the longitudinal compensation device is made and the recommended installation locations are presented.

Keywords: bandwidth of power lines, devices of longitudinal capacitive compensation, FACTS.

Из-за географических особенностей электрических сетей России, а именно их большой широтной протяженности, эффективность функционирования линий электропередачи сверхвысокого и ультравысокого напряжения является одной из приоритетных задач электроэнергетики.

Линии сверхвысокого напряжения Единой национальной электрической сети (ЕНЭС) в Единой энергосистеме России выполняют функции межсистемных связей, назначением которых является обеспечение надежного и широкого канала передачи электроэнергии между отдельными энергосистемами. Такие электропередачи в нормальных режимах используются для более рациональной загрузки генерирующих мощностей путем использования разновременности наступления максимумов в различных регионах, и, следовательно, организации перетоков мощности между ними. В аварийных ситуациях задачи электропередач сверхвысокого напряжения — компенсация небалансов мощности, возникших вследствие аварий в энергосистеме.

Вопрос повышения пропускной способности особенно актуален в контексте повышения надежности и устойчивости работы энергообъединений.

Повышение пропускной способности позволит увеличить степень взаимного резервирования энергосистем и, как следствие, повысить надежность энергоснабжения. Такое развитие приведет к повышению экономических характеристик энергосистемы.

Согласно [1] пропускная способность линии электропередачи — технологически максимально допустимое значение мощности, которая может быть передана с учетом условий эксплуатации и параметров надежности функционирования электроэнергетических систем.

К техническим ограничениям, препятствующим передаче относятся:

- ограничение плотности тока, определяющее на этапе проектирования соответствующим выбором марки и сечения проводов;
- ограничение колебаний напряжения, определяющее необходимые параметры линии и состав компенсирующих устройств;
- ограничение устойчивости режима, накладывающее дополнительные требования к параметрам линии и компенсирующим устройствам.

Практика показывает, что для линий напряжением 110 кВ пропускная способность в настоящее время определяется допустимым нагревом проводов, для линий 500–750 кВ — условиями устойчивости, а для линий 220–330 кВ определяющим может быть, как допустимый нагрев, так и устойчивость [2].

В отличие от предела по нагреву, предел по устойчивости зависит главным образом от параметров линии, схемы исследуемого участка, схемы и режима примыкающих к нему сетей, способа перераспределения мощностей между электростанциями и т. д.

Максимальная мощность, передаваемая по идеализированной линии, выражается следующей формулой [4]:

$$P_{\max} = \frac{U_1 U_2}{Z_A \sin \lambda}. \quad (1)$$

Предельная передаваемая мощность в нормальном режиме определяется 20%-ным запасом по отношению к максимально мощности передачи, в связи с тем, что в таком режиме небольшой наброс мощности может нарушить устойчивость режима [3].

$$P_{\text{пред}} = P_{\max} / 1,2 = 0,83 P_{\text{пред}} \quad (2)$$

Классическим методом повышения пропускной способности электропередачи является строительство новых линий, но такой способ связан с большими капиталовложениями, ростом расходом на ее эксплуатацию и увеличением площади отводимой земли. Поэтому стоит искать другие пути повышения пропускной способности, не включающие в себя реконструкцию и строительство новых линий электропередачи.

Ограничение пропускной способности по перепаду напряжения определяется в основном падением напряжения от протекающего тока на индуктивном сопротивлении линии. В связи с этим искусственные методы повышения пропускной способности электропередачи основаны на идее уменьшения перепада напряжения.

Один из таких методов предполагает использование управляемой поперечной компенсации. Компенсирующие устройства, такие как статический компенсатор (СК), статический тиристорный компенсатор (СТК) и статический тиристорный компенсатор на основе IGBT-тириستоров (СТАТКОМ), подключенные в промежуточных точках линии, способны стабилизировать напряжение линии в точке включения, так как способны работать как в режиме потребления, так и генерации реактивной мощности. В таком случае пропускная способность линии будет определяться длиной самого длинного участка.

Другой способ предполагает уменьшение индуктивного сопротивления линии за счет управляемой продольной емкостной компенсации (УПК) индуктивного сопротивления линии.

Включение продольной компенсации может осуществляться как сосредоточенное, так и распределенное. Но на практике второй способ включения не применяется в связи с необходимостью сооружения большого числа пунктов установки УПК, поэтому УПК обычно устанавливаются в количестве 1–3 шт. и имеют значительную мощность.

Принцип действия УПК основан на компенсации индуктивного сопротивления линии при передаче мощности сверх натуральной. По векторной диаграмме напряжений (рис. 1) видно, что установка продольной емкостной компенсации не только уменьшает перепад напряжений вдоль линии, но и одновременно уменьшает угол между векторами напряжения начала и конца линии, что приводит к повышению предела устойчивости электропередачи [2].

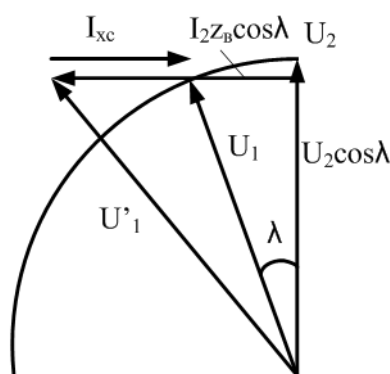


Рис. 1. Векторная диаграмма напряжений на линии с продольной компенсацией

Изменение волновых параметров линии при установке УПК представлено следующими выражениями [2]:

$$X_{\text{э}} = X_L(1 - \eta_c), \quad (3)$$

$$Z_{\text{в.э}} = Z_{\text{в}}\sqrt{1 - \eta_c}, \quad (4)$$

$$V_{\text{э}} = \frac{V}{\sqrt{1 - \eta_c}}, \quad (5)$$

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda\sqrt{1 - \eta_c}, \quad (6)$$

$$P_{\text{нат.э}} = \frac{P_{\text{нат}}}{\sqrt{1 - \eta_c}}; \quad (7)$$

где $\eta_c = \frac{X_C}{X_L} = \frac{1}{\omega^2 L \cdot C_K}$ — степень продольной емкостной компенсации индуктивного

сопротивления, X_L — полное индуктивное сопротивление линии, C_K — емкость продольной компенсации.

Из формул 3 видно, что увеличение емкостной компенсации ведет к уменьшению индуктивного и волнового эквивалентных сопротивлений, увеличению скорости распространения электромагнитной волны (из чего следует уменьшение волновой длины) и, что наиболее важно, увеличению эквивалентной натуральной мощности.

Отношение максимальной передаваемой мощности к мощности натуральной при включении продольной компенсации [3]:

$$\frac{P}{P_{\text{нат}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\eta_c} \cdot \sin(\lambda\sqrt{1-\eta_c})} \cdot \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - \cos^2 \lambda \sqrt{1-\eta_c}} \quad (8)$$

На рис. 2а представлена зависимость увеличения пропускной способности линии от ее длины и степени компенсации УПК. Из графика можно сделать вывод, что увеличение пропускной способности линии тем выше, чем больше степень компенсации и меньше длина линии. Так при 50%-ной компенсации пропускная способность линии длиной 200 км теоретически может увеличиться в 3,37 раза (рис. 2б).

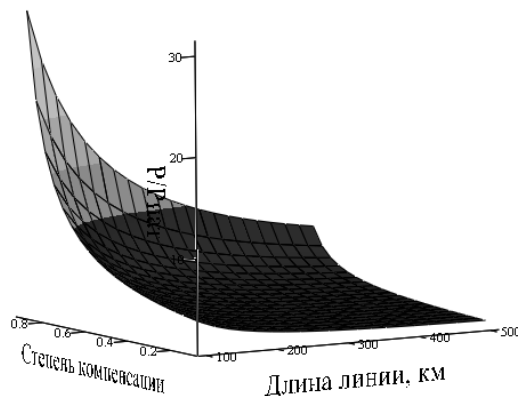


Рис. 2а. Зависимость пропускной способности от степени компенсации и длины линии

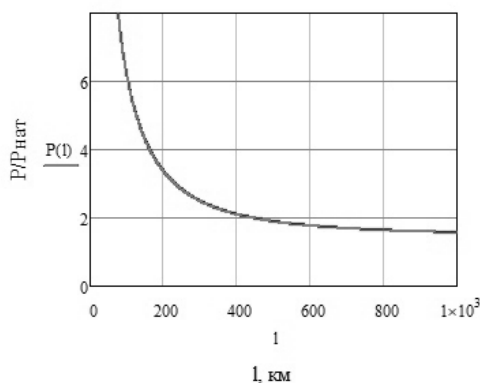


Рис. 2б. График зависимости пропускной способности от длины линии при 50%-ной компенсации

Однако, установка УПК с большим емкостным сопротивлением ограничена перепадом напряжения на зажимах конденсаторной батареи.

Допустимая степень компенсации при одинаковых допустимых падениях напряжения на УПК и на всей линии в целом [3]

$$\eta_c = \frac{\sqrt{\left[\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - 1\right]^2 + \left[\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - 1\right] \cdot \left[\sin^2 \lambda - \frac{\rho J l}{U_2} \left(1 + \frac{\sin 2\lambda}{2\lambda}\right)\right]} + 1 - \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2}{\sin^2 \lambda - \frac{\rho J l}{U_2} \left(1 + \frac{\sin 2\lambda}{2\lambda}\right)} \quad (5)$$

Для уменьшения напряжения на конденсаторе целесообразно рассредоточить УПК, размещая их на двух и более подстанциях. При этом пропускная способность линии будет определяться пропускной способностью самого длинного участка линии.

Необходимая степень продольной емкостной компенсации для передачи заданной мощности при заданном перепаде напряжения выражается следующим образом [2]

$$\eta_c = 1 - \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{P_n}{P} \sqrt{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 - \left(1 + \frac{R}{Z} \cdot \frac{P}{P_{нат}}\right)^2} \quad (6)$$

При этом мощность батарей конденсаторов составит

$$Q_c = \eta_c \cdot P_n \cdot \lambda \cdot \left(\frac{P}{P_{нат}}\right)^2 \quad (7)$$

Конструктивно УПК представляет собой конденсаторы, число и схема соединения которых определяются длительным током фазы и заданным значением емкости C_k . Конденсаторы УПК обычно имеют повышенную перегрузочную способность по напряжению и току [4].

Применение УПК наиболее эффективно в высокодобротных электрических сетях, отношение индуктивного сопротивления к активному которых более 15–20. В электрических сетях России — это сети напряжением 500 кВ и выше.

Рекомендуемые места установки УПК с 50%-ной компенсацией на линиях напряжения 500 кВ ЕНЭС России приведены в табл. 1 [5].

Таблица 1.

Рекомендуемые места установки УПК

Энергосистемы	Название связи	Длина линии, км
ОЭС Средней Волги, Центра	Бугульма- Бекетово	205
	Воткинская ГЭС — Вятка	350
	Вятка — Звезда	290
	Звезда- Костромская	225
ОЭС Западной Сибири, Урала	Пыть Ях — Демьянская	180
	Пыть Ях — Нелымская	140
ОЭС Сибири	Саяно-Шушенская ГЭС — Новокузнецкая	450
	Саяно-Шушенская ГЭС — Кузбасская	450
ОЭС Сибири, Урала	Восход-Ишим	250
	Ишим-Курган	310
ОЭС Востока	Приморская ГРЭС — Чугуевка	296
	Приморская ГРЭС — Дальневосточная	353

Заключение

Несмотря на очевидные достоинства метода продольной компенсации, у него имеются и недостатки. Одним из них является увеличение токов короткого замыкания, вследствие уменьшения общего реактивного сопротивления линии. Также устройство подвержено высоким рискам перенапряжения во время резких изменений нагрузки вследствие задержки срабатывания устройства.

Тем не менее, применение УПК обосновано рядом значительных преимуществ. Установка УПК помимо увеличения передаваемой мощности, улучшает стабильность работы энергосистемы при пиковых нагрузках и сокращает потери активной мощности.

Применение продольной компенсации может привести к сокращению необходимости строительства новых линий и дополнительных генерирующих мощностей в отдаленных регионах.

Список использованной литературы

1. СТО 70238424.29.240.01.003–2012: Единая национальная электрическая сеть. Условия предоставления продукции. Нормы и требования
 2. Александров, Г. Н. Передача электрической энергии / Г. Н. Александров. — 2-е изд. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 412 с.
 3. Александров, Г. Н. Режимы работы воздушных линий электропередачи / Г. Н. Александров. — Санкт-Петербург : Центр подготовки кадров, 2006. — 139 с.
 4. Рыжов, Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов / Ю. П. Рыжов. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. — 488 с.
 5. Фокин В. К. Коммутируемые тиристорными вентилями устройства продольной компенсации (УПК) блочно-модульной конструкции для ВЛ 220–500 кВ // Москва, 2016.
-

Трубицын С. В.

Сургутский государственный университет

Мероприятия по повышению надёжности распределительных электрических сетей

г. Сургут

Аннотация. Данная статья помогает сформировать системные представления о распределительных сетях, их надёжности и способов её повышения. Рассматриваются различные мероприятия по повышению надёжности распределительных сетей, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: Электроэнергия, распределительная сеть, надёжность электроснабжения, умная сеть.

Trubitsyn S. V.

Surgut State University, Surgut

Measures to improve the reliability of distribution electric networks

Surgut

Abstract. This article helps to form a systemic idea of distribution networks, their reliability and ways to improve it. Various measures to improve the reliability of distribution networks, their advantages and disadvantages are considered.

Keywords: Electric power, distribution grid, reliability of power supply, smart grid.

Распределительная электрическая сеть — это низковольтная электрическая сеть, состоящая из источника питания и линии электропередачи и предназначенная для питания электроэнергией электроустановок зданий и других низковольтных электроустановок: [3]. В силу своего функционального назначения, заключающегося в распределении электроэнергии между потребителями, распределительные сети имеют сложную, как правило, древовидную структуру, а частое изменение их конфигурации, разрастание, связанное с увеличением количества потребителей, ведёт к усложнению поисков мероприятий по повышению надёжности энергоснабжения.

Общая протяженность распределительных сетей среднего напряжения составляет сотни тысяч километров. Недостаточное инвестирование в электросетевой комплекс привело к тому что общий износ распределительных сетей составляет 70%. Около половины сетей выработали свой нормативный срок, 7% сетей два нормативных срока [6]. Физическое и технологическое устаревание сетей удаётся смягчить лишь благодаря работникам по техническому обслуживанию и ремонту линий электропередач и запасу прочности, который был заложен при проектировании данных сетей. В России с 2010 наблюдается стабильный рост производства электроэнергии (исключение — 2013 год, снижение на 2,27%) и за 2019 год составляет 1 096 200 млн. кВт·ч. Вместе с этим выросла и общая мощность электростанций, за десятилетие их мощность выросла на 10,37% достигнув общей мощности на начало 2018 года 246 867,5 тыс. кВт [9].

Таким образом повышение надежности, обеспечение качества и экономичности распределительных сетей на любом иерархическом уровне инфраструктуры электроэнергетики были, есть и останутся наиважнейшими задачами на государственном уровне.

Мероприятия по повышению надёжности:

Секционирование распределительных линий, выполненных по радиальной схеме. Суть метода заключается в разделении линий электропередач (ЛЭП) на несколько участков при помощи коммутационного оборудования. При повреждении отдельных участков линии происходит отключение не всей ЛЭП, а только повреждённого участка, позволяя провести ремонтные работы, не отключая остальных потребителей, включенных между центром основного питания и до участка секционирования. Однако данный способ имеет свои недостатки: обесточивание потребителей на поврежденном участке, а повреждение магистрального участка радиальной линии приводит к прекращению электроснабжения всех потребителей.

Таких недостатков лишен следующий метод — кольцевание секционированных линий. Данная схема вкупе с автоматизацией позволяет осуществить более гибкую схему резервирования. При повреждении одного из участков не происходит прекращения электроснабжения секционированного. Таким образом удаётся сохранить электроснабжение потребителей, питающихся от неповрежденных участков при аварии на одном из участков: [5].

Внедрение современных средств автоматики и автоматизации позволяет повысить надёжность электроснабжения, снизить объём работ на техническое обслуживание и уменьшить время поиска и локализации повреждений на линии. В состав автоматизированной сети могут входить: распределительно-коммутационная аппаратура, устройства релейной защиты на базе микропроцессорных устройств и автоматики, устройства автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резерва (АВР).

К современному коммутационному оборудованию относится реклоузер. Представляет собой автономное устройство для выключения и последующего повторного включения цепи. Реклоузер состоит из вакуумного коммутационного модуля, встроенной системы измерения токов и напряжения, а также шкафа управления (ШУ) с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики (РЗА). Трансформаторы тока, установленные в высоковольтном модуле, который в свою очередь подключен к линии через проходные изоляторы, измеряют значения тока в сети и передают данные в ШУ. В ШУ микропроцессорный терминал защиты сравнивает значения тока в линии с установленными величинами и при их несоответствии подаётся команда на вакуумный выключатель, который разрывает цепь. Затем через определённый промежуток времени срабатывает АПВ. В случае повторной неисправности последовательность действий повторяется и так до трёх раз, в зависимости от выставленных настроек. Если поломка в конечном итоге не самоустранилась, то автоматика реклоузера отключает линию и направляет сигнал в диспетчерскую для вызова ремонтного персонала, который устранив неисправность на линии уже вручную включает реклоузер: [7; 8]. Полезность данного вида устройства заключается в том, что немалое количество повреждений приходится на схлестывание проводов, касание ветвей дерева, в результате непогоды и прочего рода неустойчивые повреждения. В большинстве случаев они устраняется при отключении и последующем повторном включении. Такую задачу успешно и выполняет реклоузер, позволяя минимизировать длительность прерывания электроснабжения. Одним из основных минусов, препятствующих повсеместному использованию данных средств, является цена. Также на ранних порах внедрения не все реклоузеры имели русифицированный интерфейс, однако большинство современных моделей лишены данного недостатка. Несмотря на немалую цену российские компании постепенно внедряют реклоузеры в свои линии, тем самым создавая задел на будущее для дальнейшего перехода к «умным сетям»

Как мы видим сущность большинства методов для обеспечения надёжности заключается в повышении самодостаточности сетей. Под самодостаточностью подразумевается, что сеть в автоматическом режиме ведёт сбор параметров, анализирует их, передаёт диспетчеру и при необходимости срабатывает автоматика (АВР, АПВ, автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и т. д.). Перевод сети в зону практически полной независимости улучшает эффективность автоматизации распределения электроэнергии, повышает экономичность, экологичность и безопасность электроснабжения. Автоматическое определение повреждённого участка позволяет снизить время обесточивания потребителей поврежденного участка, снижает трудозатраты на поиск и ликвидацию аварии. Автоматика облегчает работу и дежурного диспетчера: [1].

В последнее время в нашей стране и во всём мире ведётся активная работа по созданию так называемых «умных сетей» smart grid. На территории России smart grid получила название — интеллектуальная электроэнергетическая система с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС). Данные сети, представляющие собой автоматизированные программные комплексы, способны к самодиагностике, самовосстановлению и автоматическому перераспределению электроэнергии между потребителями в зависимости от нагрузки и других параметров, а оборудование «умных сетей» образует интеллектуальный комплекс энергоснабжения активно взаимодействуя друг с другом. Анализ собираемой информации с оборудования поможет оптимизировать использование энергетических ресурсов, увеличит общую эффективность и надёжность электросистем: [2]. На ближайшее десятилетие одним из значимых пунктов энергетической стратегии России будет развитие российской умной электроэнергетики, что немало важно для экономического роста страны, ведь «Умные сети — Умная энергетика — Умная экономика» (Шматко С. И., 1-й Министр энергетики Российской Федерации с 12.05.2008 до 21.05.2012).

Надёжность в системах электроснабжения помимо обеспечения качественной электроэнергии потребителей повышает уровень безопасности сетей и снижает трудозатраты на обслуживание сетевого оборудования. Таким образом внедрение средств автоматизации и резервирования воздушных линий повышает надёжность энергоснабжения и на порядок снижает ущерб от недоотпуска электроэнергии: [4]. А последующая модернизация сетей на базе информационных и коммуникационных технологий предоставит возможность превратить сети электроснабжения в так называемые «умные сети».

Список использованной литературы

1. Анашкин С. С., Борисовский А. П., Ерохина Ю. Е. Способы повышения надёжности электроснабжения потребителей в сельской местности // Молодой ученый. — 2018. — № 3 (189). — С. 34–36. URL: <https://moluch.ru/archive/189/47932/> (дата обращения: 15.04.2020).
2. Гаврилович, Е. В., Данилов Д. И., Шевченко Д. Ю. «Умные сети» Smart Grid — перспективное будущее энергетической отрасли России // Молодой ученый. — 2016. — № 28.2 (132.2). — С. 55–59. URL: <https://moluch.ru/archive/132/36972/> (дата обращения: 18.04.2020).
3. ГОСТ 30331.1–2013. Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения [Текст]. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 44 с.
4. Долецкая Л. И., Кавченко В. П., Солопов Р. В. Оценка эффективности методов повышения надёжности распределительных сетей // Наукоедение. — 2015. — №6. — С. 1–13. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN615.pdf> (дата обращения: 18.04.2020)
5. Комаров Д. Т. Автоматизация электрических сетей 0,38–35 кВ в сельских районах. М. : Энергоатомиздат. 1987

6. Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 N 511-р (ред. от 29.11.2017) «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации» // «Собрание законодательства РФ», 08.04.2013, N 14, ст. 1738

7. Хасанзянов, Б. Ф. О реклоузерах // Молодой ученый. — 2014. — № 7 (66). — С. 188–190. URL: <https://moluch.ru/archive/66/10970/> (дата обращения: 15.04.2020)

8. Что такое реклоузер и чем он отличается от пункта секционирования [Электронный ресурс] // «Тяжмаштрейд» — промышленное электрооборудование: [сайт]. [2020]. URL: <https://tmtrade.ru/chto-takoe-reklouzer> (дата обращения: 18.04.2020).

9. Энергетика России // Википедия. [2020—2020]. Дата обновления: 03.04.2020. URL: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=106095182> (дата обращения: 18.04.2020).

Трунов М. Ю.

Сургутский государственный университет

Способы компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях

г. Сургут

Аннотация. В последнее время все актуальней становится переход к энергосберегающим технологиям, с целью снизить расходы на электроэнергию. Один из вариантов снижения энергопотребления можно считать установку компенсирующих устройств. В данной статье рассматриваются варианты установки компенсирующих устройств в распределительных сетях. Приведен перечень основных потребителей реактивной мощности. В каком случае, какие устройства компенсации возможно устанавливать. Дан краткий обзор этих устройств. Сделан вывод, какую пользу приносит правильная с точки технико-экономической задачи компенсация реактивной мощности.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, потери электроэнергии

Trunov M. Y.

Surgut state university

Ways of compensation of reactive power in distributive electric networks

Surgut

Abstract. Recently, the transition to energy-saving technologies, in order to reduce energy costs, has become increasingly relevant. One of the options for reducing energy consumption can be considered the installation of compensating devices. This article discusses the options for installing compensating devices in distribution networks. The list of the main consumers of reactive power is given. In which case, which compensation devices can be installed. A brief overview of these devices is given. It is concluded that the compensation of reactive power that is correct from the point of view of a technical and economic problem is brought.

Keywords: reactive power, reactive power compensation, energy losses

С каждым годом наблюдается все увеличивающийся рост потребления электроэнергии. Что означает растущую необходимость в генерации активной и реактивной мощности, а также поддержание оптимального баланса между ними.

Активная мощность — это энергия, которая вырабатывается электростанциями из первичных видов энергоресурсов. Наряду с активной в сети присутствует также реактивная мощность, которая расходуется потребителями в принципе работы, которых есть использование энергии магнитного поля.

Поток активной мощности всегда направлен от генераторов электростанций к потребителю. Поток же реактивной мощности направлен от генератора к потребителю и обратно и повинуюсь синусоидальному изменению тока, повторяется дважды за один полный период. Если сравнивать активную и реактивную мощность то, у реактивной мощности отсутствует физи-

ческий эквивалент, перевода в другие виды энергии, так как получение реактивной мощности не использует затрат первичной энергии. Тем не менее при обмене энергией между генератором и потребителями реактивной мощности в генераторе возникают потери активной мощности, которые восполняются за счет затрат первичных видов энергии.

Самые основные потребители реактивной мощности это:

- линии электропередач (включая распределительные сети) — 7%
- индукционные электрические печи (принцип действия которых основан на работе магнитного поля высокой частоты) — 8%
- преобразователи переменного тока — 10%
- трансформаторы подстанций — 35%
- асинхронные двигатели — 40% (считаются главными потребителями реактивной мощности). [6]

По некоторым оценкам в настоящее время доля реактивной нагрузки составляет от 20%, и может достигать 80% от активной мощности в сети. [4] Генерирование реактивной мощности непосредственно генераторами на электростанциях и передача её по линиям электропередач до подстанций несет серьезные потери активной мощности, а соответственно и потери электроэнергии компаниями, производящими электрическую энергию. Соответственно экономически и технологически более обоснованным будет генерация её как можно ближе к потребителям. С этой целью в распределительных электрических сетях устанавливают устройства, которые компенсируют реактивную мощность [3].

До последнего времени проблеме компенсации реактивной мощности в бытовом секторе уделяли мало внимания, что в настоящее время недопустимо. Статистика показывает рост потребления электроэнергии жилищно-бытовым сектором, по меньшей мере, в три раза. Этот факт приводит нас к увеличению мощности трансформаторных подстанций, а соответственно к увеличению потребления как активной, так и реактивной мощности. Показатели нагрузки многоквартирных домов дают средние колебание коэффициента мощности от 0,88 до 0,97 в сутки, и порой эти значения могут достигать 0,84 — 0,99 [5]. Такие показатели коэффициентов следствие активного потребления реактивной мощности, что увеличивает потери электроэнергии.

Если рассмотреть все подходы к компенсации реактивной мощности, то можно выделить два этапа. На первом этапе ведется мониторинг качества электрической энергии посредством фильтрации тока и выравнивания фаз на подстанциях. На втором этапе происходит уже непосредственно компенсация реактивной мощности с помощью компенсирующих устройств. Есть несколько вариантов установки компенсирующих устройств в сети [1].

Централизованное размещение установок компенсации реактивной мощности на стороне высшего напряжения (рис. 1.а). Так как компенсирующие устройства подключаются к шинам 6(10) кВ, этот вариант применяется в случае равномерной или плавно меняющейся нагрузки в сети. Также он подходит в случаях наличия в сети значительных потребителей реактивной мощности напряжением 6(10) кВ.

Из первого способа размещения компенсаторов реактивной мощности вытекает второй — централизованная компенсация реактивной мощности на стороне низшего напряжения (рис. 1 б). Из-за того, что компенсирующие устройства установлены на шине низшего напряжения, это снижает нагрузку на трансформаторную подстанцию. Он подходит в случаях неравномерной нагрузки на шинах подстанций, с установкой автоматически регулируемых компенсаторов реактивной мощности.

Третий способ размещения целесообразен в случае, когда потребители реактивной мощности в сети распределены не равномерно, а группами (групповая компенсация) (рис 1. в).

В этом случае установка компенсирующих устройств непосредственно на такие группы позволяет разгрузить сеть низшего напряжения от потоков реактивной мощности, и дает возможность использовать в этом случае нерегулируемые устройства компенсации реактивной мощности.

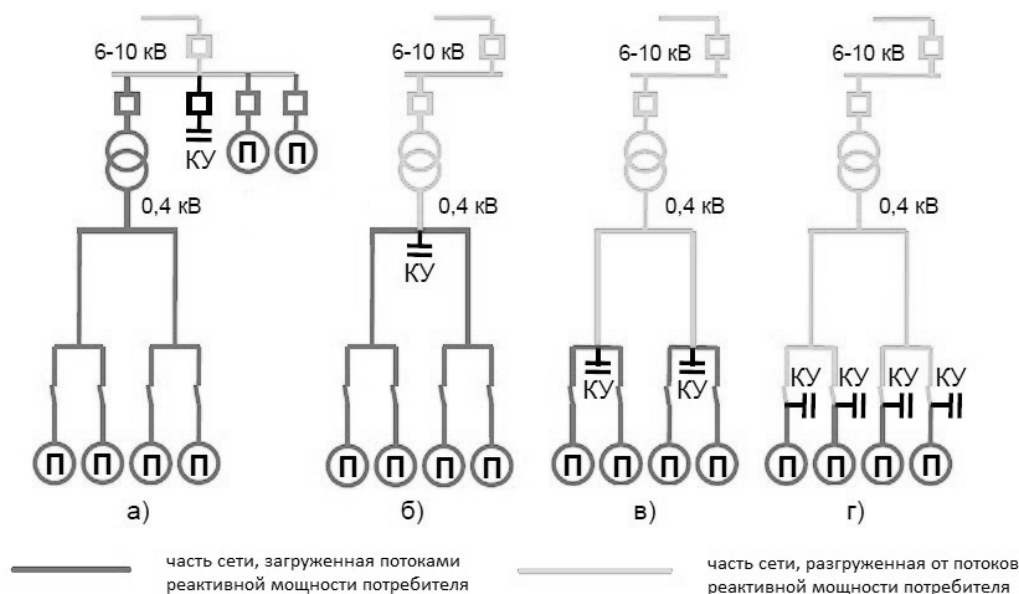


Рис. 1. Варианты размещения устройств компенсации реактивной мощности

Четвертый способ — это индивидуальное размещение компенсаторов реактивной мощности непосредственно на мощных её потребителях (рис 1. г). В этом случае распределительная сеть максимально разгружается от потоков реактивной мощности. Так как компенсирующие устройства подключаются непосредственно к потребителям это дает возможность использовать нерегулируемые установки компенсации. Этот способ подходит только в том случае если потребитель имеет непрерывный график работы.

Выбор способа размещения компенсирующих устройств — это сложный технико-экономический вопрос. С одной стороны, размещение компенсирующих устройств ближе к потребителю разгружает линии электропередач от потоков реактивной мощности. С другой стороны, увеличение числа компенсирующих устройств требует увеличения затрат денежных средств на их приобретение, установку и обслуживание.

Так или иначе, применение устройств компенсации реактивной мощности дает энергосберегающий эффект и экономию денежных средств, которые можно использовать на расширение производства, улучшение или же обновление уже установленного оборудования предприятия.

Компенсацию реактивной мощности в зависимости от принципа компенсации можно условно разделить на две группы. Одна группа — это устройства продольной компенсации, которые позволяют менять реактивное индуктивное и емкостное сопротивление сети. И вторая группа — это устройства поперечной компенсации, которые потребляют или генерируют реактивную мощность сети.

Рассмотрим несколько устройств компенсации реактивной мощности.

Синхронные компенсаторы — это синхронные двигатели, работающие на холостом ходу без нагрузки на валу. Имеют облегченную конструкцию. Применяют как для генерирования, так и потребления реактивной мощности в сети, в зависимости от тока возбуждения. Генери-

руют индуктивную (отстающую) реактивную мощность. Главные недостатки таких компенсаторов — это дороговизна установки и эксплуатации, а также большие габариты на единицу компенсирующей мощности.

Для компенсации индуктивной реактивной мощности также применяются конденсаторные установки (регулируемые и нерегулируемые). Генерируют емкостную (опережающую) реактивную мощность, которая может компенсировать индуктивную.

Существует один тип устройств, которые могут генерировать как реактивную ёмкостную мощность, так и реактивную индуктивную мощность — это статические тиристорные компенсаторы на IGBT транзисторах. Их можно разделить на тиристорно-коммутируемые конденсаторы и на тиристорно-коммутируемые реакторы. В обеих конструкциях присутствует блок коммутации на IGBT транзисторах и в зависимости от конструкции, коммутируемые конденсаторные сборки или шунтирующие реакторы. Главное достоинство таких устройств в плавности регулировки реактивной мощности.

Следующий тип устройств это упомянутый ранее шунтирующий реактор, предназначен для емкостной компенсации реактивной мощности. Устанавливается на слабонагруженные протяженные линии электропередач.

Из всего выше изложенного можно сделать вывод, что компенсация реактивной мощности кроме ощутимой финансовой выгоды также повышает надежность энергосети. Уменьшает нагрузку на трансформаторные подстанции, увеличивает пропускную способность линий электропередач, что благоприятно сказывается на сроке службы и времени безаварийной эксплуатации.

Список использованной литературы

1. А. В. Воронцов, Джураев Э. Э., Харенко В. Н. Исследование компенсации реактивной мощности на трансформаторных подстанциях угледобывающих предприятий // Проблемы и перспективы реализации междисциплинарных исследований сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. (03 июля 2019 г.) г.Стерлитамак С. 59–62
2. В. В. Карагодин, Д. В. Рыбаков Оптимизация размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях // Вопросы электромеханики. Т. 144, 2015 С. 43–50
3. Б. А. Константинов, Г. З. Зайцев Компенсация реактивной мощности Л., «Энергия», 1976 104 С.
4. А. В. Кузнецов, И. В. Аргентова, М. И. Буянкин, Н. В. Даскал Оценка снижения потерь мощности в сетевой организации при компенсации реактивной мощности в сети потребителя // УлГТУ, Ульяновск с. 260–265.
5. Малюк Е. Г. Реактивная мощность и особенности компенсации реактивной мощности в сетях жилищно — коммунального сектора // Энергетические установки и технологии, 2017. Т. 3, № 1. С. 57–62.
6. А. Е. Тулебаев, Л. А. Садыкова Исследование эффективности работы установки компенсации реактивной мощности элементов системы электроснабжения // Западно-Казахстанский агро-технический университет им. Жангир хана г. Уральск, Казахстан.

Карапита Н. В.

Сургутский государственный университет

Определение повреждённого присоединения в распределительных сетях напряжением 6–35 кВ с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю

г. Сургут

Аннотация. В статье рассмотрена проблема определения повреждённого присоединения в распределительных сетях напряжением 6–35 кВ с изолированной нейтралью при однофазном замыкании на землю. Проведён обзор источников, содержащие информацию о проблеме, описываются методы защит от замыкания на землю, принципы действия и их недостатки. В заключении сделан общий вывод, перечислены факторы, осложняющие создание эффективных защит.

Ключевые слова: Определение повреждённого присоединения, изолированная нейтраль, распределительная сеть, однофазное замыкание на землю.

Karapita N. V.

Surgut State University

Determination of damaged connections in distribution networks with voltage of 6–35 kv at single-phase ground fault

Surgut

Abstract. The article considers the problem of determining a damaged connection in distribution networks with a voltage of 6–35 kV with an insulated neutral during a single-phase earth fault. A review of sources containing information about the problem is carried out, methods of protection against earth faults, operation principles and their shortcomings are described. In conclusion, a general conclusion is made, factors that complicate the creation of effective defenses are listed.

Keywords: definition of a damaged connection, insulated neutral, distribution network, single-phase earth fault.

Однофазные замыкания на землю в распределительных сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью достигают до 70% от общего числа электрических повреждений. При этом токи от замыканий на землю настолько незначительны, что они не приводят к отключению потребителя. Однако длительное присутствие однофазного замыкания на землю может привести к двухфазному замыканию на землю и короткому замыканию, так же пробой изоляции и снижение срока службы оборудования сети, создаётся опасность для обслуживающего персонала, при отключении потребителей возможно явление феррорезонанса, от которого выходят из строя трансформаторы напряжения. Следовательно, стоит срочная необходимость выявления повреждённого элемента и сигнализацией оповестить о наличии аварии для отыскания и устранения повреждения [4, 6, 8, 9].

Для защиты линий от однофазного замыкания на землю используют методики, разработанные ещё в советские времена, например, поочерёдное отключение потребителей пока не исчезнет индикатор «земля», наличие «земли» фиксируется трансформатором напряжения. Метод простой, но не селективный. Другие защиты, построены на принципах сравнения таких параметров как ток, напряжение и мощность нулевой последовательности промышленной частоты до и после повреждения, в теории подходят для селективного определения и отключения повреждённого элемента сети. Но на практике выходит, что защиты имеют ложные срабатывания, так как рассчитаны на какой диапазон изменения уровней токов, зависящие от общей ёмкости, нужно настраивать защитные устройства очень трудно при изменении первичной схемы сети, например, увеличение числа потребителей. Так же стоит упомянуть дороговизну устройств и необходимость монтажа дополнительного оборудования. [1, 2, 3, 5, 7, 8]

Существуют направленные токовые защиты, которые реагируют на установившиеся токи сети. Принцип защиты основан на направлениях ёмкостных токов в повреждённых и неповреждённых линиях. Значение ёмкостного тока линии не учитывается в расчёте тока срабатывания защиты, так как она срабатывает от его направления. Это повышает чувствительность. Недостатками для такого метода являются необходимость использования кабельных вставок и ложное срабатывание при возникновении перемежающейся дуги [3,7].

Метод, основанный на анализе высших гармонических составляющих токов нулевой последовательности, обеспечивает селективную защиту линий и позволяет определить поврежденное присоединение, сравнивая высшие гармоники токов. Суммарные составляющие тока повреждённой фазы всегда больше всех остальных неповреждённых фаз. Имеется существенный недостаток, требуется сложный расчёт гармоник на каждом присоединении. Сложно оценить уставки работы таких защит, что приводит к неправильному срабатыванию защит [8].

Защиты от однофазных замыканий на землю реагирующие на электрические величины переходного процесса имеют высокую чувствительность и могут определить кратковременные самоустраняющиеся замыкания, но, как и многие другие защиты имеют существенный недостаток, возможны ложные срабатывания при отсутствии однофазных замыканий на землю, при отключении короткого замыкания [8].

Среди всех защит широко используется защиты, реагирующие на напряжение нулевой последовательности, при условии, что на шинах всего одно присоединение. При большем количестве присоединений, используется простая токовая защита, при небольшом количестве присоединений — токовая направленная защита. Датчиками служат трансформаторы напряжения и трансформаторы тока.

Можно сделать вывод, что в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью часто подвергаются появлению однофазных замыканий на землю, при этом единого метода эффективной и селективной защиты не существует. На сегодняшний день в России используются комбинированные токовые защиты и защиты напряжения нулевой последовательности, способные компенсировать некоторые недостатки. В перспективе есть возможность совершенствования известных методов определения повреждённого присоединения, так как известны основные причины неэффективности защит. Этими причинами являются следующие факторы:

- сложность расчёта уставок защит;
- ложные отключения неповреждённых линий;
- ложные срабатывания из-за переходного процесса;
- требуется установка дорогостоящего оборудования;
- неэффективность защит при изменении первичной схемы сети.

Список использованной литературы

1. Абдуллазянов Р. Э. Методика обнаружения места повреждения при однофазных замыканиях на землю в распределительных электрических сетях напряжением 6–35 кВ по их частотных характеристикам: автореф. дис. канд. техн. наук. Казань, 2013. 24 с.
 2. Афанасенко А. С. Условия работы и селективности релейных защит от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью // Вестник ИрГТУ. 2014. №1 (84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-raboty-i-selektivnost-releynyh-zaschit-ot-odnofaznyh-zamykaniy-na-zemlyu-v-setyah-6-35-kv-s-izolirovannoy-neytralyu>
 3. Борковский С. О., Горева Т. С., Горева Т. И. Проблема диагностики однофазных замыканий на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю // Фундаментальные исследования. — 2014. — № 9–5. — С. 954–959; URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34996>
 4. Вайнштейн Р. А. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ // Электрические станции. 1998. № 7.
 5. Гельфанд, Я. С. Релейная защита распределительных сетей / Я. С. Гельфанд. — М. : Энергоатомиздат, 1987 — 368 с.
 6. Федосеев, А. М. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. для вузов / А. М. Федосеев, М. А. Федосеев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1992. — 528 с.
 7. Хомыженко, Н. С. Обзор методов определения места повреждения в сетях различного класса напряжения // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. III международ. студ. науч.–практ. конф. №4(51) URL: [https://sibac.info/archive/technic/4\(51\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/4(51).pdf)
 8. Шабад, М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. — М.: Энергопрогресс, 2007. — 64 с.
 9. Шалыт, Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. — М: Энергоатомиздат, 1982. — 312 с.
-

Мищенко В. В.

*БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры
«Сургутский государственный университет»*

Система синхронизированных векторных измерений.

г. Сургут

Аннотация. Постановление правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р утвердило программу «Цифровая экономика Российской Федерации». Для цифрового управления в энергетике, применяются новые технологии и интеллектуальные решения, а именно синхронизированные векторные измерения. В свою очередь, повысится качество и надежность управления электроэнергетическим режимом.

Ключевые слова: синхронизированные векторные измерения

Mishchenko V. V.

*Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra;
Surgut State University*

System of synchronized vector me

Surgut

Abstract. Decree of the Government of the Russian Federation of July 28, 2017 No. 1632-r approved the program “Digital Economy of the Russian Federation”. For digital control in the energy sector, new technologies and intelligent solutions are used, namely synchronized vector measurements. In turn, will improve the quality and reliability of power generation and distribution control regime.

Keywords: synchronized vector measurements

Система синхронизированных векторных измерений

В настоящее время, в энергетике внедряется, солнечная и ветровая генерация, силовая электроника, управление осуществляется системой передачи (FACTS) и т. д. И поэтому для дальнейшего развития современной энергетике необходима адаптации существующих систем управления электроэнергетическим режимом, нужна информация нового качества — синхронизированные векторные измерения. На базе существующих телеизмерений невозможно точно вычислить динамические параметры энергосистемы, обеспечить мониторинг относительных углов, распознать параметры низкочастотных колебаний и т. д.

Одним из важных вопросов в современной энергетике, является внедрение противоаварийной и режимной автоматики, используя данные синхронизированных векторных измерений. Цель исследований, которые проводятся в энергетике, определяет:

- применение данных синхронизированных векторных измерений для анализа состояния электроэнергетического режима, для мониторинга запасов устойчивости и возможной работы противоаварийной автоматики;
- увеличения надежного противоаварийного управления электроэнергетическим режимом, за счет применения фазовых углов в функциях противоаварийной автоматики.

Системы противоаварийной и режимной автоматики с применением данных синхронизированных векторных измерений в настоящее время уже вводятся в эксплуатацию.

Основные понятия о синхронизированном векторе

Синхронизированный вектор — это действующее значение и фазовый угол основной гармоники фазного тока или напряжения, измеряемые в однозначно определенные моменты времени. Сигналы основных гармоник тока или напряжения в общем виде выглядят следующим образом:

$$X(t) = X_m(t) \cdot \cos \left(\int \omega(t) dt + \varphi_0 \right)$$

В геометрическое представление, сигналы могут быть представлены:

$$X(t) = \frac{X_m(t)}{\sqrt{2}} \cdot \exp(j \cdot \varphi(t)) = \frac{X_m(t)}{\sqrt{2}} \cdot (\cos \varphi(t) + j \cdot \sin \varphi(t))$$

где $\frac{X_m(t)}{\sqrt{2}}$ действующее значение заданного сигнала;

$\varphi(t) = \int \omega(t) dt + \varphi_0$ — фазовый угол синхронизированного вектора. Это разность между углом фазного тока (напряжения) основной гармоники и условно фазным током (напряжением) промышленной частоты, фаза которой равна нулю при смене секунд UTC (стандарт, по которому общество регулирует часы и время). Область определения фазового угла принимается $[-\pi, +\pi]$ радиан.

Примечание:

1. $\varphi = 0$ рад — момент максимального значения сигнала, по времени в одну секунды UTC;
2. $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ рад — момент перехода сигнала из отрицательной области оси ординат в положительную в одну смену секунды UTC.

Если представить, что функция разности фактической и номинальной частоты, формулой:

$$g(t) = f(t) - f_{\text{ном}}$$

Тогда сигнал основной гармоники фазного тока (напряжения) определяется следующим образом:

$$X(t) = X_m \cos \left(2\pi \int f(t) dt + \varphi_0 \right)$$

$$X(t) = X_m(t) \cos \left(2\pi f_0 t + \left(2\pi \int g(t) dt + \varphi_0 \right) \right)$$

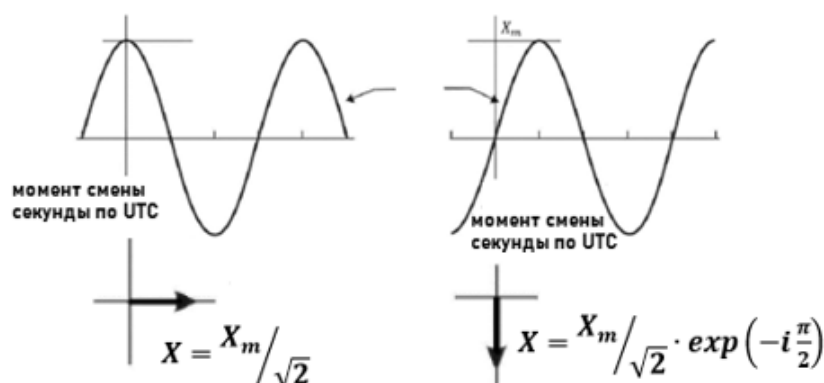


Рис. 1. Вектор синхронизированного измерений

Сигнал синхронизированного вектора определяем, согласно формулам:

$$X(t) = \left(\frac{X_m}{\sqrt{2}} \right) \cdot \exp \left(j \left(2\pi \int g(t) dt + \varphi_0 \right) \right)$$

$$a). \quad |X(t)| = \frac{X_m(t)}{\sqrt{2}} \quad \omega(t) = 2\pi \int f(t) dt - 2\pi \cdot f_{\text{ном}} \cdot t$$

$$б). \text{ при } X_m(t) = X_m = \text{const} \quad g(t) = \Delta f = \text{const} \quad |X(t)| = X_m / \sqrt{2} \\ \omega = 2\pi \Delta f$$

Некоторые важные особенности касательно синхронизированного вектора:

- все измерения проводятся относительно общего времени и общей частоты, поэтому возможно сопоставление измерений фазовых углов;
- значение синхрофазоров также включает в себя воздействие всех других вкладов сигналов, таких как колебания и местные перепады частоты;
- синхрофазоры являются функциями времени и будут изменяться от одного значения к другому, если сигнал не является чистой синусоидой с номинальной частотой системы;
- для определения фазового угла необходима временная привязка к UTC.

Система мониторинга переходных режимов

В ЕЭС России на основе синхронизированных векторных измерений применяется система мониторинга переходных режимов (СМПР). Данная система, определяет углы векторов напряжений объектов энергетики в различные моменты времени, используя сигналы синхронизации от глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Система мониторинга переходных режимов по сравнению с телеизмерениями дает информацию, более качественную, с меньшей погрешностью. Телеизмерение, телеуправление, телесигнализация — это управление и измерения на расстоянии по воздушным, используя высокочастотные каналы связи или кабельным линиям связи, которое осуществляется средствами телемеханики. Телеизмерение имеют погрешности из-за изменения параметров линии связи, окружающей среды и действия помех.

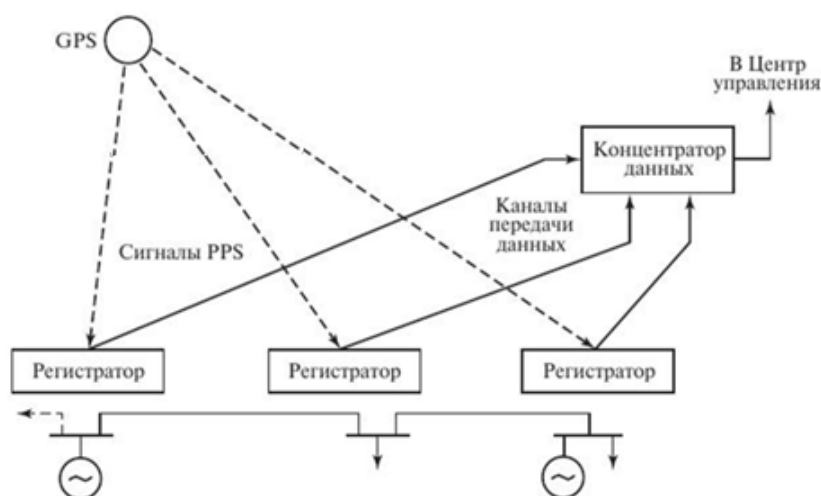


Рис. 2. СМПР в электрической сети с применением навигационных спутниковых GPS.

Технологии синхронизированных векторных измерений обеспечивают обработки и передачи данных в режимах ON- и OFF-LINE

on-line: оценка состояния; мониторинг уровней запаса устойчивости; мониторинг уровней напряжения, обнаружение асинхронных режимов, обнаружение н/ч колебаний, определение функционирования СВ и АРВ; наблюдения и анализа режимов; противоаварийное управление;

off-line; послеаварийный анализ; подтверждение динамических моделей, мониторинг частоты; мониторинг реакции энергообъектов.

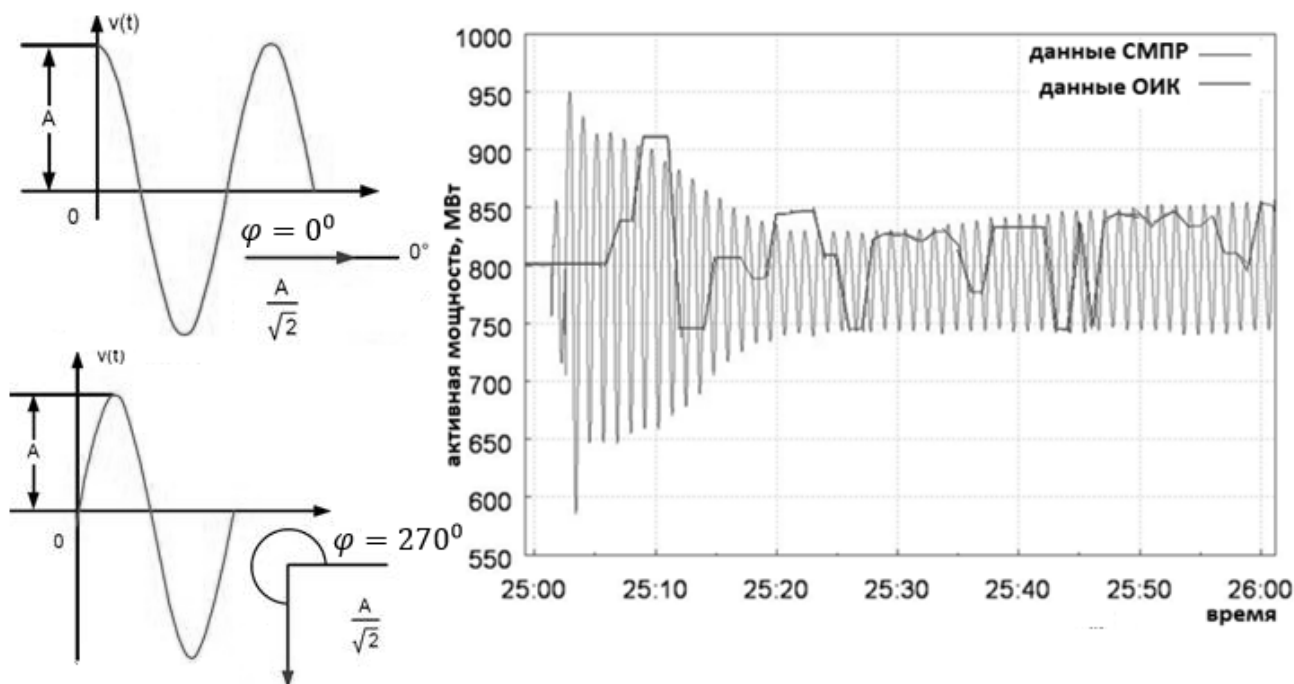


Рис. 3. Синхронизированные векторные измерения системы мониторинга переходных режимов и измерения в общем информационном канале (ОИК).

Точность регистрации: частота — 1 МГц ; угол напряжения — $0,1^\circ$; действующее значение напряжения и тока — $0,2\%$; погрешность времени от синхронизации GPS — 20 мкс .

Для управления электроэнергетическим режимом в операционной зоне Филиала АО «СО ЕЭС» Тюменское РДУ введена в промышленную эксплуатацию корпоративная автоматическая система мониторинга и сбора информации переходных, «Система мониторинга запасов устойчивости Тюменской энергосистемы» (СМЗУ). Первая версия системы мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) была разработана под руководством системного оператора (СО) для северных районов Тюменской области и введена в промышленную эксплуатацию в 2008 году.

Анализ запаса устойчивости, в ОЭС Урала, осуществляется в виде системы мониторинга запасов устойчивости в северных регионах Тюменской области. Данная Система мониторинга определяет пропускную способность сечений, опасные сечения в системе объединенных сетей Урала, в реальном времени.

Программно-технический комплекс СМЗУ состоит из измерительной системы, которая располагается на объектах электроэнергетической системы (4 подстанции, 2 электростанции), а именно из измерительных трансформаторов тока и напряжения, а также регистраторов и коммуникационных каналов.

Передача измеряемых и вычисляемых данных на следующий уровень СМЗУ осуществляется посредством канала передачи данных, с пропускной способностью не менее 256 кбит/с (или не менее 128 кбит/с на одно наблюдаемое присоединение).

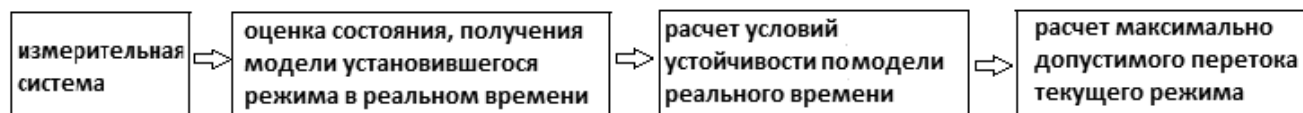


Рис. 4. Структурная схема СМЗУ.

Программный комплекс Система мониторинга запасов (ПК СМЗУ) Тюменской энергосистемы используется в части расчета максимально допустимых перетоков (МДП), и аварийно-допустимых (АДП) в следующих контролируемых сечениях:

- «ОЭС Урала — Энергосистема Тюменской области (выдача/прием)»;
- «Север».

Программный комплекс системы мониторинга запаса устойчивости (ПК СМЗУ) при выполнении расчета допустимых перетоков моделирует действие следующих устройств противоаварийной автоматики (ПА):

- централизованная система противоаварийной автоматики Тюменской энергосистемы (ЦСПА ТЭ);
- автоматика ограничения перегруза оборудования (АОПО) ВЛ 220 кВ Холмогорская — Пуль-Яха;
- автоматика ограничения перегруза оборудования (АОПО) ВЛ 220 кВ Холмогорская — Аврора;
- автоматика ограничения перегруза оборудования (АОПО) ВЛ 110 кВ Холмогорская — Пуль-Яха;
- автоматика ограничения перегруза оборудования (АОПО) ВЛ 110 кВ Холмогорская — Крайняя;
- автоматика ограничения перегруза оборудования (АОПО) ВЛ 110 кВ Горная — Туртас.

Программный комплекс система мониторинга запаса устойчивости (СМЗУ) использует максимальный доступный объем управляющих воздействий, реализуемых учитываемой в расчете противоаварийной автоматики (ПА).

Синхронизированные векторные измерения (СВИ) могут использоваться также как предупредительные сигналы оперативно-диспетчерскому персоналу системного оператора, сетевых и генерирующих компаний о начале и масштабах системных аварий. При большом потоке событий аварийных режимов (сработало то-то, отключилось то-то), информация требует много времени для осознания произошедшего. На основании данных синхронизированных векторных измерений проанализировать аварийную ситуацию можно без уточнения событий и объектов. При этом оперативно-диспетчерскому персоналу, соответствующего уровня, достаточно сообщить информацию о аварийной ситуации ближайшему к нему региону. Получив краткое и информативное сообщение, оперативно-диспетчерский персонал может действовать более внимательно и ответственно, если управляемый им объект находится в эпицентре событий.

Интеллектуальные электронные устройство синхронизации по времени ИСС-1.1, устройство синхронизированных векторных измерений ТПА-02 введены в эксплуатацию на Сургутской ГРЭС-2, Нижневартовская ГРЭС, входящих в операционную зону Филиала АО «СО ЕЭС» Тюменское РДУ.

Возможности применения данных синхронизированных векторных измерений не ограничиваются задачами оперативно-диспетчерского управления. Современные регистраторы системы мониторинга переходных режимов, дополняют общий информационный канал (ОИК), улучшают прогнозирование и оценку технического состояния оборудования и режимов работы генерирующего оборудования.

Список использованной литературы

1. Бовыкин В. Н., Миклашевич А. В., Мокеев А. В., Ульянов Д. Н. Устройства синхронизированных векторных измерений с поддержкой стандартов IEEE C37.118 и IEC 61850 // Сб. межд. научно-техн. конф. “Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем”. — Екатеринбург, 2013
 2. Куликов Ю. А. Использование технологии векторного измерения параметров в ЕЭС России для информационного обеспечения оперативно-диспетчерского управления / «Энергетик», № 1, 2009г.
 3. ГОСТ Р 55105–2012 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования», 01.07.2013.
 4. ГОСТ Р 55438–2013 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Релейная защита и автоматика. Взаимодействие субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии при создании (модернизации) и эксплуатации. Общие требования», 01.04.2014.
 5. ГОСТ 34.601–90 «Информационная технология Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания».
-

Ананьев Е. И.

*Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа —
Югры «Сургутский государственный университет»*

Диагностика электрооборудования распределительных электрических сетей напряжением 6–10 кВ с изолированной либо компенсированной нейтралью

г. Сургут

Аннотация. В статье рассмотрена проблема применения дистанционных методов определения места повреждения в сетях напряжением 6–10 кВ с изолированной либо компенсированной нейтралью при однофазном замыкании на землю. Проведён обзор источников, содержащих информацию о проблеме, сравниваются методы дистанционного определения места однофазного замыкания на землю их достоинства и недостатки. В заключении обобщены основные причины, почему пока невозможно решить проблему эффективного дистанционного определения места однофазного замыкания на землю в сетях, выполненных воздушными и кабельными линиями электропередач.

Ключевые слова: Дистанционное определение места повреждения, изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль, однофазное замыкание на землю.

Ananьев E. I.

Surgut State University

Diagnostics of electrical distribution networks 6–10 kV with insulated or compensated neutral

Surgut

Abstract. The article considers the problem of using remote methods for determining the location of damage in networks with a voltage of 6–10 kV with an insulated or compensated neutral for a single-phase earth fault. A review of sources containing information about the problem is conducted, and methods for remotely determining the location of a single-phase earth fault are compared, their advantages and disadvantages. In conclusion, the main reasons why it is not yet possible to solve the problem of effectively determining the location of a single-phase earth fault in networks made by overhead and cable power lines are summarized.

Keywords: Remote detection of damage location, insulated neutral, compensated neutral, single-phase earth fault.

Распределительные электрические сети предназначены для передачи и распределения электрической энергии потребителям. Согласно статистическим данным, наиболее распространенным видом повреждения является однофазное замыкание на землю. Их доля составляет до 80% от общего числа повреждений. Наиболее часто подобный вид повреждения возникает на линиях электропередач. При этом однофазное замыкание на землю крайне опасно, а также может привести к двухфазному или трехфазному короткому замыканию. [1,2,4]

Поскольку сети 6–10 кВ работают преимущественно с изолированной нейтралью, определение места повреждения затруднительно. Существуют различные методы определения ме-

ста повреждения, наибольшее распространение получили импульсные методы и методы колебательного разряда. Предлагается использование методов основанных на наложении высокочастотных составляющих. Применение дистанционных методов позволяет сократить время обнаружения места однофазного замыкания на землю. [2]

Импульсные методы — методы дистанционного определения места возникновения однофазных замыканий на землю, обрыва, а также межфазных замыканий в кабельных линиях. Тип повреждения определяется по изображению на экране специального прибора — рефлектометром. Данный прибор отправляет импульс и принимает отражённый сигнал. Таким образом определятся место повреждения.



Рис. 1. Рефлектометр

Метод колебательного разряда основан на измерении полупериода свободных колебаний постепенно затухающей волны, возникающей в заряженной кабельной линии при пробое. Достоинствами этих методов можно выделить относительную простоту, наглядность и быстроту определения места однофазного замыкания, а также отсутствует требование к прожигу кабельных линий. Основным недостатком методов является их ограниченность в применении. Во-первых, методы затруднительно использовать в сильно разветвлённых сетях. Во-вторых, данные методы используются исключительно в кабельных линиях. [6]

Метод стоячих волн предназначен для дистанционного определения места повреждения в воздушных линиях. Данный метод основывается на зависимости расстояния до места повреждения от максимального и минимального входного сопротивления. Главным достоинством метода стоячих волн является относительно точное определение места повреждения. Однако у этого метода есть серьезные недостатки, такие как необходимость отключать питающую линию и подключение дополнительного оборудования. [1,2]

Также известен ёмкостный метод нахождения повреждения в кабельных линиях. Основан на измерении ёмкостей с обоих концов линии. Единственным достоинством данного метода является отсутствие дорогостоящего дополнительного оборудования. Основной недостаток ёмкостного метода в том, что необходимо производить замер двух концов кабельной линии.

Можно выделить топографические методы определения места повреждения такие, как индукционные, электромеханические, акустические и потенциальные методы. В основе своей имеют общую схожесть в виде выезда оперативного ремонтного персонала. Это и является главным недостатком данных методов [3]

В заключении можно сделать вывод, что в сетях 6–10 кВ с изолированной либо компенсированной нейтралью наиболее распространенным видом повреждения является однофазное

замыкание на землю, при этом единого эффективного дистанционного метода определения повреждения подходящий и для воздушных и для кабельных линий не существует. Основными причинами являются необходимость некоторых методов в отключении линии от питания, а также использование дополнительного оборудования.

Список использованной литературы

1. Дьяченко М. Д., Миронов А. С., Бурлака В. В., Поднебенная С. К. Совершенствование метода дистанционного выявления поврежденного участка при однофазном замыкании на землю в городских распределительных сетях // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2010. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-metoda-distantsionnogo-vyyavleniya-povrezhdenного-uchastka-pri-odnofaznom-zamykanii-na-zemlyu-v-gorodskih>
2. Зуб Н. С. Определения места повреждения ЛЭП 6–10 кВ при однофазном замыкании на землю // Инновационная наука. 2017. №4–3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredeleniya-mesta-povrezhdeniya-lep-6-10-kv-pri-odnofaznom-zamykanii-na-zemlyu>
3. Катеров Филипп Викторович, Ремесник Обзор топографических методов определения места повреждения линий электропередач // Наука, техника и образование. 2016. №9 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-topograficheskikh-metodov-opredeleniya-mesta-povrezhdeniya-liniy-elektroperedach> (дата обращения: 20.04.2020).
4. Козлов В. К., Киржацких Е. Р., Гиниатуллин Р. А. Исследование влияния переходного сопротивления на определения места однофазного замыкания на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью [Электронный ресурс] : Электроэнергетика и электротехника // Вестник Чувашского университета. — Электрон. текстовые дан. 2019. №1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-perehodnogo-soprotivleniya-na-opredelenie-mesta-odnofaznogo-zamykaniya-na-zemlyu-v-raspre-delitelnyh-setyah-s>
5. Куликов, А. Л., Лукичева И. А. Определение места повреждения линии электропередачи по мгновенным значениям осциллограмм аварийных событий [Электронный ресурс] // Вестник ИГЭУ. — Электрон. текстовые дан. 2016. №5. URL: http://vestnik.ispu.ru/sites/vestnik.ispu.ru/files/published/5-16-str.16-21_0.pdf
6. Куликов А. Л., Обалин М. Д., Осокин В. Ю., Шарафеев Т. Р. Применение имитационного моделирования ЛЭП 6–35 кВ для повышения точности определения расстояния до двойных замыканий на землю // Вестник ИГЭУ. 2018. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-imitatsionnogo-modelirovaniya-lep-6-35-kv-dlya-povysheniya-tochnosti-opredeleniya-rasstoyaniya-do-dvoynyh-zamykaniy-na-zemlyu>
7. Мирошник В. Ю., Батулько Д. В., Ляшков А. А. Методы и алгоритмы для определения места однофазного замыкания на землю в сетях 6–35 кВ с использованием параметров аварийного режима // ОНВ. 2017. №1 (151). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-i-algoritmy-dlya-opredeleniya-mesta-odnofaznogo-zamykaniya-na-zemlyu-v-setyah-6-35-kv-s-ispolzovaniem-parametrov-avariynogo-rezhima>
8. Шабад, М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. — М.: Энергопрогресс, 2007. — 64 с.
9. Шалыт, Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. — М: Энергоатомиздат, 1982. — 312 с.

Ревякин Е. Е.¹, Сушков В. В.²

¹Тюменский Индустриальный Университет (ТИУ), г.Тюмень

² Нижневартровский Государственный Университет (НВГУ), г.Нижневартовск

Моделирование процесса синхронизации изолированного «острова» и энергосистемы

г. Тюмень

Аннотация: В статье рассматривается возможность применения классического метода синхронизации при синхронизации разделившихся нагруженных энергорайонов малой и средней мощности. Актуальность рассматриваемой темы обусловлена развитием систем распределённой генерации при одновременном применении в этих системах методов синхронизации характерных для централизованных энергосистем. В работе представлены зависимости, полученные при моделировании процесса синхронизации в программном комплексе Matlab Simulink, сделаны выводы и даны рекомендации.

Ключевые слова: синхронизация, распределённая генерация, автономная энергосистема.

Revyakin E. E.¹, Sushkov V. V.²

¹Industrial University of Tyumen (TIU), Tyumen

²Nizhnevartovsk State University (NSU), Nizhnevartovsk

Modelling the synchronization process of isolated island and energy system

Tyumen

Abstract: The article discusses the possibility of applying the classical synchronization method for synchronization of separated loaded energy regions of low and medium power. The relevance of the topic under consideration is due to the development of distributed generation systems with the simultaneous application in these systems of synchronization methods characteristic of centralized power systems. The paper presents the dependences obtained by modeling the synchronization process in the Matlab Simulink software package, draws conclusions and gives recommendations.

Keywords: synchronization, distributed generation, autonomous power system.

В последнее время в электроэнергетическом секторе наблюдается повышенный интерес к автономным системам электроснабжения малой и средней мощности [2]. С одной стороны, эта тенденция обусловлена стремлением владельцев частных предприятий различных сфер промышленности стать менее зависимыми от централизованных систем электроснабжения и общеизвестных проблем, связанных с ними. С другой стороны, множество объектов, например, нефтегазовой промышленности строятся или уже введены в эксплуатацию на удалённых от крупных энергосистем территориях, к которым экономически нецелесообразно протягивать новые линии электропередач. Таким образом, использование автономных энергосистем решает множество экономических задач.

Однако в этом случае возникают технические проблемы нехарактерные или малозначимые для крупных объединённых энергосистем. Так, при аварии в автономной энергосистеме, она может распасться на «острова», которые, в частном случае, будут работать на границе

устойчивости, и любое возмущение внутри «острова» может привести к полному отключению нагрузки [5]. Подобное развитие событий крайне нежелательно для потребителей первой категории надёжности, внеплановый перерыв работы которых приводит к значительному ущербу.

Одним из видов возмущений внутри «острова» является бросок тока, возникающий в процессе объединения «островов» и приведения автономной энергосистемы к нормальному режиму работы. Перед включением объединяющего выключателя «острова» синхронизируют между собой. Под синхронизацией понимается приведение электрических параметров одного «острова» — частоты, величины действующего напряжения и угла разности фаз между одноименными напряжениями синхронизируемых объектов — в соответствие с электрическими параметрами другого «острова». Причиной броска тока является несоблюдение условий синхронизации при включении выключателя между «островами», а именно условия равенства частот в момент включения выключателя. Это несоответствие следует из подхода применяемого в процессе синхронизации: для того чтобы привести угол разности фаз между одноименными напряжениями синхронизируемых объектов к нулевому значению, необходимо обеспечить ненулевое значение скорости вращения векторов этих напряжения относительно друг друга. Достигается это путём увеличения скорости вращения ротора генератора в допустимых пределах, следовательно, изменением частоты генерируемого напряжения. В момент, когда векторы напряжений совпадут, и между ними будет отсутствовать угол, включается объединяющий выключатель. Однако наличие ненулевого значения разности частот приводит к броску тока и качаниям ротора, что может послужить причиной неуспешной синхронизации [4].

Следует отметить, что в данной статье рассматривается метод автоматической точной синхронизации, как наиболее подходящий при синхронизации нагруженных «островов». Помимо автоматической точной синхронизации в практике имеют место следующие методы: метод самосинхронизации и ручная точная синхронизация [3]. Метод самосинхронизации не рассматривается, так как при его использовании подразумевается включение ненагруженного и не возбуждённого генератора в сеть, что не соответствует описываемой в этой статье ситуации. Метод ручной точной синхронизации можно применять для синхронизации «островов», однако, алгоритм действий для синхронизации, используемый этим методом аналогичен алгоритму действий метода автоматической точной синхронизации, различие состоит лишь в технической реализации [1].

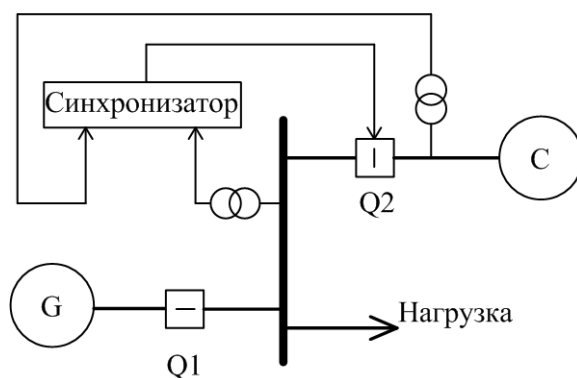


Рис. 1. Участок рассматриваемой энергосистема

Рассмотрим систему, состоящую из генератора G, работающего на выделенную нагрузку, выключатель Q1 замкнут, выключатель Q2 разомкнут. Требуется синхронизировать генератор с системой C. Сигналы, снятые с трансформаторов напряжений, преобразуются и показывают значения электрических параметров в ходе синхронизации. По достижению параметрами

требуемых значений синхронизатор подаёт управляющий импульс на объединяющий выключатель Q2 и последний замыкает свои контакты.

Для упрощения описываемого процесса предположим, что действующие значения синхронизируемых напряжений к моменту уравнивания фаз уже равны. Для определения момента включения выключателя Q2 используется алгебраическая разность напряжения на шинах генератора и напряжения системы — напряжение биений u_s . Моделирование производилось в программном комплексе Matlab Simulink.

В рассматриваемом случае синхронизация углов фаз начинается на 20 секунде (рис. 2). В этот момент скорость генератора увеличивается, и векторы синхронизируемых напряжений начинают вращаться относительно друг друга. Момент, когда огибающая U_s принимает нулевое значение ($t=21$ с), свидетельствует о том, что разность фаз между синхронизируемыми напряжениями равна нулю. Сразу по достижению огибающей U_s нуля, включается объединяющий выключатель Q2.

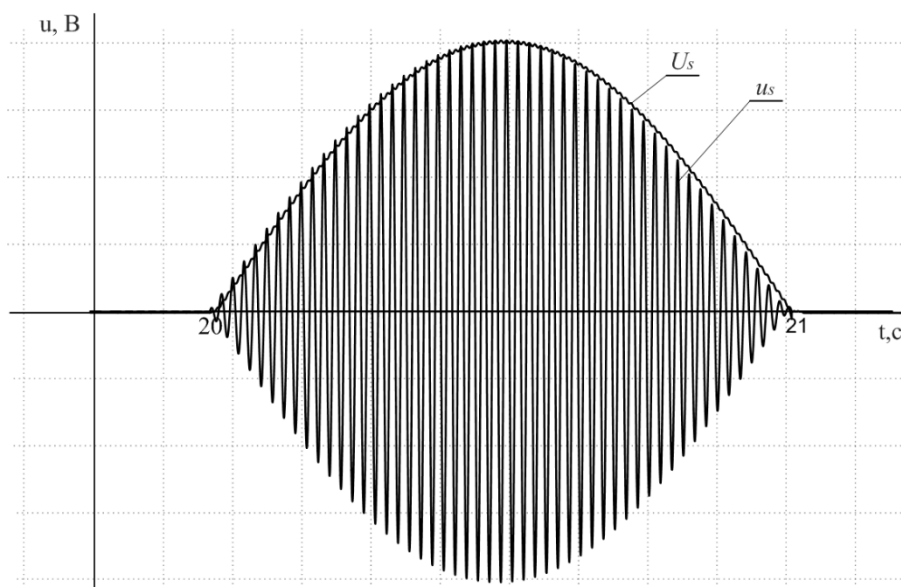


Рис. 2. Напряжение биений (u_s) и огибающая (U_s)

При этом возможна ситуация, когда скорость вращения ротора генератора в момент включения выключателя Q2 не равна синхронной скорости, то есть включение происходит при различных частотах у «острова» и системы. Ниже показана зависимость действующего значения тока на шинах генератора в ходе синхронизации и включения объединяющего выключателя (рис. 3).

Как видно из рис. 3 генератор до синхронизации работал в номинальном режиме при номинальном токе $I_{ном}$. С момента времени t_1 до момента времени t_2 происходит уравнивание фаз напряжений, после чего включается выключатель Q2. Сразу же после объединения «островов» в системе возникает ударный ток $I_{уд}$, который превышает номинальный ток в 1,5 раза. Если генератор работает на пределе статической устойчивости по мощности, то в следствии броска тока, который приведет к резкому увеличению мощности на валу генератора, нарушится устойчивая работа «острова», и последний не втянется в синхронизм с энергосистемой.

Таким образом, применение классического подхода к синхронизации «островов» после распада энергосистемы не всегда обеспечивает надёжное восстановление нормальной работы энергосистемы, за исключением тех случаев, когда генераторы «острова» синхронизируются

с сетью будучи малонагруженным. В настоящее время ведутся исследования в этой области, направленные на разработку новых способов синхронизации.

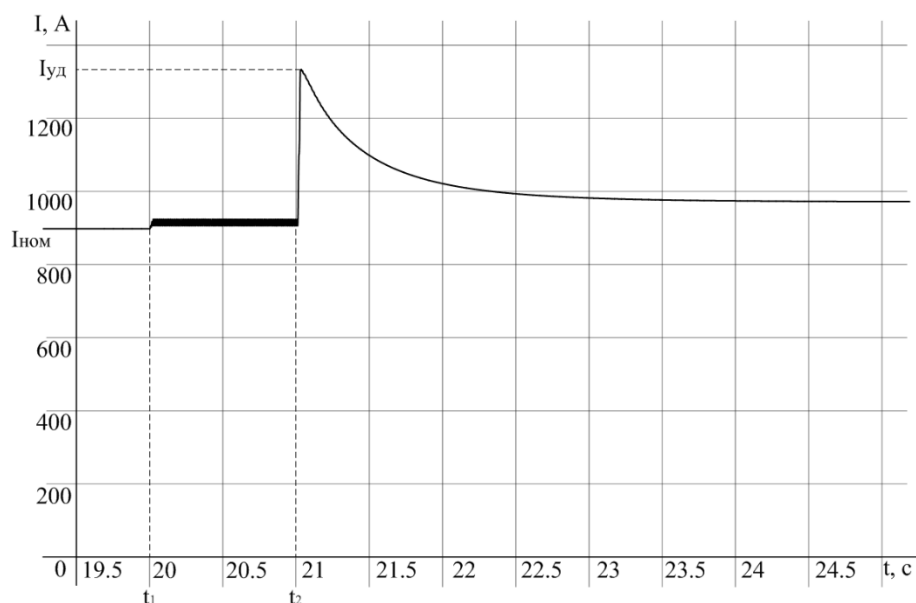


Рис. 3. Зависимость тока в процессе синхронизации

Список использованной литературы

1. Дьяков А. Ф., Овчаренко Н. И. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем. 2-е изд. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. Нгуен Дык Куанг, Воропай Н. И. Динамические характеристики системы электроснабжения с распределённой генерацией при возмущениях в системе // Вестник ИрГТУ. 2012. №8. С. 147–155.
3. Овчаренко Н. И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: учеб. для вузов / под ред. А. Ф. Дьякова. М.: НИЦ ЭНАС, 2000. — 504 с.
4. Павлов Г. М., Меркурьев Г. В. Автоматика энергосистем. СПб.: Центр подготовки кадров РАО «ЕЭС России», 2001.
5. D. Shi, X. Chen, Z. Wang, X. Zhang, Z. Yu, X. Wang, and D. Bian, “A distributed cooperative control framework for synchronized reconnection of a multi-bus microgrid,” IEEE Transaction on Smart Grid, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2017.

Харламова Ю. О., Шилов А. С., Щеголева С. А.

Дальневосточный федеральный университет

Оценка качества в области телекоммуникационных услуг для повышения эффективности работы телекоммуникационных систем

г. Владивосток

Аннотация. В работе показаны основные принципы оценки качества телекоммуникационных услуг, порядок проведения оценки качества. Актуальность оценки качества заключается в необходимости обеспечения требуемого уровня качества для увеличения эффективности функционирования телекоммуникационных сетей с целью получения прибыли.

Ключевые слова: эффективность функционирования телекоммуникационных сетей, телекоммуникационная услуга, качество услуг связи, управление качеством, оценка качества услуг связи.

Kharlamova J. O., Shilov A. S., Schegoleva S. A.

Far Eastern Federal University, Vladivostok

Quality assessment in the field of telecommunications services to improve the efficiency of telecommunications systems

Vladivostok

Abstract. The paper shows the basic principles of assessing the quality of telecommunications services, the procedure for conducting quality assessment. The relevance of quality assessment is the need to ensure the required level of quality to increase the efficiency of telecommunications networks in order to make a profit.

Keywords: efficiency of functioning of telecommunication networks, telecommunication service, and quality of communication services, quality management, evaluation of the quality of communication services.

На сегодняшний день успешное развитие экономики напрямую зависит от качества и бесперебойного предоставления разнообразных телекоммуникационных услуг, степени их надежности и технического совершенства. Рынок телекоммуникационных услуг демонстрирует в последнее десятилетие очень высокие темпы роста, став одним из ключевых секторов экономики развитых стран и играет все большую роль в социально-экономической жизни общества. Нельзя не отметить, что скачок в области телекоммуникационных услуг произошел благодаря повышению качества оказываемых услуг. Повышая качество производственных процессов внутри предприятия, вы автоматически оказываете влияние на оказываемую вами услугу.

Услуги являются экономической деятельностью, направленной на удовлетворение потребностей разного рода организаций, объединений и общества в целом. Современная нормативно-правовая база устанавливает различные виды телекоммуникационных услуг, в которых необходимо осуществлять управление качеством. Телекоммуникационная услуга, в свою очередь, это результат взаимодействия на договорной основе оператора связи и заказчика телекоммуникационной услуги и предоставление пользователю различных удобств для осуществления

связи. Также телекоммуникационная услуга приобрела статус особого товара повседневного спроса, она неотъемлемый атрибут жизнедеятельности современного человека.

Управление качеством, а также контроль и надзор в области оказания телекоммуникационных услуг осуществляет Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) и Федеральное агентство связи (Россвязь).

Оценка качества телекоммуникационных услуг является одним из важнейших элементов системы управления качеством. Она позволяет не только осуществить контроль за качеством обслуживания, но и обеспечивать обратную связь, необходимую для любой устойчивой и способной к развитию системы.

На эффективность работы сетей, систем и устройств телекоммуникаций напрямую влияет качество предоставляемых телекоммуникационных услуг. В связи с увеличением потребностей клиентов, необходимо повышать качество предоставляемых телекоммуникационных услуг, которое зависит от функционирования сетей, систем и устройств телекоммуникаций. И телекоммуникационные компании это прекрасно понимают. Ведь для современного человека телекоммуникационные услуги являются неким атрибутом, без которого просто невозможно функционировать.

В области управления качеством телекоммуникационных услуг существует оценка, контроль и обеспечение качества. Данные элементы являются составными частями управления качеством. Также, в свою очередь, оценка, контроль и обеспечение качества взаимозависимы и взаимодополняют друг друга. Оценкой качества услуг связи является определение показателей качества услуг связи с учетом достоверности и точности количественных значений [2].

Согласно ГОСТ 53724–2009 «Качество услуг связи. Общие положения» оценка качества услуг связи основана на принципах, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Основные принципы оценки качества услуг связи

Телекоммуникационная отрасль является быстроразвивающимся сектором экономики. В целях повышения качества деятельности провайдеров телекоммуникационных услуг и их поставщиков был разработан стандарт TL_9000 с дополнительными по отношению к ISO 9001 отраслевыми требованиями к системам менеджмента качества. В разработке стандарта приняли участие члены международного Форума совершенствования качества поставщиков телекоммуникационных услуг (The Quality Excellence for Suppliers of Telecommunications (QuEST) Forum).

В настоящее время действуют два взаимодополняющих Руководства (стандарта), разработанные QuEST Forum:

1. TL 9000 «Руководство по требованиям к системам менеджмента качества», версия 5.5 (TL 9000 Quality Management System Requirements Handbook Release 5.5) — устанавливает дополнительные по отношению к ISO 9001:2008 требования к системам менеджмента качества;

2. TL 9000 «Руководство по измерениям систем менеджмента качества», версия 5.0 (TL 9000 Quality Management System Measurements Handbook Release 5.0) — устанавливает минимальный набор показателей измерений в целях оценки эффективности деятельности и оценки результатов внедрения системы менеджмента качества

В Российской Федерации действует национальный стандарт ГОСТ Р 53733–2009 «Системы менеджмента качества предприятий, предоставляющих услуги связи. Требования», разработанный с учетом основных положений TL 9000 «Руководство по требованиям к системам менеджмента качества» [1, 3].

Одним из принципов оценки качества услуг связи является оценка, проводимая с позиции пользователя, так как его мнение представляет собой конечную меру качества услуг. Система показателей качества услуги при этом должна характеризовать основные потребительские свойства услуги. Данные свойства выражают качество телекоммуникационной услуги и могут быть определены потребителем лишь в ходе обслуживания и после него. К ним относят:

- доступность услуги;
- надежность (готовность);
- бесперебойность;
- качество обслуживания пользователей (при общении с персоналом);
- качество передачи;
- качество услуги в целом.

Несмотря на оценку качества телекоммуникационных услуг самим предприятием, потребитель все же способствует оценке качества услуги связи, так как именно он является объектом, на который направлено обслуживание. Но потребительская оценка качества услуги связи может быть ненадежной, так как вероятно наличие субъективных моментов, которые могут исказить качественную составляющую телекоммуникационной услуги.

Также отметим, что обеспечение полноты оценки качества услуг заключается в системе показателей качества услуги, которая должна характеризовать основные потребительские свойства услуги на следующих этапах:

1. Доступ к услуге;
2. Предоставление услуги;
3. Поддержка услуги.

Для того чтобы охарактеризовать качество услуги со стороны предприятия необходимо применять такие методы сбора и обработки информации, позволяющие получить количественную оценку качества услуги.

Отметим, что в научной литературе существует достаточно большое количество методик сбора данных, которые разработаны для оценки качества услуг связи. Несмотря на это, не существует единой методики, позволяющей объективно и полно оценить достигнутый уровень качества услуг связи. Ввиду этого возникает необходимость одновременного применения нескольких методик с предварительной их адаптацией для учета специфических особенностей предоставления телекоммуникационных услуг.

К методикам сбора данных относятся анализ статистических данных, экспертные оценки, проведение тестовых соединений, проведение испытаний с помощью программных средств, проведение испытаний с помощью контрольно-измерительной аппаратуры и т. д.

Порядок проведения оценки качества услуг связи, включает основные составляющие элементы, которые представлены с краткой характеристикой на рис. 2 [1].

1. Идентификация услуги	•Идентификация должна заключаться в описании услуги в терминах, понятных потребителю и исполнителю. При этом описание услуги должно включать в себя определение услуги, общую характеристику услуги, описание возможностей услуги и т.д.
2. Определение этапов оказания услуги	•Совокупность этапов должна быть представлена «Алгоритмом оказания услуги». Основные этапы оказания услуг каждого вида: предварительный этап, заключение договора, этап собственно оказания услуги пользователю, расчет за услугу, поддержка услуги.
3. Выделение потребительских свойств услуги	•Основными потребительскими свойствами услуг связи являются доступность услуги, надежность, бесперебойность, качество обслуживания пользователей, качество передачи, качество услуги в целом
4. Определение состава показателей качества услуги	•Система показателей качества услуги должна отражать основные потребительские свойства конкретной услуги применительно к определенному этапу ее оказания. Показатели должны быть подлежащими измерению.
5. Определение состава эталонных значений показателей	•Эталонные значения показателей качества услуг связи должны быть выбраны из значений, определенных действующей на момент проведения оценки нормативно-правовой документацией.
6. Выбор методов сбора данных	•Методы сбора данных для оценки качества услуг связи должны обеспечивать полноту, достоверность и эффективность получения информации.
7. Сбор данных	•Сбор данных следует проводить в соответствии с разработанной программой работ, которая должна включать в себя представление видов выполняемых работ, условий, места и времени их проведения, используемых методов сбора данных, ответственных лиц.
8. Обработка данных и конечная оценка качества услуги	•Обработка данных должна быть выполнена с использованием математико-статистических методов. Конечная оценка должна включать в себя оценку соответствия фактического значения показателей их эталонным значениям и степени выполнения эталонных значений показателей.

Рис. 2. Порядок проведения оценки качества услуг связи

Порядок проведения оценки качества телекоммуникационных услуг, представленный на рис. 2, является общим для осуществления управления качеством.

Оценка услуг связи осуществляется по показателям качества к которым относятся следующие:

- уровень сигнала сети мобильной связи;
- доля неуспешных попыток установления голосового соединения;
- доля обрывов успешно установленных соединений;
- доля голосовых соединений с низкой разборчивостью речи;
- доля недоставленных сообщений;
- время доставки сообщений;
- доля неуспешных сессий по протоколу;
- среднее значение скорости передачи данных к абоненту;
- время открытия тестовой страницы;
- успешность регистрации в сети оператора связи;

– доля удовлетворенных абонентов.

Данные показатели качества услуг связи служат разным целям и отражают разные аспекты качества связи, однако между ними существует внутренняя взаимосвязь и взаимозависимость.

При осуществлении своей деятельности в области оказания телекоммуникационных услуг предприятие самостоятельно выбирает подходы к оценке, контролю и обеспечению качества в области телекоммуникационных услуг, учрежденные в нормативных актах, которые устанавливают требования к качеству услуг связи.

Рынок телекоммуникационных услуг является наиболее динамично развивающимся сектором экономики страны и в связи с этим нужно осуществлять управление качеством в сфере связи. Также уровень развития телекоммуникационной отрасли напрямую зависит от качества услуг, технологий, систем связи. Для осуществления управления качеством в области телекоммуникационных услуг необходимо своевременно выявлять проблемы оценки качества для предотвращения дальнейших неполадок в системе предоставления услуг.

Проблема оценки качества телекоммуникационных услуг состоит в том, что услуги не являются вещественными. Следовательно, трудно подтвердить качество телекоммуникационных услуг, так как оценка качества осуществляется по количественным показателям, которые собирают посредством различных методик. Кроме того, качество услуги может зависеть от множества субъективных факторов. В общем случае показатели качества зависят от системы взаимоотношений с потребителями, системы обучения персонала, системы мотивации, а также системы управления качеством.

Признано, что важным фактором, влияющим на конкурентоспособность предприятий, предоставляющих услуги связи, является качество телекоммуникационных услуг, которое также зависит от оценки качества.

Таким образом, для обеспечения высокого уровня качества с целью повышения эффективности работы телекоммуникационных систем необходима соответствующая материальная база, а именно используемые в производственных процессах оборудование, материалы, технологии, сооружения, соответствующие требованиям стандартов и других нормативных документов. Нужна соответствующая нормативная база, которая устанавливает нормы, требования, нормативные значения, порядок проведения оценки качества, номенклатуру основных показателей, методы измерений, концепции, принципы в области оказания телекоммуникационных услуг.

Также необходим заинтересованный и квалифицированный персонал, квалификацию которого периодически повышают посредством обучения. Но помимо вышесказанного, для повышения качества связи нужна хорошо отлаженная организация работ, сопровождающаяся высококачественным сервисом и согласованной совместной работой подразделений, контролируемая со стороны высшего менеджмента, а также четкое управление качеством.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 53724–2009 Качество услуг связи. Общие положения. — Введ. 2011–01–01. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.: ил.
2. Букрина Е. В. Сети связи и системы коммутации: учебное пособие. Екатеринбург: УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2007. 186 с.
3. Официальный сайт Института технического регулирования, стандартизации и сертификации [Электронный ресурс] / Электрон. дан. — URL: <http://itrc-iso.ru/sistemy-menedjmenta/sistemy-menedjmentakas>

Вильбергер М. Е.¹, Попов Н. С.¹, Домахин Е. А.¹, Сингизин И. И.¹, Аниброев В. И.¹

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Определение показателей качества сервоприводов с применением компьютерного зрения

г. Новосибирск

Аннотация. Правильный выбор электрической машины напрямую влияет на показатели качества технологического процесса. Для робота-манипулятора ключевыми являются показатели точности позиционирования и повторяемости движения. Наиболее подходящим под эти требования является сервопривод с обратной связью по положению. Для определения показателей качества регулирования привода был собран экспериментальный стенд и разработано программное обеспечение для проведения эксперимента с применением компьютерного зрения, также был произведен анализ полученных данных, выявивший существенные недостатки данного типа привода.

Ключевые слова: мехатроника, робототехника, робот-манипулятор, электрическая машина, компьютерное зрение.

Vilberger M. E.¹, Popov N. S.¹, Domakhin E. A.¹, Singizin I. I.¹, Anibroev V. I.¹

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

Servo drive quality indicators determination with application of computer vision technology

Novosibirsk

Abstract. The right choice of an electric machine directly affects the quality indicators of the technological process. Positioning accuracy and movement repeatability are key parameters for the robot. A servo drive with position feedback is most suitable for these requirements. A robot based on DC servo drive was built for educational purposes. To determine the quality indicators of the drive control, an experimental setup was built and software was developed to conduct the experiment using computer vision. As a result of the obtained data analysis significant shortcomings of this drive type were detected.

Keywords: mechatronics, robotics, robotic arm, electric machine, computer vision.

Автоматизация технологических процессов и производств оказывает все большее влияние на различные отрасли промышленности, что в свою очередь отражается на таких важных факторах, как эффективность производства, качество продукции и ее себестоимость. Наблюдается тенденция на внедрение в производственный процесс многокоординатных роботов-манипуляторов, которые способны выполнять широкий спектр задач в зависимости от специфики рабочего органа.

В данной статье рассматривается привод пятикоординатного робота-манипулятора из органического стекла, изготовленного в учебных целях, 3D макет которого представлен на рис. 1. Робот реализован на базе сервомотора MG995. Сервомотор представляет собой электропривод в едином корпусе, включающий в себя плату управления, редуктор, потенциометр и двигатель постоянного тока. Система управления выполнена на базе микроконтроллера (Arduino Mega).

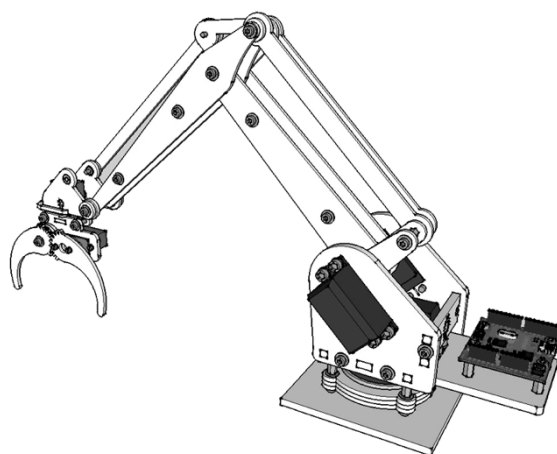


Рис. 1. Пятикоординатный робот-манипулятор

Был проведен эксперимент, который позволяет определить такие показатели качества как точность позиционирования и повторяемость отдельного позиционного сервопривода. Также производилось косвенное измерение температуры корпуса сервомотора.

На рис. 2 приведена экспериментальная установка, которая включает:

- 1) привод с закрепленным на валу рычагом;
- 2) плату управления (Arduino Mega);
- 3) датчик температуры;
- 4) световой экран;
- 5) устройство захвата изображения (веб-камера);
- 6) блок питания.

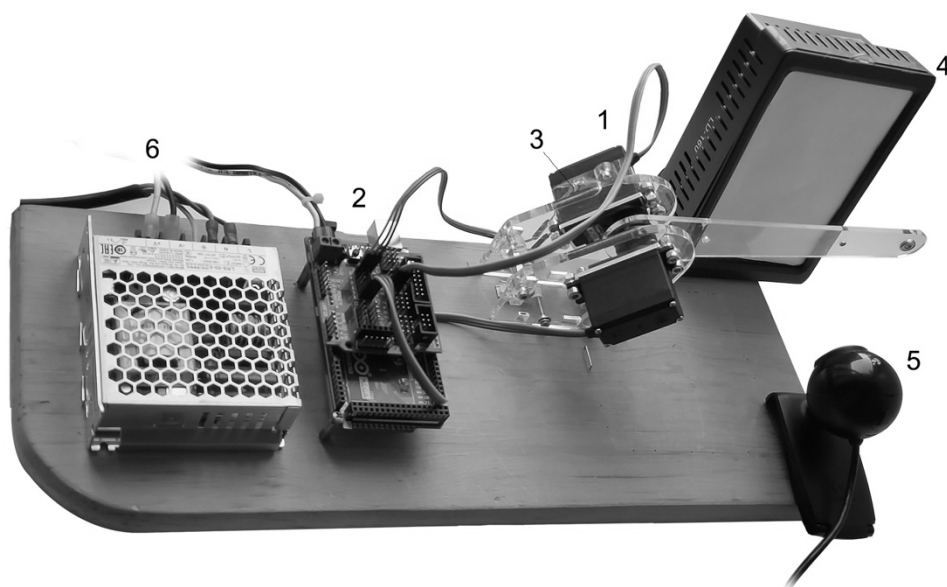


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка подключена к персональному компьютеру с запущенной управляющей программой, написанный на языке Python 3. На плату управления двигателем через COM-порт отправлялся сигнал задания для установки вала двигателя в заданные угловые положения, затем груз некоторое время удерживался. В момент удержания проводилась съем-

ка. После обработки изображения с камеры, получено монохромное изображение, по которому вычислялся барицентр формы — среднее арифметическое всех точек в форме. Так как изображение растровое и состоит из пикселей, то имеет конечное количество точек и вычисляется по формуле:

$$c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1)$$

После обработки в графическом редакторе всей выборки из трехсот кадров была получена карта распределения, представленная на рис. 3, где 1 и 2 — это области положения отслеживаемой точки без нагрузки, а 3 и 4, соответственно, положения при нагрузке двигателя номинальным моментом.

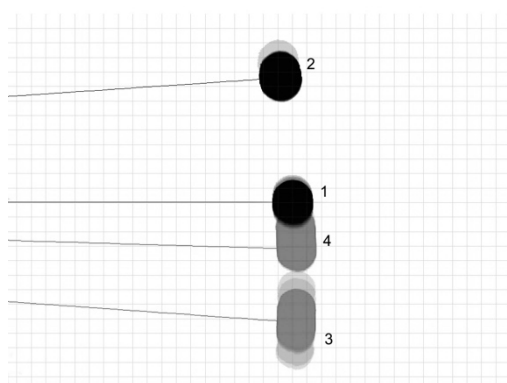


Рис. 3. Карта распределения положений

Результаты эксперимента представлены в табл. 1:

Таблица 1.

Результаты эксперимента

1	2	3	4
Сигнал задания			
0	5	0	5
Фактическое угловое положение			
0	3,823749867	-3,87306575	-1,674091239
Отклонение от желаемого			
0	-1,176250133	-3,87306575	-6,674091239
Ошибка позиционирования			
0,2387331054	0,3819746929	3,105041034	0,7162158962

Желаемая точность позиционирования не была продемонстрирована. Отклонение фактического положения от желаемого на холостом ходу оказалось более 1 градуса, а под нагрузкой более 3 градусов. Повторяемость для режима работы на холостом ходу оказалась довольно высокой, и ошибка позиционирования не превышала 0.4 градуса, однако при нагрузке номинальным моментом увеличилась более чем на 3 градуса.

Такие показатели качества не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к данному механизму, а также не могут быть скорректированы, поскольку характер изменения отклонений от заданных значений не является закономерным. Также было отмечено, что в режиме удержания сервомоторы интенсивно нагревались.

Таким образом, в ходе эксперимента и эксплуатации были обнаружены существенные недостатки в данном исполнении робота-манипулятора. Во-первых, конструкция из органического стекла не обеспечивает необходимую жесткость, ввиду большого количества подвижных соединений. Во-вторых, сервопривод постоянного тока не позволяет добиться высокой точности позиционирования рабочего органа. В-третьих, из-за особенностей режима работы манипулятора и принципиального устройства сервопривода робот-манипулятор не может использоваться продолжительное время, так как двигатель постоянного тока слишком быстро перегревается.

В связи с вышеперечисленными недостатками принято решение отказаться от использования сервоприводов на базе двигателей постоянного тока, а также изменить подход к реализации кинематической схемы.

Список использованной литературы

1. Рощин Д. А. Способ применения компьютерного зрения для повышения точности проведения съемок местности. М.: Синергия, 2017. 13 с.
 2. Шапиро Л. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
-

Вильбергер М. Е.¹, Попов Н. С.¹, Домахин Е. А.¹, Сингизин И. И.¹, Аниброев В. И.¹

¹Новосибирский государственный технический университет

Сравнительный анализ прикладных программных комплексов matlab-simulink и simintech при синтезе системы стабилизации скорости двигателя постоянного тока

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье рассматривается сравнительный анализ результатов моделирования системы подчиненного регулирования (СПР) для системы стабилизации скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ). Результаты получены в среде MATLAB/Simulink и среде динамического моделирования динамических систем SimInTech.

Ключевые слова: математическое моделирование, переходные процессы, подчиненное регулирование, пи-регулятор.

Vilberger M. E.¹, Popov N. S.¹, Domakhin E. A.¹, Singizin I. I.¹, Anibroev V. I.¹

¹Novosibirsk State Technical University

Comparison study of computer aided engineering applications matlab-simulink and simintech for dc motor speed control system design

Novosibirsk

Abstract. The article considers simulation results comparison study of cascaded controlled DC motor speed control loop. Results were obtained independently in two computer-aided engineering applications MATLAB-Simulink and SimInTech. Simulation analysis was executed with PC.

Keywords: Simulation analysis, transient process analysis, cascaded control, PI-controller, MATLAB, SimInTech

На сегодняшний день, математическое моделирование является важным аспектом во всех отраслях современного производства. Любой высокотехнологичный и наукоёмкий проект не обходится без предварительного моделирования физических процессов, протекающих в нем. Математическое моделирование позволяет определить поведение системы, помогает рассмотреть возможные результаты процесса при различных настройках параметров системы.

Современное ПО находится в постоянном совершенствовании, позволяя с каждым днем осуществлять моделирование все более сложных и современных процессов из различных областей науки и техники. Как правило, результаты математического моделирования и осциллограммы реального изменения какой-либо из величин технического процесса практически идентичны, что говорит о высокой точности математических моделей.

В настоящий момент, наиболее распространенной и востребованной средой моделирования является MATLAB/Simulink [1]. Огромное количество инженеров по всему миру используют этот продукт во всех сферах деятельности. MATLAB позволяет производить расчеты и моделирование сложнейших систем самыми различными математическими методами.

SimInTech — это среда создания математических моделей, алгоритмов управления, интерфейсов управления а также, что не маловажно, автоматической генерации кода для программируемых контроллеров и графических дисплеев [2].

В качестве примера в данной статье рассматривается синтез и моделирование системы стабилизации скорости ДПТ НВ. Синтез регулятора скорости (РС) выполнен с использованием широко известного подхода СПР. Данный подход в применении к реверсивному тиристорному электроприводу ДПТ НВ предусматривает синтез двухконтурной системы. Внутренним контуром является контур регулирования тока якоря (КРТ), внешним контур регулирования скорости (КРС). Для простоты дальнейших теоретических выкладок синтез КРТ вынесен за рамки данной статьи. Соответственно, КРТ, синтез которого выполнен на модульный оптимум (МО), представляется в виде апериодического звена первого порядка согласно идеологии СПР.

Структурная схема для синтеза РС приведена на рис. 1.

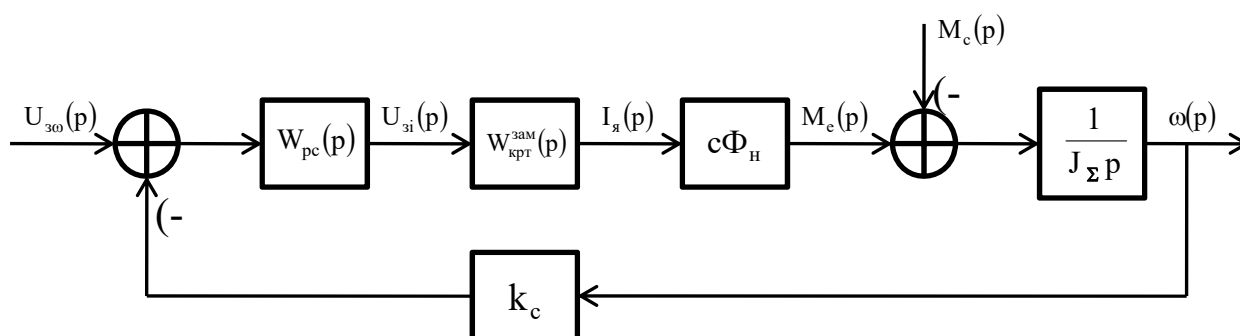


Рис. 1. Структурная схема для синтеза КРС

Параметры системы приведены в табл.2.

Таблица 1.

Параметры системы

$\Phi_H, \text{В} \cdot \text{с}$	$J_\Sigma, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$k_T, \text{В/А}$	$k_c, \text{В} \cdot \text{с}$	$\tau_{\text{мт}}, \text{с}$
1.9	0.096	0.4	0.075	0.003

Передаточная функция замкнутого КРТ имеет следующий вид:

$$W_{\text{крт}^{\text{зам}}}(p) \cong \frac{1/k_{\text{ия}}^{\text{ос}}}{a_{\text{я}} \cdot \tau_{\text{мт}^{\text{я}}} p + 1} = \frac{1/k_{\text{ия}}^{\text{ос}}}{\tau_{\text{мс}} p + 1}.$$

При настройке КРС на симметричный оптимум (СО), возможно получение пропорционально-интегрального (ПИ) РС [3], передаточная функция РС выражается в виде:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{k_{\text{ия}}^{\text{ос}} \cdot J \cdot (a_c^2 \cdot \tau_{\text{мс}} \cdot p + 1)}{a_c^3 \cdot \tau_{\text{мс}}^2 \cdot c\Phi_H^{\text{дв}} \cdot k_{\omega}^{\text{ос}} \cdot p} = \frac{k_{\text{ия}}^{\text{ос}} \cdot J}{c\Phi_H^{\text{дв}} \cdot k_{\omega}^{\text{ос}} \cdot a_c \cdot \tau_{\text{мс}}} + \frac{k_{\text{ия}}^{\text{ос}} \cdot J}{a_c^3 \cdot \tau_{\text{мс}}^2 \cdot c\Phi_H^{\text{дв}} \cdot k_{\omega}^{\text{ос}} \cdot p} = k_{\text{п}} + \frac{k_{\text{и}}}{p}$$

Для повышения качества переходных процессов на вход КРС устанавливается апериодический фильтр:

$$W_{\text{ф}}(p) = \frac{1}{4 \cdot \tau_{\text{мс}} \cdot p + 1}$$

Модель системы в прикладном пакете Matlab — Simulink приведена на рис. 2, в прикладном пакете SimInTech — рис. 3.

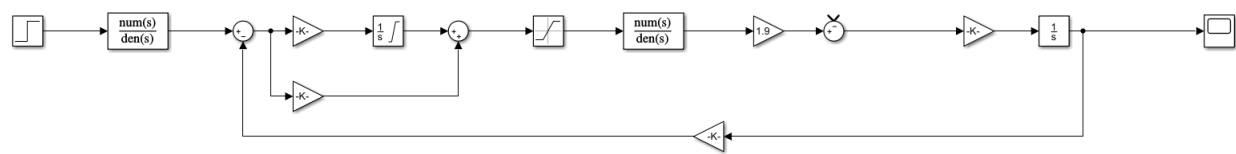


Рис. 2. Структурная схема системы в программном комплексе Matlab-Simulink

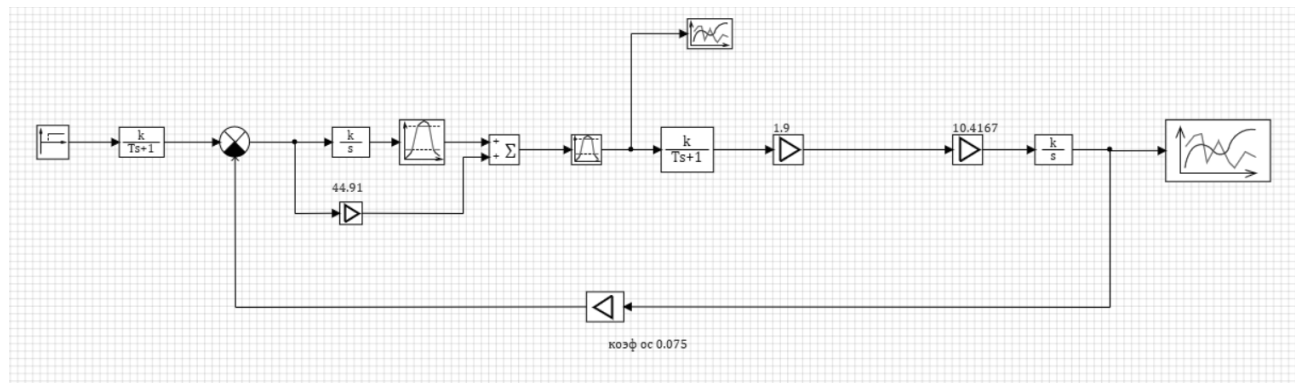


Рис. 3. Структурная схема системы в программном комплексе SimInTech

В качестве примера для сравнительного анализа результатов моделирования КРС используется запуск ДПТ НВ до скорости идеального холостого хода (XX), при этом нагрузка на валу двигателя отсутствует.

Настройки решателя в каждом программном комплексе выбраны аналогичными для обеспечения наиболее релевантного сравнения результатов моделирования. Настройки решателя приведены в табл. 2.

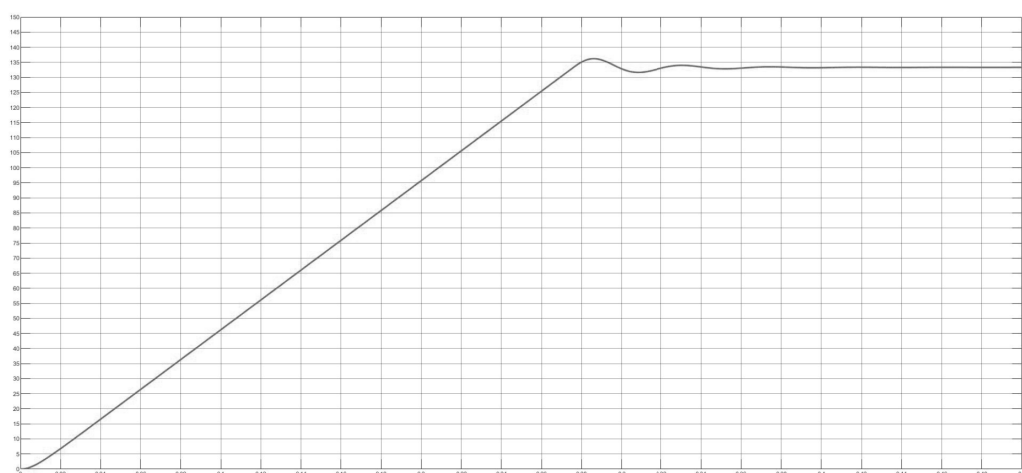
Таблица 2.

Параметры настроек решателя

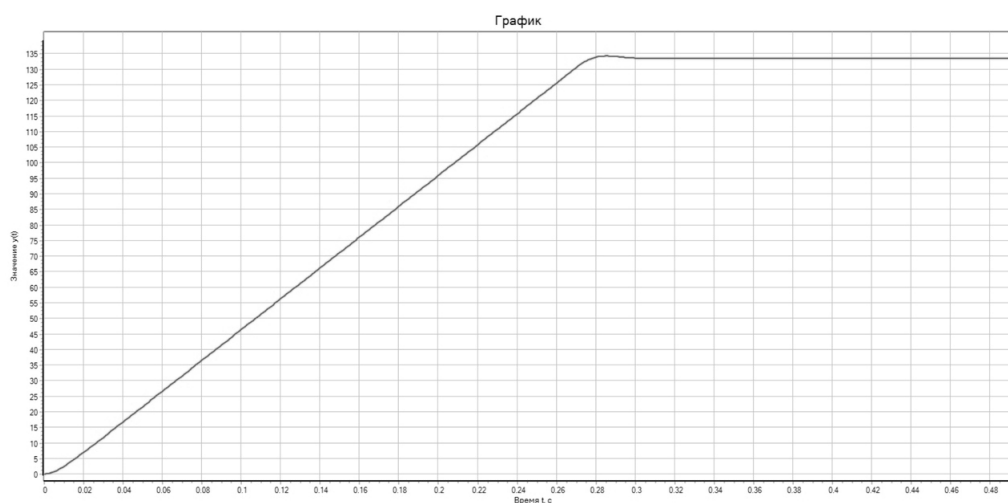
Программный комплекс	Метод решения	Величина шага
Matlab — Simulink	RK45 (ode5,Dormand-Prince)	1E-5
SimInTech	RK45	1E-5

Осциллограммы переходных процессов по частоте вращения вала ДПТ НВ в комплексе Matlab — Simulink и SimInTech приведены на рис. 4.

Анализ переходных процессов не показывает значительной разницы в показателях качества при моделировании системы двумя прикладными комплексами. Показатели качества переходных процессов в исследуемых программных комплексах в табл. 3. Колебательность процесса в комплексе Matlab — Simulink превышает аналогичный показатель для программного комплекса SimInTech



а



б

Рис. 4. Переходные процессы в контуре регулирования скорости. а-Прикладной пакет Matlab-Simulink; б — прикладной пакет SimInTech.

Таблица 3.

Показатели качества переходного процесса

Программный комплекс	Установившееся значение, рад/с	Время регулирования, с	Макс перерегулирование, %
Matlab — Simulink	133.33	0.262	2.23
SimInTech	133.45	0.266	1.10

Время затраченное на расчет при использовании MATLAB-Simulink, составляет -12.3 с, время, затраченное на выполнение моделирования при помощи SimInTech — 3 с. Стоит отметить, что моделирование в комплексе Matlab-Simulink выполнялось при настройке «Normal» для параметра Simulation mode, то есть не использовался режим ускорения моделирования.

Проведенный выше анализ синтеза КРС для ДПТ НВ показывает возможность выполнения имитационного моделирования при синтезе РС для ДПТ НВ в программных комплексах MATLAB-Simulink и SimInTech. Полученные при моделировании результаты не показывают значительной разницы. Время расчета переходного процесса при выполнении моделирования в случае использования SimInTech получилось меньше, чем в случае использования MATLAB-Simulink в 4 раза. В дальнейшем, необходимо выполнить проверку синтезированного регулятора на реальном объекте.

Список использованной литературы

1. Дьяконов В. П. MATLAB полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2012. 768 с.
 2. Карташов Б. А., Шабает Е. А., Козлов О. С., Щекатуров М. А. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования. М.: ДМК Пресс, 2017. 424 с.
 3. Панкратов В. В. Автоматическое управление электроприводами. Новосибирск: НГТУ, 2013. 200 с.
-

Коваленко Д. В.¹

¹Омский государственный технический университет (ОмГТУ)

Разложение нестационарного сигнала на частотные составляющие с применением различных методов цифровой обработки сигналов

г. Омск

Аннотация. В работе выполнена частотная декомпозиция анализируемого нестационарного (изменяющегося во времени) сигнала тока, содержащего высшие гармоники. Разложение на частотные составляющие выполнено с использованием различных методов цифровой обработки сигналов: преобразования Фурье, дискретного (ДВП) и пакетного вейвлет-преобразования (ПВП). Показан главный недостаток преобразования Фурье — «эффект растекания спектра». Выполнен расчет действующих значений токов высших гармоник анализируемого сигнала.

Ключевые слова: Качество электрической энергии, вейвлет-преобразование, преобразование Фурье, действующие значения.

Kovalenko D. V.¹

¹Omsk State Technical University (OmSTU)

Decomposition a non-stationary signal of frequency components of with application of various methods of digital signal processing

Surgut

Abstract. A frequency decomposition of the analyzed non-stationary (time-varying) current signal containing higher harmonics was performed. The decomposition into frequency components was performed using various methods of digital signal processing: discrete Fourier transform (DFT) and packet wavelet transform (PWT). The main drawback of the Fourier transform is shown — the «spreading effect of the spectrum». The calculation of the effective values of the currents of the higher harmonics of the analyzed signal is performed.

Keywords: The quality of electrical energy, wavelet transform, Fourier transform, effective values.

В последнее десятилетие произошло существенное увеличение электроприемников с нелинейной вольт-амперной характеристикой, которые генерируют широкий спектр высших гармоник в питающую сеть. Наличие высших гармоник приводит к различным негативным последствиям для элементов электрических сетей, к которым можно отнести следующие: дополнительный нагрев токоведущих частей электроустановок, дополнительные потери активной мощности, уменьшение пропускной способности элементов сети, появление резонансных режимов вблизи частот высших гармоник, ускоренный износ конденсаторных батарей и других устройств компенсации реактивной мощности в сети [1, 8].

В связи с ускоренным развитием электроники и автоматики в последние годы становится возможным разработать алгоритмы и программы, которые позволят выполнить цифровую об-

работку сигналов и проводить анализ режимов работы электроэнергетических систем в реальном времени и проводить постоянный мониторинг показателей качества электроэнергии. К методам цифровой обработки сигналов, известных в настоящий момент и позволяющих выполнять контроль ПКЭ в электрических сетях, относятся следующие: преобразование Фурье (ПФ), непрерывное вейвлет-преобразование (НВП), дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) и пакетное вейвлет-преобразование (ПВП).

Цели предлагаемой работы — сравнение результатов, полученных разными методами цифровой обработки сигналов, показать реализацию вейвлет-преобразования на примере частотной декомпозиции нестационарного несинусоидального сигнала с использованием вейвлета Хаара и показать недостатки преобразования Фурье.

Вейвлет-преобразование анализируемой функции, которая характеризует параметры режима электроэнергетической системы (тока, напряжения, мощности и др.), $i(t)$ реализуется путем преобразования исходной функции (например, $i(t)$) и вейвлет-функции $\psi(t)$ [5]. Такая операция может быть представлена следующей формулой:

$$\Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \int_{-\infty}^{+\infty} i(t) \psi(2^j t - k) dt, \quad (1)$$

где k — параметр временного сдвига,

j — параметр масштаба,

$1/\sqrt{2^j}$ — коэффициент фильтра.

Вейвлет-преобразование подразделяется на непрерывное, дискретное и пакетное (также является разновидностью дискретного). В данной работе проиллюстрируем частотную декомпозицию параметров несинусоидального режима на основе разновидности дискретного ВП, называемого пакетным ВП.

Зададим сигнал тока рядом Фурье (суммой гармонических колебаний различных частот):

$$i(t) = I_{1m} \sin(\omega t - \varphi_1) + I_{3m} \sin(3\omega t - \varphi_2) + I_{5m} \sin(5\omega t + \varphi_3) + I_{7m} \sin(7\omega t + \varphi_4), \quad (2)$$

Отметим, что цифровой сигнал (в отличие от аналогового) определяется совокупностью отсчетов $i(t_j)$, количество которых определяется теоремой Котельникова и зависит от выбора частоты дискретизации (F_d):

$$F_d \geq F_m, \quad (3)$$

где F_m — максимальная частота сигнала, Гц.

Анализируемый сигнал приведен на рис. 1. Мы видим, что преобразование Фурье в случае нестационарного (постоянно изменяющегося) во времени не позволяет провести корректный анализ сигнала за счет появления эффекта «растекания спектра», что вынуждает нас применять альтернативные методы цифровой обработки сигналов, в частности, вейвлет-преобразование [2].

Так как максимальная частота анализируемого сигнала составляет $F_m = 350$ Гц (7 гармоника), поэтому согласно (4) примем частоту дискретизации (F_d) равной 800 Гц. Зная частоту дискретизации (F_d) и промежуток времени, за который проводится анализ сигнала (T_m), легко рассчитать число мгновенных отсчетов дискретной величины по следующей формуле:

$$n = T_m F_d, \quad (4)$$

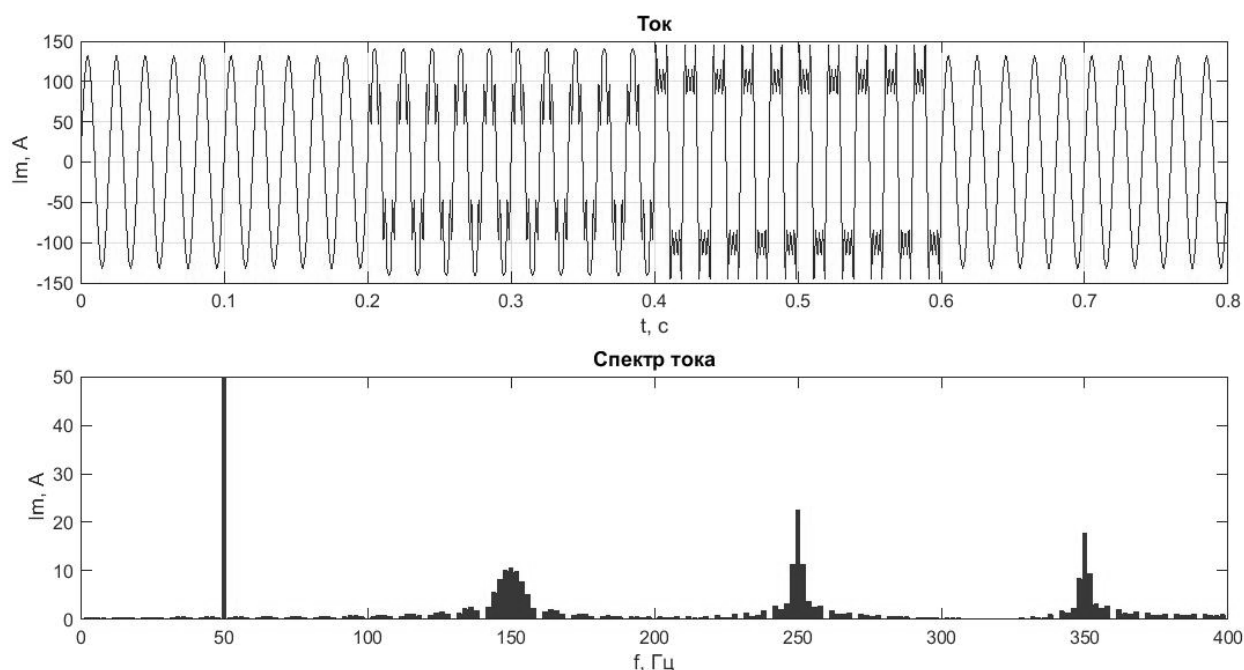


Рис. 1. График тока и Фурье-спектра при нестационарном режиме работы электроустановки

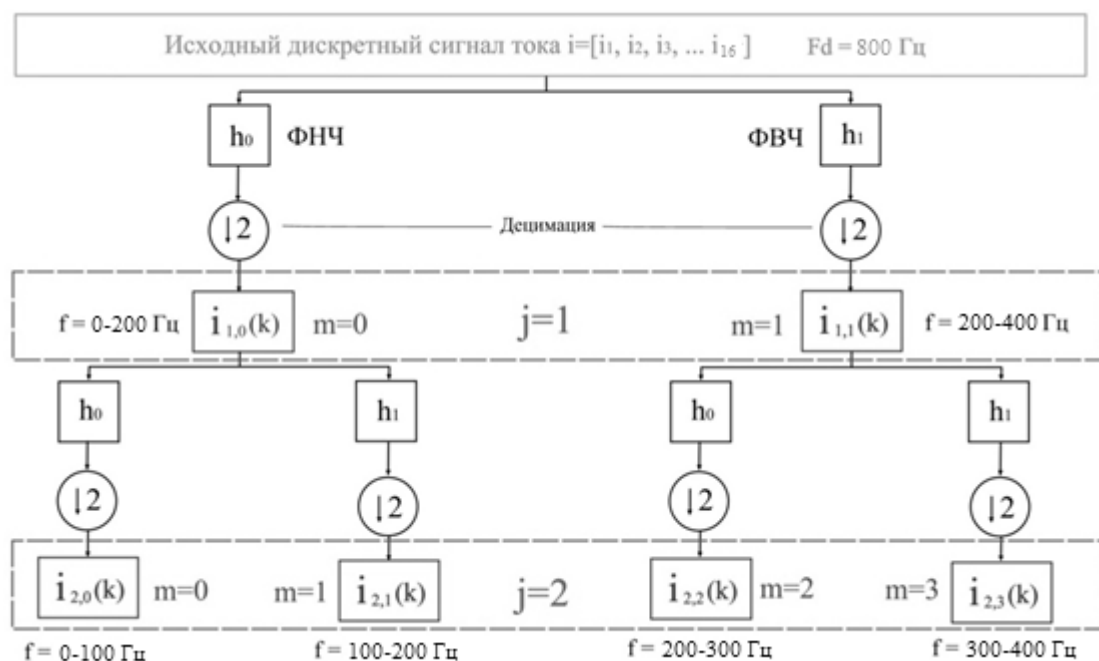


Рис. 2. Блок-схема пакетного вейвлет-преобразования

В нашем случае за один период промышленной частоты ($T_m=0,02$) количество отсчетов, вычисленное с использованием формулы (4), составляет: $n = 0,02 \cdot 800 = 16$. Исходя из этого, анализируемый сигнал в дискретной форме может быть представлен в матричном виде с использованием выражения (5):

$$i(t_s) = [i_0 \quad i_1 \quad i_2 \quad \dots \quad i_{n-1}], \quad (5)$$

Для нашего численного эксперимента:

$$i(t_s) = [i_0 \ i_1 \ i_2 \ \dots \ i_{15}].$$

Полученная матрица, состоящая из 16 мгновенных значений функции тока, будет представлять собой начальный («нулевой») уровень вейвлет-преобразования ($j_0=0$). На рис. 2 показана схема пакетного вейвлет-преобразования, демонстрирующая принцип разложения сигнала на частотные составляющие. На первом уровне разложения сигнала ($j_1=j_0+1=1$) происходит децимация (прореживание) дискретного числового ряда. В результате децимации происходит уменьшение количества элементов матрицы исходного («нулевого») уровня разложения в два раза и одновременно с этим происходит увеличение количества узлов — также в два раза ($m=0$, $m=1$). Следовательно, после проведения операции децимации мы получаем 2 узла разложения вместо одного и уменьшение количества элементов матрицы каждого узла с 16 до 8. Например, матрица мгновенных значений тока для узла $j=1$, $m=0$ для нашего случая будет выглядеть следующим образом:

$$i_{j,m}(k) = i_{1,0}(k) = [i_{1,0}(0) \ i_{1,0}(1) \ i_{1,0}(2) \ i_{1,0}(3) \ i_{1,0}(4) \ i_{1,0}(5) \ i_{1,0}(6) \ i_{1,0}(7)].$$

где k — порядковый номер элемента матрицы дискретных значений тока. Для любого k справедливо неравенство (6):

$$2^{-j} m \leq k_{j,m} \leq 2^{-j} n(m+1) - 1, \quad (6)$$

где j — глубина разложения сигнала,

m — порядковый номер узла.

Для реализации вейвлет-преобразования нужно выбрать тип вейвлет-разложения (дискретное или пакетное), масштабирующую функцию $\varphi(t)$ и вейвлет-функцию $\psi(t)$, способные создать базисы, необходимых для декомпозиции и восстановления сигнала [7]. Самой простой и наглядной вейвлет-функцией, на примере которой можно пояснить механизм процедуры, является вейвлет Хаара (рис. 3), который может быть задан аналитически:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq t \leq 1, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}, \quad (7)$$

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}. \quad (8)$$

Покажем процедуру децимации, расчет аппроксимирующих ($i_{1,0}$) и детализирующих ($i_{1,1}$) коэффициентов на примере вейвлет-преобразования с использованием вейвлета Хаара для узлов $m=0$ и $m=1$ первого уровня декомпозиции ($j=1$).

$$i_{1,0}(0) = \frac{i_{0,0}(0) + i_{0,0}(1)}{\sqrt{2}} = \frac{0 + 145,586}{\sqrt{2}} = 102,945$$

$$i_{1,1}(8) = \frac{i_{0,0}(0) - i_{0,0}(1)}{\sqrt{2}} = \frac{0 - 145,586}{\sqrt{2}} = -102,945$$

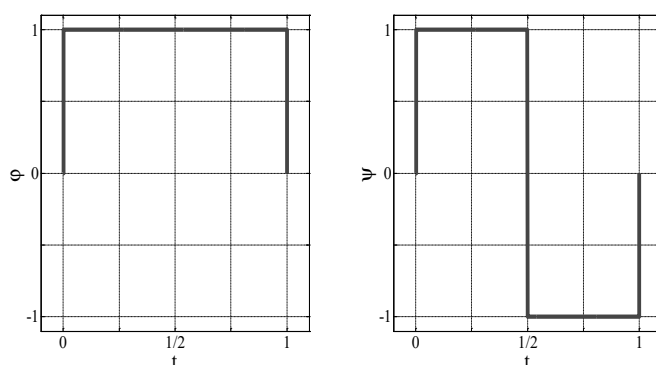


Рис. 3. Масштабирующая функция $\varphi(t)$ и вейвлет Хаара $\psi(t)$

$$i_{1,0}(k) = \begin{bmatrix} i_{1,0}(0) \\ i_{1,0}(1) \\ i_{1,0}(2) \\ i_{1,0}(3) \\ i_{1,0}(4) \\ i_{1,0}(5) \\ i_{1,0}(6) \\ i_{1,0}(7) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 102,945 \\ 141,008 \\ 143,524 \\ 162,418 \\ -102,945 \\ -141,008 \\ -143,524 \\ -162,418 \end{bmatrix} \quad i_{1,1}(k) = \begin{bmatrix} i_{1,0}(8) \\ i_{1,0}(9) \\ i_{1,0}(10) \\ i_{1,0}(11) \\ i_{1,0}(12) \\ i_{1,0}(13) \\ i_{1,0}(14) \\ i_{1,0}(15) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -102,945 \\ -22,061 \\ -19,544 \\ -43,472 \\ 102,945 \\ 22,061 \\ 19,544 \\ 43,472 \end{bmatrix}$$

Тогда действующее значение тока можно рассчитать, подставляя коэффициенты вейвлет-преобразования в выражение (9):

$$I_{j,m} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{2^{-j}m}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}^2(k)}, \quad (9)$$

Стоит отметить, что при определении действующего значения тока определенной полосы частот (расчет действующих значений гармоник) следует подставлять в формулу (9) вейвлет-коэффициенты разложения уровня j и узла m , отвечающие за интересующий частотный коридор. Мы проводили частотный анализ сигнала, имеющего в составе помимо основной частоты (50 Гц) 3 (150 Гц), 5 (250 Гц) и 7 (350 Гц) гармоники: $i(t) = 93,886\sqrt{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot t) + 37,483\sqrt{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot t) + 26,424\sqrt{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 250 \cdot t) + 20,837\sqrt{2} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 350 \cdot t)$.

Например, для расчета действующего значения тока основной гармоники необходимо выполнить частотную декомпозицию сигнала до второго уровня $j=2$ (рис. 2) для узла $m=0$.

$$I_{(0 \leq f \leq 100)} = \sqrt{\frac{1}{8} (i_{2,0}^2(0) + i_{2,0}^2(1) + i_{2,0}^2(2) + i_{2,0}^2(3))} = 89,406 \text{ А.}$$

Действующие значения токов высших гармоник определяются аналогично, например, действующее значение тока третьей гармоники для уровня второго уровня вейвлет-преобразования ($j=1$) и узла $m=1$:

$$I_{(100 \leq f \leq 200)} = \sqrt{\frac{1}{8} (i_{2,1}^2(4) + i_{2,1}^2(5) + i_{2,1}^2(6) + i_{2,1}^2(7))} = 29,062 \text{ А.}$$

Погрешность расчета действующих значений токов высших гармоник, определяемых через коэффициенты вейвлет-преобразования по сравнению со значениями, полученными при расчете через амплитуды токов гармоник, связана с выбором типа вейвлет-функции. Применение вейвлета Хаара позволяет наглядно продемонстрировать принципы вейвлет-преобразования, однако при решении прикладных задач (например, в области электроэнергетики) допускает значительную погрешность расчета [7].

На рис. 4 представлено разложение анализируемого сигнала с помощью пакетного вейвлет-преобразования, выполненного в программной среде MATLAB.

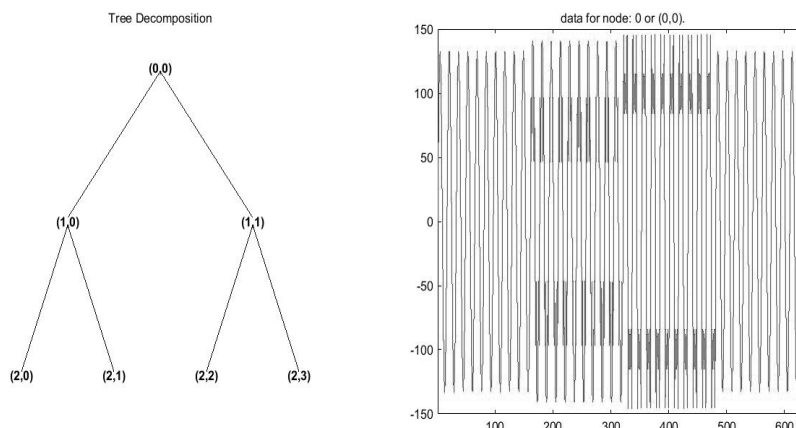


Рис. 4. Разложение сигнала с применением пакетного ВП

В табл. 1 приведены сравнение результатов расчета действующих значений отдельных гармоник, полученные при анализе и частотной декомпозиции сигнала тока различными методами цифровой обработки сигналов. Кроме того, приведены результаты расчета токов гармоник, выполненных аналитически с использованием амплитудных значений.

Таблица 1.

Действующие значения токов гармоник, вычисленные различными методами

Номер гармоники, n	Обозначение	Действующее значение тока гармоники, A (аналитический расчет через амплитуды)	Действующее значение тока гармоники, A (с применением преобразования Фурье)	Действующее значение тока гармоники (с применением дискретного ВП), A	Действующее значение тока гармоники (с применением пакетного ВП), A
1	I_1	93,886	93,886	89,406	91,584
3	I_3	37,483	7,494	29,062	29,744
5	I_5	26,424	15,854	29,901 ($I_5 + I_7$)	23,862
7	I_7	20,837	12,502		19,789
Суммарный ток	I_Σ	107,921	96,325	98,651	101,16

Анализ полученных результатов показал, что с помощью пакетного вейвлет-преобразования можно корректно выполнить частотную декомпозицию исходного сигнала и определить

действующие значения параметров, характеризующих режимы электроэнергетических систем в реальном времени (токов высших гармоник, напряжений в узлах, мощностей) с удовлетворительной точностью. Существенная погрешность расчета действующих значений токов гармоник связана с применением вейвлет-функции Хаара.

Обзору методов расчета различных составляющих мощности с использованием дискретного вейвлет-преобразования при наличии высших гармоник в сети на основе дискретного ВП посвящены работы [3, 4, 6]. Однако, использование дискретного ВП позволяет провести частотную декомпозицию сигнала только на две составляющие: основную частоту и высшие гармоники (это связано с логарифмической шкалой частотных коридоров, на которые раскладывается исходный анализируемый сигнал). Выделить же различные высшие гармоники из исходного анализируемого сигнала позволяет пакетное ВП благодаря сужению частотных интервалов. Таким образом, можно сделать вывод, что пакетное ВП позволяет описать каждую гармонику сигнала отдельным вейвлет-коэффициентом.

Список использованной литературы

1. Вагин Г. Я., Юртаев С. Н. К вопросу о нормировании несинусоидальности напряжения и ущербах от высших гармоник // Промышленная энергетика. 2017. № 1. С. 43–47.
 2. Долгих Н. Н., Катеров Ф. В., Осипов Д. С., Птицына Е. В., Файфер Л. А. Определение коэффициентов искажения синусоидальности формы кривой тока по вейвлет коэффициентам // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 113. С. 814–825.
 3. Осипов Д. С., Коваленко Д. В., Файфер Л. А., Киселёв Б. Ю., Долгих Н. Н. Разработка метода расчета потерь мощности в токоведущих частях при наличии интергармоник. // Омский научный вестник. 2017. № 4 (154). С. 60–65.
 4. Файфер Л. А., Осипов Д. С., Еремин Е. Н., Долгих Н. Н. Применение пакетного вейвлет-преобразования для определения составляющих мощности при несинусоидальных режимах // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 8 (115). С. 136–145.
 5. Daubechies I., The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis. IEEE Transactions on information theory. 1990. Vol. 36, № 15. P. 961–1005. DOI: 10.1109/18.57199.
 6. Morsi W. G. On the implementation of time-frequency transforms for defining power components in non-sinusoidal situations: A survey // Electric Power Components and Systems. 2009. Vol. 37. № 4. P. 373–392. DOI: 10.1109/PES.2007.385533.
 7. Osipov D. S. Applications of Wavelet Transform for Analysis of Electrical Transients in Power Systems: The Review. // Przegląd elektrotechniczny. 2016. № 4. P. 162–165. DOI:10.15199/48.2016.04.35.
 8. Osipov D. S., Kovalenko D. V., Dolgikh N. N. Calculation of currents resonance at higher harmonics in power supply systems based on wavelet packet transform // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics (Omsk, Russian Federation; 14 November 2017 through 16 November 2017). 2017. P. 1–6. DOI: 10.1109/Dynamics.2017.8239492.
-

Дёмко А. И., Семенов О. Ю.

Научно-Образовательный Центр Политехнического института Сургутского государственного университета ХМАО-Югры

Источник питания автономного прибора

г. Сургут

Аннотация. В статье описан источник питания, рассчитанный на длительное время автономной работы в сложных условиях. Источник питания содержит аккумулятор, суперконденсатор, батарею и солнечные батареи. Алгоритм работы микроконтроллера источника питания управляет процессами заряда аккумулятора и суперконденсатора, подключением необходимого источника энергии к схеме стабилизатора выходного напряжения и выдачу информации о рабочих параметрах. Приводятся варианты конструктивного исполнения с учётом необходимости работы во взрывоопасной зоне.

Ключевые слова: источник питания, батарея, аккумуляторная батарея, суперконденсатор, солнечная батарея, микроконтроллер.

Dyomko A. I., Semenov O. Yu., Chapparov F. Kh.

Scientific and Educational Center of the Polytechnic Institute Surgut State University KhMAO-Ugra

Intelligent power supply

Surgut

Abstract. The article describes a power source designed for a long battery life in difficult conditions. The power source contains a battery, a super capacitor, a battery and solar panels. The operation algorithm of the microcontroller of the power source controls the charge processes of the accumulator and super capacitor, connecting the required energy source to the output voltage stabilizer circuit and issuing information about the operating parameters. The design options taking into account the need to work in an explosive area are given.

Keywords: power supply, battery, accumulator battery, super capacitor, solar battery, microcontroller.

Современные технологии требуют широкого использования автономных приборов метрологического, охранного и информационного назначений. Автономность их работы обеспечивается использованием энергоёмких батарей, малым энергопотреблением электроники, использованием солнечных источников энергии или одновременным учётом всех этих факторов. Гарантированное электроснабжение электронного прибора длительное время (до нескольких лет) обеспечивается автономным источником питания (АИП).

Подобные АИП могут иметь достаточно сложную структуру, обеспечивающую не только реализацию их непосредственного назначения — формирования питающих напряжений с необходимыми параметрами (напряжениями, максимальными токами, допустимыми отклонениями параметров от номинального, КПД), но и обеспечивать дополнительные возможности, определяемые сферой применения АИП [4, 6].

Коллектив авторов имеет большой опыт разработки подобных АИП для автономных уровнемеров нефтепродуктов и автономных газосигнализаторов [2]. Перечень конкретных параметров АИП диктуется условиями работы основного автономного прибора, однако в любом случае предполагается взрывобезопасная конструкция уличного исполнения, содержащая

кроме всего прочего и приёмопередающую антенну. Для обеспечения высокой надёжности электроснабжения солнечные батареи используются совместно с накопителями электрической энергии в виде аккумуляторов и конденсаторов большой ёмкости [1, 3, 5].

Рассмотрим АИП автономного уровнемера нефтепродуктов, используемого для длительной необслуживаемой работы в широком температурном диапазоне и импульсном токопотреблении [7].

Структурная схема АИП приведена на рис. 1. Источник питания состоит из батареи, солнечной батареи, аккумулятора, суперконденсатора, стабилизатора, схемы контроля и управления и радиомодема.

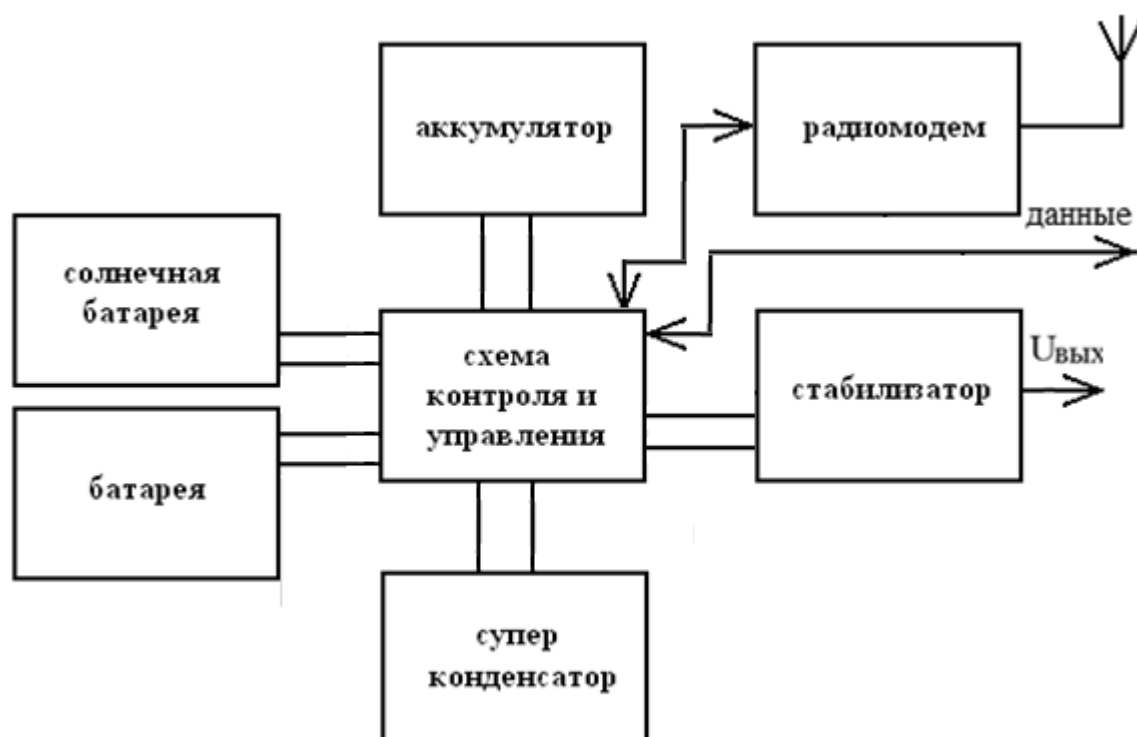


Рис. 1. Источник питания

Логика работы АИП определяется алгоритмом [8], представленном на рис. 2.

Схема контроля и управления, содержащая микроконтроллер, электронные ключи и контроллеры заряда аккумулятора и суперконденсатора, определяет рабочий элемент питания, от которого происходит питание нагрузки через стабилизатор напряжения. Кроме этого текущие параметры питания и рассчитанный прогноз оставшегося времени работы может быть передан в радиомодем или по шине данных для считывания головным устройством. Предусмотрена выдача сигнала «авария» за некоторое время до окончания рабочего ресурса источника питания.

В солнечное время электропитание головного устройства происходит от солнечных батарей, а также, при необходимости, заряд суперконденсатора и аккумулятора [9 -12]. При низких температурах эффективность работы аккумулятора падает, поэтому при температуре ниже -20°C энергия солнечной батареи подаётся только на питание головного устройства и заряд суперконденсатора. Максимально используются суперконденсаторы, которые имеют большое число допустимых циклов заряд/разряд (100000–500000) при заряде до напряжения 2,8 В.

Электронные схемы АИП собраны на двух кольцевых платах, между которыми располагаются батареи, аккумулятор и суперконденсатор (рис. 3). Внутри АИП свободное пространство заполнено компаундом, исключающим попадание и конденсацию влаги. Для обеспечения возможности использования солнечной энергии вне зависимости от азимута и угла места солнца солнечные батареи располагаются на вертикальной цилиндрической поверхности. Сверху на корпусе размещена антенна в виде четвертьволнового вибратора и для её эффективной работы в стенках корпуса АИП размещаются три противовеса (рис. 4).

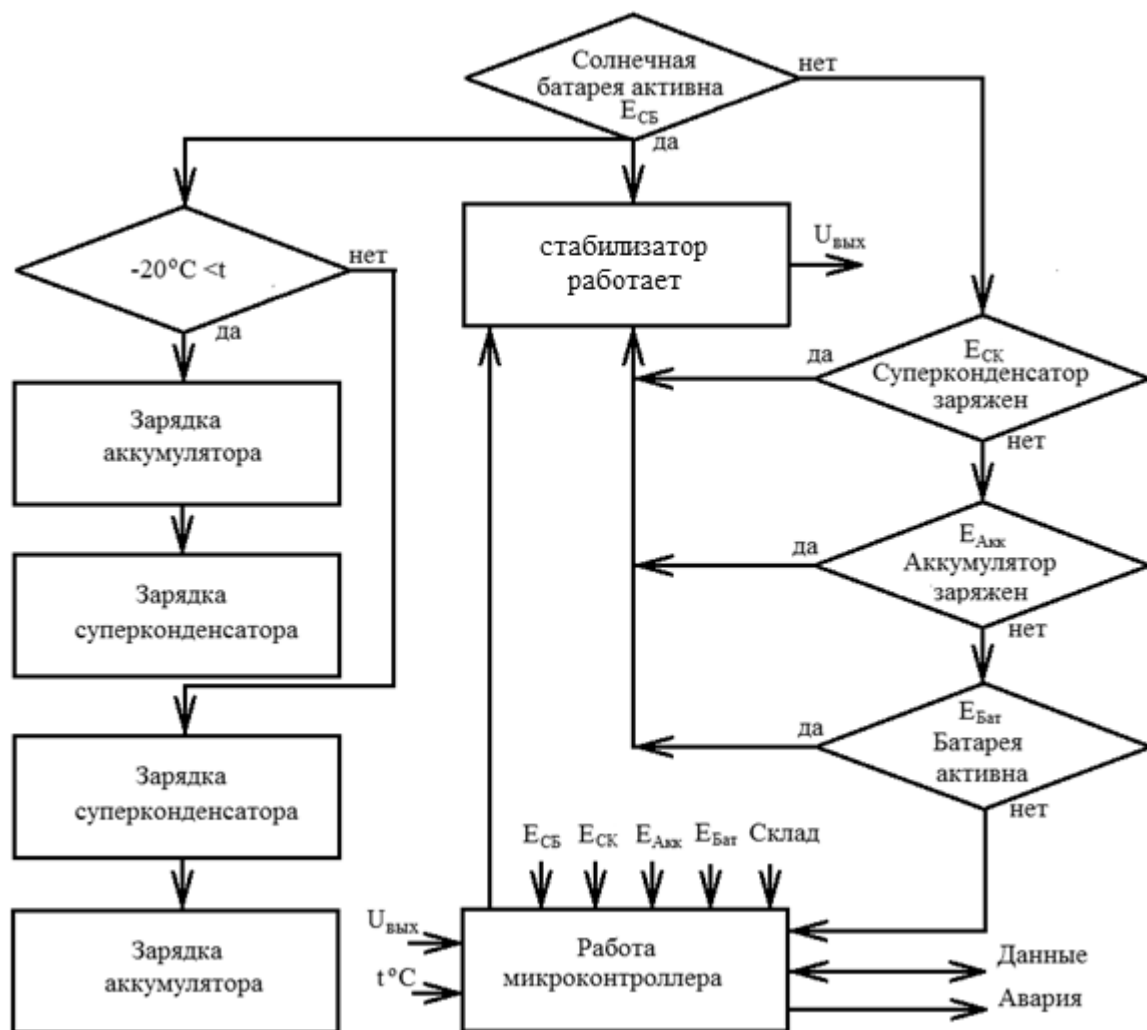


Рис. 2. Алгоритм работы источника питания

Рассматривается два варианта конструктивного исполнения АИП:

1. Непрозрачный герметичный шестигранный корпус, к граням которого приклеены солнечные батареи, вводы проводников от которых герметизированы.
2. Прозрачная поликарбонатная труба, сверху и снизу ограниченная крышками, внутри которых расположены шесть солнечных батарей и остальная часть источника питания.

Параметры опытной партии АИП:

- суммарная мощность солнечных батарей — 3,6 Вт;
- выходное напряжение — 3,3 В +0%, -5%;
- средний ток нагрузки — 2 мА;
- импульсный ток нагрузки — 100 мА;

- температура от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$;
- срок эксплуатации — 6 лет.

АИП изготавливается для эксплуатации во взрывоопасной зоне класса 0 с заливкой внутреннего объёма компаундом (защита типа «т») и искробезопасными выходными цепями (ток не более 300 мА при напряжении 3,3 В) при трёх ступенях защиты по току и напряжению.

Внешний вид интеллектуального источника питания представлен на рис. 5.



Рис. 3. Схемный модуль источника питания

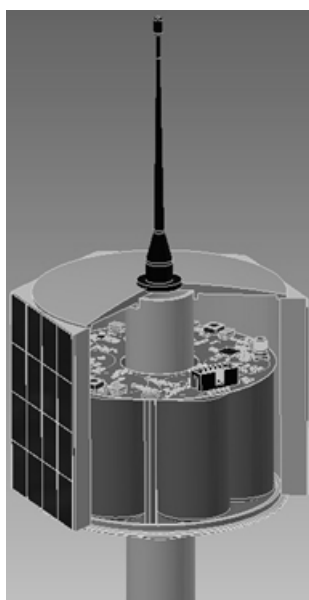


Рис. 4. Макет источника питания



Рис. 5. Внешний вид интеллектуального источника питания

Приведённые результаты получены в ходе выполнения НИР «Комплект приборов для экологического мониторинга и нефтегазового комплекса» при поддержке Департамента образования и молодёжной политики (приказ от 25.08.2017 № 1281) Ханты-Мансийского автономного округа — Югры и Сургутского государственного университета.

Список использованной литературы

1. Алферов Ж. И. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики / Ж. И. Алферов, В. М. Андреев, В. Д. Румянцев // Физика и техника полупроводников. — 2004. — Т.38. — № 8. — С. 937–948.
2. Ганиев М. И. Использование суперконденсаторов в автономных источниках питания / М. И. Ганиев, А. И. Дёмко, О. Ю. Семенов // Международный научно-практический семинар «Проблемы повышения энергоэффективности в северных регионах нефтегазовой отрасли России» (Нижневартовск, 4- 5 апреля 2019 г.). Изд-во Нижневартовского гос. унив. 2019. — С. 59–64.
3. Горяев А. А. Возобновляемые источники энергии: учеб. пособие / А. А. Горяев, Г. А. Шепель. — Архангельск: САФУ, 2010. — 120 с.
4. Дёмко А. И. Интеллектуальный источник питания / А. И. Дёмко, О. Ю. Семенов // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы X Между-

народной научно-технической конференции (Омск, 26–29.02.2020 г.). — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2020. — С. 231–232.

5. Дмитриенко В. Н. Методика оценки энергии солнечного излучения для фотоэлектростанции / В. Н. Дмитриенко, Б. В. Лукутин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — №5 (328). — С. 49–55.

6. Никитин М. Интеллектуальные системы электропитания — решения компании Deutronic / М. Никитин // Электроника: наука, технология, бизнес. — 2012. — № 4. — С. 50–56.

7. Пат. 168024 Российская Федерация, МПК H02J 7/35. Интеллектуальный автономный источник питания / А. И. Дёмко, Б. А. Петров, С. А. Радомский; заявитель и патентообладатель ООО БИТ. — №20161028/01; заявл. 28.01.2016; опубл. 17.01.2017; Бюл. № 2.

8. Свид. 2019665887 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Встроенная программа для работы микропроцессорного интеллектуального устройства источника питания / А. И. Дёмко, И. А. Дёмко, О. Ю. Семенов; заявитель и правообладатель БУ ВО СурГУ (RU).- №2019662143/69; заявл. 07.10.2019; опубл. 02.12.2019, Реестр программ для ЭВМ.

9. Jaysree K. S. Battery Less Power Conditioner Using a Super Capacitor / K. S. Jaysree, G. Ezhilarasan, K. Monish, V. Arundhilipan, G. Sumalatha // Int. J. Sci. Eng. Res. 2014, 5, pp. 214–218.

10. Kollimalla S. K. Design and analysis of novel control strategy for battery and supercapacitor storage system / S. K. Kollimalla, M. K. Mishra, N. L. Narasamma // IEEE Trans. Sustain. Energy 2014, 5, pp. 1137–1144.

11. Lu R. Super-Capacitor Stacks Management System With Dynamic Equalization Techniques / R. Lu, C. Zhu, L. Tian, Q. Wang // IEEE Trans. Magn. 2007, 43, pp. 254–258.

12. Ye Y. Modeling and Analysis of Series-Parallel Switched-Capacitor Voltage Equalizer for Battery/Supercapacitor Strings / Y. Ye, K. W. E. Cheng // IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron. 2015, 3, pp. 977–983

Назаренко Н. В.

Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток

Направление развития компаний мобильных операторов в сегменте B2C, B2B и B2G

г. Владивосток

Аннотация. Современная ситуация, связанная с развитием цифровых технологий приводит к снижению доходов розничной торговли, снижается лояльность потребителей к компаниям. Также снижение лояльности относится и к компаниям мобильных операторов. В данной статье рассматриваются направления развития компаний мобильных операторов, проанализирована нынешняя ситуация на рынке телекоммуникационных услуг.

Ключевые слова: eSim, лояльность, цифровые технологии, барьер.

Nazarenko N. V.

Far Eastern Federal University

The direction of development of mobile operator companies in the B2C, B2B and B2G segment

Vladivostok

Abstract. The current situation associated with the development of digital technologies leads to a decrease in retail income, consumer loyalty to companies is reduced. Also, a decrease in loyalty applies to companies of mobile operators. This article discusses the development directions of mobile operator companies, analyzes the current situation in the telecommunications services market.

Keywords: eSim, loyalty, digital technology, barrier.

С развитием цифровых технологий и увеличением конкуренции происходит снижение лояльности клиентов к компаниям. Покупатель получает большую возможность выбора. В наше время один и тот же товар можно приобрести в десятках различных компаний. Сравнивая цену, качество, внешний вид товара. С появлением сети Интернет у покупателя появилась возможность более подробно изучать характеристики товаров с отзывами других людей.

Изначально на первых этапах развития Интернет-торговли эксперты прогнозировали уход покупателей из традиционной розницы, которая на первый взгляд не могла конкурировать с онлайн платформами по количеству издержек. Однако опыт Интернет торговли показал, что онлайн платформы могут сосуществовать с традиционными ритейлерами в роли show room. Покупатели приходят в магазин, чтобы оценить физический вид необходимого им товара. При этом доходы от продаж в розничной торговле исчезают в виртуальном пространстве. Удержать клиентов становится всё сложнее [2].

Современные покупатели не отличаются высокой лояльностью. По данным, 47% потребителей готовы менять магазин во время промоакций, и только 12% остаются верны определенным брендам независимо от цены [5].

В последние годы производители товаров и ритейлеры активно инвестируют в скидки и различные акции, для того чтобы удерживать потребителей и иметь конкурентные преимущества. Согласно оценке, в 2019 году на стимулирование спроса таким способом бренды по-

тратили более 1 трлн руб. (годом ранее затраты составили 970 млрд руб.), в основном перераспределив эти средства из бюджетов на рекламу [5].

В ряде товарных категорий промоактивность достигла дна — рентабельность акционных предложений стремительно снижается. За последний год (октябрь 2019 года в сравнении с октябрём 2018-го) показатель отклика покупателя на скидку сократился почти в три раза, сопоставимо упал отклик и на рекламу [1].

По причине растущего промоклаттера (высокая доля продаж товаров по скидке и промоакциям) также снижается эффективность рекламных коммуникаций. Потребитель получает все больше рекламных сообщений в единицу времени: например, количество контактов с рекламой на ТВ только в первом полугодии 2019 года увеличилось на 34%, на YouTube — на 16% [3].

Пропадают барьеры, препятствующие переходу клиентов от одного поставщика тех или иных товаров и услуг к другому. Не исключение составляют компании предоставляющие услуги связи.

Изначально клиент, приобретавший SIM-карту от одного из операторов сотовой связи, сталкивался с трудностями смены оператора. Переход от одной компании к другой подразумевал смену номера телефона, а именно:

- при получении новой SIM-карты от другого поставщика услуг пользователю необходимо было изменить номер своего телефона во всех аккаунтах на сайтах, где он был зарегистрирован через «старый» номер;
- необходимо было сообщить «новый» номер телефона всем своим контактам.

Данная проблема препятствовала многим пользователям менять компанию поставщика услуг связи.

Чуть позднее появилась возможность переходить от одного оператора к другому, оставляя за собой свой прежний номер телефона. Для клиентов это в определенной степени размыло границы между операторами. Но всё же оставались проблемы некоторые проблемы:

- переход между операторами требовал времени. Нельзя было мгновенно сменить поставщика услуг сотовой связи;
- для того, чтобы сменить поставщика услуг необходимо было прийти в салон компании и оформить документы, что вызывало неудобства со стороны абонентов, и они предпочитали оставаться у старого оператора связи.

Сейчас на рынке сотовой связи появляется новая технология eSim, которая позволит убрать границы, мешающие переходу от одной компании к другой. ESim — это встроенная в гаджет микросхема, которая эмулирует SIM-карту. «МегаФон», МТС и «ВымпелКом» (владеет брендом «Билайн») высказались против внедрения технологии eSim, поскольку данная технология позволяет отказаться от её физического аналога. Компании обеспокоены возможным обострением конкуренции и следующим за этим сокращением выручки.

После внедрения eSim исчезнет необходимость открывать салоны связи и продавать физические аналоги SIM-карт. По мнению компаний «Большой тройки», это приведёт к конкуренции со стороны виртуальных мобильных операторов и «снизит барьеры» для компаний вроде Apple и Google, которые «смогут предложить услуги сотовой связи по ценам значительно ниже рыночных». ESim позволит легко менять оператора, приведёт к ценовым войнам между операторами [4].

Сотовым операторам B2C (бизнес для потребителя) сегмент становится всё менее выгодным, появляется большая конкуренция со стороны не только со стороны региональных и федеральных операторов, но и со стороны виртуальных.

При этом происходит смещение парадигмы клиентоориентированного подхода. Точки розничной торговли становятся всё менее рентабельными. Под влиянием данных тенденций

компании всё больше уходят в сторону улучшения качества сервисного обслуживания, при котором у абонента больше не будет необходимости самостоятельно выбирать тариф от сотового оператора, поскольку операторы уже тестируют нейронные сети для определения тарифа под абонента.

Появление нейронных сетей приведёт качественному скачку в развитии цифровых помощников, которые будут способны не только решить возникшие у клиента вопросы, но и предугадывать их. Клиенты сегмента B2C перейдут на полное цифровое самообслуживание.

При этом конкурировать на рынке B2C становится всё сложнее. С проникновением в 2022 году сетей 5G, которые на сегодняшний момент уже разрабатываются и тестируются, произойдёт резкий скачок в направлении IoT (Интернет вещей, Internet of things). Компании в большей мере займутся развитием цифровых услуг и реализацией проектов в сфере цифровой экономики. Для телекоммуникационных компаний более выгодным станет B2B (бизнес для бизнеса) сегмент.

Для обеспечения продуктивного диалога бизнеса и государства при реализации национальных проектов лидирующими высокотехнологичными компаниями особое внимание будет уделяться цифровизации городской инфраструктуры: здравоохранению и образованию, энергетике и ЖКХ, транспорту и безопасности.

Сейчас реализуются проекты для B2G (бизнес для государства) «безопасного города» в Самаре и Сочи, подписаны соглашения о цифровизации и развитии информационной инфраструктуры с властями Москвы, Санкт-Петербурга и ряда других городов. Внедряемые технологии позволят создать цельную экосистему на новой цифровой основе, которая позволит кардинально изменить жизнь горожан.

B2B сегменту предлагаются простые ИТ-решения, которые позволяют полностью оцифровать производственные процессы и дадут возможность передать их в управление внешним подрядчикам. Активно применяются технологии больших данных (Big Data) в целях повышения эффективности услуг для корпоративных и государственных клиентов, работающих с большими клиентскими потоками. Компании применяют новейшие технологические достижения в сферах хранения, обработки и применения больших массивов данных.

С развитием цифровых технологий, проникновением сетей 5G произойдёт резкое расширение предлагаемых услуг для сегментов B2B и B2G, они станут более привлекательными для компаний сотовых операторов. При этом в сегменте B2C с 2021 года произойдёт резкий спад лояльности клиентов в связи с повсеместным введением технологий eSim, из-за чего возможно повышение конкуренции между компаниями. Клиенты B2C перейдут на цифровое самообслуживание, при этом компании будут затрачивать всё меньше ресурсов на поддержание и развитие данного сегмента.

Список использованной литературы

1. Влияние медийной рекламы на продаж // Совместное исследование People & Screens и Data Insight : сайт / Dentsu Aegis Network. — М., 2019. — URL: <http://www.dentsuaegisnetwork.ru/Media/DentsuAegisNetworkNewsDetaila/2019/2019-11-27b?People-Screens-Data-Insight> (дата обращения: 15.03.2020).
2. Гилилов, И. Р. Новое направление деятельности компаний электронной торговли // Российский внешнеэкономический вестник. — 2018. — №1. — С. 114–123 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novoe-napravlenie-deyatelnosti-kompaniy-elektronnoy-torgovli> (дата обращения: 15.03.2020).

3. Отчёт по исследованию объёма зрительской аудитории за 2019 год : сайт / Mediascope. — М., 2020. — URL: mediascope.net/news/1097969/ (дата обращения: 15.03.2020).

4. Операторы связи и ФСБ выступили против используемой в iPhone технологии : сайт / РБК. — М., 2019. — URL: www.rbc.ru/technology_and_media/08/04/2019/5ca8e3319a79470abf10b8ac (дата обращения: 15.03.2020).

5. Прогноз развития глобального рекламного рынка 2020 : сайт / Dentsu Aegis Network. — М., 2020. — URL: <http://www.dentsuaegisnetwork.ru/Media/DentsuAegisNetworkNewsDetaila/2020/2020-01-22?2020-Dentsu-Aegis-Network> (дата обращения: 15.03.2020).

Толстикова Р. А.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Система бесконтактного контроля температуры промышленного оборудования

г. Томск

Аннотация: Представлено устройство современной измерительной системы бесконтактного контроля температуры производственных устройств и объектов, построенной с использованием инфракрасной термографии и беспроводной технологии передачи данных. Система контроля температуры разработана предприятием АО НПФ «Микран» (г. Томск) и представляет собой инновационную разработку для ее внедрения в системах контроля и управления производственными процессами.

Ключевые слова: инфракрасная термография, беспроводные технологии связи, интернет вещей.

Tolstikov R. A.

Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics

Contactless temperature control system for industrial equipment

Tomsk

Abstract: The device of a modern measuring system of non-contact temperature control of production devices and objects, constructed using infrared thermography and wireless data transfer technology, is presented. The temperature control system was developed by the enterprise of NPF Mikran JSC (Tomsk) and represents an innovative development for its implementation in the systems of control and management of production processes.

Keywords: infrared thermography, wireless communication technology, Internet of things.

В настоящее время остро стоит вопрос о переходе к цифровой экономике, в связи с чем особое внимание уделяется развитию автоматизированных и компьютеризированных систем контроля промышленных объектов, технологических процессов и их параметров. Потому актуальной задачей является внедрение разработанной компанией АО «НПФ «Микран» (г. Томск) системы бесконтактного контроля температуры промышленного оборудования. Эта система представляет собой техническое решение, основанное на технологиях промышленного Интернета вещей. Развитие этой технологии является одним из ключевых направлений программы Правительства РФ «Цифровая экономика», запланированной к реализации до 2024 года.

Система бесконтактного контроля температуры промышленного оборудования предназначена для мониторинга и предотвращения перегревов оборудования, используемого во время производственных процессов. Применение технологий промышленного Интернета вещей в этой системе позволяет удалённо, без участия человека и вмешательства в производственные процессы проводить диагностику промышленного оборудования с высокой точностью и непрерывностью во времени.

По статистике дефекты и неисправности оборудования являются одной из основных причин возникновения чрезвычайных ситуаций на производстве, после «человеческого фактора» и не соблюдения техники безопасности [5].

Система бесконтактного контроля температуры (СКТ) промышленного оборудования направлена на выявление на ранних стадиях ситуаций по возникновению дефектов, неисправностей и аварийных ситуаций в результате перегрева. Для этого используется инфракрасная термография, позволяющая не нарушая целостность промышленного оборудования выявлять проблемные узлы в энергетических, электротехнических и других производственных системах. Инфракрасная съемка может проводиться во время эксплуатации оборудования, является методом неразрушающего контроля и не мешает производственному процессу.

В СКТ применяются беспроводные технологии связи между устройствами. В настоящее время актуальным трендом Интернета вещей (Industrial Internet of Things; IIoT) является применение технологий LPWAN (Low Power Wide Area Network) — это энергоэффективная сеть с большим радиусом действия.

Использование технологий LPWAN способно обеспечить создание сети Интернета вещей для тысяч беспроводных IIoT-устройств. Энергоэффективность технологии заключается в передаче небольшого объема информации от устройств с LPWAN-модулем на LPWAN-станцию в пределах большого радиуса действия, достигающего показателей 5 километров в зоне плотной городской застройки и до 20 километров на открытой местности. Низкое энергопотребление конечных устройств даёт им возможность работать автономно в период времени до 10 лет [4].

СКТ представляет собой комплекс аппаратных устройств и программной платформы для тепловизионной диагностики и измерению температуры промышленного оборудования. В состав комплекса СКТ входят четыре основных элемента, перечислим их по порядку.

1) IR-камеры Versa LR IR производства компании АО «НПФ «Микран» — беспроводное устройство измерения температуры бесконтактным методом в инфракрасной области (бесконтактный датчик температуры). Используется два варианта исполнения беспроводных IR-камер с возможностью измерения температуры в диапазоне $-40^{\circ}\text{C} \dots +300^{\circ}\text{C}$ и $-20^{\circ}\text{C} \dots +1000^{\circ}\text{C}$, а также различные модификации по углу зрения камеры (FOV, field of view, угол обзора).

2) Базовые станции Versa LR производства компании АО «НПФ «Микран» — приемопередающая аппаратура, обеспечивающая связь по технологии LPWAN между уровнем конечных устройств (IR-камеры) и программным уровнем (IIoT-платформа Versa). Топология сети — звезда. Максимальное количество устройств на одну базовую станцию — около 5 000 штук.

3) IIoT-платформа Versa — программное обеспечение для интеграции беспроводных устройств (датчики, контроллеры и др.) в сеть для удалённого взаимодействия с ними. Платформа Интернета вещей Versa обеспечивает функции сбора, хранения и обработки информации аналитическими инструментами, собранной с конечных устройств системы.

4) Устройства доступа — устройством доступа к приложениям IIoT-платформы может быть любое устройство, имеющее выход в Интернет: смартфон, компьютер, планшет и другие. Взаимодействие с информацией в удобном виде для восприятия, проходит через личный кабинет интернет-приложения Versa.

Интерфейс личного кабинета содержит в себе основные способы взаимодействия с информацией. Отображается тепловая карта объекта под наблюдением, полученная с IR-камер, показываются точные места перепада температуры, что позволяет незамедлительно и точно спланировать решения по принятию мер по устранению ситуаций, влекущие за собой сбои, неисправности и остановку работы оборудования. Показывается значение температуры места перегрева для определения температуры, при котором оборудование начинает нагреваться. Ви-

зуализируется график истории температуры, на котором можно отследить перепады температуры в определённый период времени. Программное приложение IoT-платформы имеет функции прогнозирования ситуаций перегрева, журнал событий и выгрузку отчётов в формате электронной таблицы Excel.

Технико-экономические характеристики системы бесконтактного контроля температуры определяют ее высокий потенциал внедрения. В соответствии с концепциями внедрения новых технологий [2] важную роль в этой деятельности занимает управление проектом. Программу продвижения удобно представить как проект, имея виду проект как объект управления. В иерархической структуре работ такого проекта этапы проекта будут представлены соответствующими этапами внедрения новой разработки. Проект разрабатывается в соответствии с методологией управления проектами, как это показано, например, в работах [1;3]. Все работы по проекту декомпозируются и сводятся в иерархическую структуру работ, разрабатывается модель материальных и трудовых ресурсов, которые распределяются и назначаются на выполнение работ. Это позволяет смоделировать этапы проекта внедрения в программном продукте Microsoft Project, что автоматизирует процесс моделирования этапов внедрения и распределения ресурсов и в итоге позволяет получить в программе Microsoft Project обоснованные расчеты затрат по проекту и времени выполнения проекта [1].

Список использованной литературы

1. Дробот Д. А. Дробот П. Н. Проектирование корпуса осциллографического прибора // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем, Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 09 ноября 2018 г. Под ред. Л. И. Сучковой. 2018, Издательство: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (Барнаул).— С.7 — 10.
 2. Дробот П. Н., Ватсон К., Линдхолд П., Мельченко Е. Д., Мельченко С. В. Коммерциализация университетских технологий: мнения российских и зарубежных экспертов // Инновации, 2014.- №8.-С.93–99
 3. Дробот П. Н., Дробот Д. А. Управление инновационными проектами — квинтэссенция образования профессионала инноватики // Инновации, 2015.- №11.-С.86–90.
 4. Зараменских Е. П., Артемьев И. Е. Интернет вещей. Исследования и область применения. М.: Инфра-М, 2017. 188 с.
 5. Петров С. В. В. А. Макашев. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них. М.: ЭНАС, 2008. 224 с.
-

Дробот П. Н., Трушин А. Д.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Осцилляторные датчики различных величин для условий повышенного уровня электромагнитных помех

г. Томск

Аннотация. *Представлены технические трудности создания помехозащищенных измерительных систем на основе традиционных датчиков. Показаны эффективность использования осцилляторных датчиков с частотным выходом в измерительных системах в условиях высокого уровня электромагнитных помех, вследствие устойчивости частотного сигнала к влиянию помех. Показаны другие преимущества осцилляторных датчиков: простая технология производства, высокие амплитуда сигнала и чувствительность, линейный характер измерительной характеристики. Приведены параметры осцилляторных датчиков линейного перемещения, освещенности, магнитного поля и температуры.*

Ключевые слова: *осциллятор, частотный выход, электромагнитные помехи*

Drobot P. N., Trushin A. D.

Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics

Oscillator sensors of various quantity for conditions of high level electromagnetic interference

Tomsk

Abstract. *Submitted to the technical difficulties of creating a disturbance-free measurement systems based on traditional sensors. The efficiency of using oscillator sensors with frequency output in measuring systems in conditions of high level of electromagnetic interference, due to the stability of the frequency signal to the influence of interference, is shown. Other advantages of oscillator sensors are shown: simple manufacturing technology, high signal amplitude and sensitivity and linear character of the measuring characteristic. The parameters of oscillator sensors of linear displacement, illumination, magnetic field and temperature are given.*

Keywords: *oscillator, frequency output, electromagnetic interference*

В энергетических отраслях промышленности актуальными являются задачи автоматизации и контроля технологических процессов. Однако разработка и построение информационно — измерительных систем для условий высокого уровня электромагнитных помех представляет весьма сложную техническую задачу. Электромагнитные помехи оказывают пагубное влияние как на сами датчики измерительных систем, так и на преобразовательную аппаратуру, на каналы коммуникации и на линии внешних связей.

Весьма сложной задачей является подключение датчиков к измерительной системе. Решение этой задачи вскрывает непредвиденные проблемы, поскольку их основания изначально не видны разработчику системы: прогнозировать их затруднительно, а выявить возможно только в процессе практической экспериментальной работы.

Наиболее распространенными в измерительных системах являются аналоговые датчики, имеющие малое напряжение сигнала, поэтому датчик нужно располагать вблизи усилителя

и источника питания, а к принимающей аппаратуре передавать усиленный сигнал. Анализ воздействия помех на датчики представляет сложную задачу, при которой исследуется широкий спектр вопросов от способов заземления и экранирования до влияния электромагнитных помех [2].

Существует принципиально иной класс датчиков физических величин, это датчики с частотным выходом, или частотные датчики, в которых выходным измерительным параметром является частота переменного сигнала. Форма такого сигнала может быть различной для разных датчиков. Обычно это последовательность регулярных импульсов, прямоугольных, треугольных, близких к синусоидальным или в форме пиков малой длительности. Независимо от формы сигнала желательно, чтобы датчик выдавал сигнал с достаточно большой амплитудой для передачи сигнала по линиям связи.

Датчики с частотным выходом имеют преимущества перед аналоговыми датчиками и наиболее существенным из них является высокая устойчивость частотного сигнала к воздействию помех. Частоту сигнала датчика весьма трудно исказить, а поскольку частота является измерительным параметром, то информационно — измерительные системы с частотными датчиками оказываются помехоустойчивыми в условиях повышенного уровня электромагнитных помех. Высокая оценка преимуществ частотных датчиков привела к созданию международной ассоциации разработчиков датчиков с частотным выходом International Frequency Sensor Association (IFSA) (sensorsportal.com).

Понимание преимуществ частотных датчиков приводит к стремлению разработчиков использовать их, сочетая обычные датчики с устройством, преобразующим сигнал датчика в частоту. Обычно такие устройства — это автогенератор с подключенным чувствительным элементом [3] или частотный преобразователь сигнала датчика с использованием метода интегрирующего развертывающего преобразования [1]. Такие и подобные технические решения достигают искомого результата, частотного выходного сигнала датчика, однако ценой чрезмерных усилий и технических усложнений.

Вместе с тем существуют иные эффективные решения для помехозащищенных измерительных систем на основе другого класса датчиков с частотным выходом, построенных на использовании свойств физического эффекта. Основным проявлением таких эффектов является генерация сигнала, частота которого зависит от значения измеряемой физической величины. К таким эффектам относятся неустойчивости тока в полупроводниках: рекомбинационная, доменная, винтовая. Винтовая неустойчивость в режиме выше порога возбуждения называется еще осциллисторным эффектом, развитие которого сопровождается генерацией импульсов тока в цепи и напряжения на боковых гранях полупроводникового образца с двумя контактами. Для осциллисторного эффекта необходимо магнитное поле. В конструкцию осциллисторных датчиков входят два магнита на основе сплава FeNdB в виде параллелепипеда с размерами ~ 1 см. В магнитный зазор между магнитами с помощью оснастки помещается диодная кремниевая структура, включенная последовательно с сопротивлением нагрузки и источником напряжения.

На основе осциллисторного эффекта в кремниевых структурах разработаны датчики с частотным выходом: температуры, магнитного поля, линейного перемещения, освещенности. Кроме частотного выхода, осциллисторные датчики обладают следующими преимуществами для использования в условиях высокого уровня электромагнитных помех. Это высокая амплитуда сигнала от десятков до сотен милливольт, что позволяет не использовать усилитель для передачи сигнала по измерительной линии. Сочетание высоких амплитуды и помехозащищенности осциллисторного сигнала позволяет передавать его без потери информации по простой двухпроводной линии на расстояние до 2–3 км. Существенным преимуществом разработанных

осцилляторных датчиков является присущая им линейная выходная характеристика. Для датчика температуры, работающего в широком диапазоне от -196°C до $+65^{\circ}\text{C}$, частотно-температурная характеристика в целом нелинейная, но ее можно линеаризовать в отдельных участках выбором напряжения питания.

Осцилляторные датчики являются приборами функциональной электроники и за счет физического эффекта реализуют функции генерации и преобразования сигнала без использования преобразующих электронных схем. Это обстоятельство значительно повышает надежность измерительной системы.

Имеется еще одно значительное преимущество осцилляторных датчиков с частотным выходом — технология изготовления полупроводниковой диодной структуры отличается простотой. Электрические контакты к кремниевой диодной структуре изготавливались по простейшей вплавной или диффузионной технологии. Все остальные технологические операции являются классическими и простыми: резка исходного слитка кремния на пластины, их шлифовка и полировка, промывка и химико-динамическая обработка. Соответственно, для изготовления осцилляторных датчиков с частотным выходом не требуются дорогостоящие технологии планарной интегральной электроники и высокотехнологичное оборудование. Это определяет низкие затраты на производство осцилляторных датчиков. Осцилляторные датчики могут изготавливаться на базе университетских лабораторий, снабженных несложным оборудованием, таким как вакуумный пост ВУП-5, химшкаф с приточно-вытяжной вентиляцией, простейшее оборудование для резки и шлифовки кристаллов кремния.

В заключение приведем основные характеристики осцилляторных датчиков на основе кремниевых структур при температуре окружающей среды 21°C (кроме датчика температуры) и питанием напряжением в виде одиночного прямоугольного импульса или периодически повторяющихся импульсов.

Для датчика температуры приведем данные для наиболее актуальных в практике температур: а) $-10^{\circ}\text{C} \div 65^{\circ}\text{C}$, имеет линейную зависимость частоты от температуры при напряжении питания 65 В, чувствительность $3,1 \text{ кГц}/^{\circ}\text{C}$, частота с ростом температуры уменьшается от 425 до 200 кГц, амплитуда сигнала уменьшается от 0,7 В до 0,05 В; б) $-20^{\circ}\text{C} \div 0^{\circ}\text{C}$, линейная зависимость частоты от температуры при импульсном напряжении питания 30 В, чувствительность $6,2 \text{ кГц}/^{\circ}\text{C}$, частота с ростом температуры уменьшается от 425 до 300 кГц, амплитуда сигнала уменьшается от 0,11 В до 0,09 В.

Датчик линейного перемещения работает в диапазоне от 0 до 25 мм, имеет линейную зависимость частоты от длины перемещения при напряжении питания 46 В, чувствительность $4,4 \text{ кГц}/\text{мм}$, частота с ростом длины перемещения уменьшается от 284 кГц до 176 кГц, амплитуда сигнала при этом уменьшается от 0,4 В до 0,02 В.

Датчик магнитного поля работает в диапазоне от 1,4 Тл до 2,4 Тл, имеет линейную зависимость частоты от магнитного поля при напряжении питания 40 В, чувствительность $110 \text{ кГц}/\text{Тл}$, частота с ростом магнитного поля увеличивается от 220 кГц до 326 кГц, амплитуда при этом увеличивается от 0,01 В до 0,17 В.

Датчик освещенности работает в диапазоне 500–1000 лк, имеет линейную зависимость частоты от освещенности при напряжении питания 46 В, чувствительность $65 \text{ Гц}/\text{лк}$, частота увеличивается с ростом освещенности от 180 кГц до 210 кГц, амплитуда сигнала при этом увеличивается от 0,02 В до 0,4 В.

Список использованной литературы

1. Бардин В. А., Васильев В. А., Громков Н. В. Частотные интегрирующие развёртывающие преобразователи и их применение для датчиков и актюаторов // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», 2015, том 2.— С.8 — 11.
 2. Денисенко В., Халявко А. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации // Современные технологии автоматизации, 2001, №1, С. 68–75.
 3. Негоденко О. Н., Мардамшин Ю. П. Микроэлектронные датчики с частотным выходом на основе аналогов негатронов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2000, №5–6 . — С. 19–22.
-

Карпов Александр О.¹, Хафизов И. И.², Хайруллина Л. Р.³, Карпов Алексей О.⁴

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

³Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева — КАИ, г. Казань

⁴Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева — КАИ, г. Казань

Современные проблемы качества цифровизации услуг в российской федерации

г. Казань

Аннотация. В статье поднимаются современные проблемы и вопросы качества цифровизации услуг в Российской Федерации, влияние цифровизации на современный рынок.

Ключевые слова: цифровизация, компании, услуги, процессы, качество.

Karpov Alexandr O. ¹, Khafizov I. I., ² Khairullina L. R., ³ Karpov Alexey O. ⁴

¹Kazan (Volga region) federal university

² Kazan (Volga region) federal university

³ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

⁴ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

Modern problems of services digitalization quality in the Russian Federation

Kazan

Abstract. The article expands questions of the digitalization quality in Russian Federation services, impact of digitalization on the modern market and among the things the modern problems of digitalization quality.

Keywords: digitalization, companies, services, processes, quality.

Под цифровизацией в данной статье понимается переход на цифровые услуги. Основным преимуществом данной системы является своевременная детальная статистика о доходах, расходах, а также предлагается портрет клиента. Правильно выполненная цифровизация даёт улучшения во всей цепочке жизненного цикла услуг. Цифровизация — это преобразование информации в цифровую форму, внедрение современных технологий в любые сферы жизни общества (промышленность, металлургию, роботехнику и других).

В работе Кузьминой И. А., Хафизова И. И. приводится анализ предприятий с целью повышения качества. В данной статье проводится ряд мероприятий для данного требования. Наиболее перспективным методом реализации существующих решений является внедрение инновационной деятельности. Однако, недоработанная практическая применимость инновационной деятельности может привести к серьезным потерям на предприятиях, что является недопустимым [1].

Для улучшения инновационных разработок, особенно на промышленных предприятиях, необходимо применение цифровых платформ. На данный момент, благодаря введению циф-

ровизации, более 350 миллионов компаний по всему миру, в том числе и в России, могут начать экспортировать свои товары и услуги. Однако для качественного внедрения цифровых технологий требуется надежный партнер, который представляет доступ к всемирной сети. Всё большую популярность набирает переход на умные счётчики, умные дома, организации систем умных городов — все это позволяет более рационально использовать ресурсы, а значит и средства. Почти все сферы жизнедеятельности переходят в цифровую эпоху.

Предположим, что существует площадка, на которой каждый предприниматель имеет возможность предлагать свои услуги, товары, а также покупать другие товары и находить новых партнеров. В данном случае, вместо того, чтобы тратить время на поиски контактов, предприниматели имеют единую точку доступа к услугам на одном сайте.

На данном этапе развития фиксировать выхлоп от цифровизации в России достаточно сложно. Апробация цифровизации на примере школы «Сколково» в самых разных отраслях выглядит следующим образом: компании пришли к определенному результату повышения эффективности, однако он составил 1 — 5 процентов повышения эффективности при огромных затратах. Из этого можно сделать вывод, что вопрос окупаемости таких инвестиций весьма неочевиден [2].

Особые свойства цифровой информации обусловили появление целого научного направления «digital economics», включающего математические методы и модели, основанные на цифровом формате представления информации и на ее свойствах, вытекающих из него. Примерами являются технологии, используемые в логистике, геотехнологии, современные технологии предоставления банковских услуг, технологии обеспечения информационной безопасности и т. д. [3].

На данный момент для компаний единственная настоящая цифровизация — это полная перекройка всей модели компании. Поэтому, если она проводится «по — честному», то для компании связана с большими конфликтами и рисками: владельцы компаний не желают раскрывать свои процессы и бизнес-модели третьим лицам.

На данный момент одной из проблем «честной цифровизации» и компаний является нехватка нужных компетенций у большого количества сотрудников компаний.

В условиях современной цифровизации все алгоритмы прорабатываются путем проб и ошибок. В том случае, если данное действие начинает происходить, то можно говорить о следующих уровнях:

- в той ситуации, когда речь идёт о двух процентах повышения эффективности,
- в действительно речь идёт уже о 15–20 процентах.

Существуют такие примеры за рубежом, но результаты предприятий достигнуты посредством полной перекройки, разрушения и построения новых бизнес — моделей. Истина в том, что в тот момент, когда предприятия признают, где они находятся, именно в тот момент и сдвинутся с точки. На настоящий момент первостепенным вопросом для любого предприятия является вопрос выручки от цифровизации.

Вывод

В наше время предприятиям необходим обмен опытом, выработка совместных мировоззрений, потому что цифровизация — процесс непростой, где вероятность вложений с высоким риском очень велика. Для того, чтобы запустить механизм, наиболее важна не цифровизация, а снижение затрат. Это и является истинной потребностью, к которой стремятся предприятия.

Список использованной литературы

1. Кузьмина И. А. — Инновации в системе управления предприятия промышленности для повышения эффективности его деятельности/И. А. Кузьмина, И. И. Хафизов//Материалы X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы — 2019» (МНТК «ИМТОМ–2019»). Ч. 1. — Казань, 2019. — 486 с. С.258–261
 2. . Фонд «Сколково» — URL: <https://www.skoltech.ru/en> . 2017 г.
 3. Халин В. Г., Чернова Г. В. — Цифровизация и ее влияние на российскую экономику и общество: преимущества, вызовы, угрозы и риски. — Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация. — DOI 10.22394/1726–1139–2018–10–46–63.
-

Семенова Л. Л.

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет»

Моделирование фильтра калмана для оценки вектора состояний, описывающего перемещение бпла

г. Сургут

Аннотация. В последнее время исследование методов и алгоритмов управления полетом беспилотных летательных аппаратов в автоматическом режиме является интенсивно развивающимся направлением научных исследований в различных областях науки и техники. В работе рассмотрен один из методов управления автоматическим движением БПЛА по заданному маршруту с использованием фильтра Калмана. Разработана математическая модель системы в среде Matlab, проведены полученные в результате моделирования данные.

Ключевые слова: фильтр Калмана, беспилотный летательный аппарат, алгоритм посадки.

Semenova L. L.

Surgut State University

Simulation of a calman filter for the evaluation of a status vector describing the uav movement

Surgut

Abstract. Recently, the study of methods and algorithms for automatic flight control of unmanned aerial vehicles is an intensively developing area of scientific research in various fields of science and technology. The paper considers one of the methods for controlling the automatic movement of UAVs along a given route using the Kalman filter. The mathematical model of the system in the Matlab environment is developed, the data obtained as a result of modeling are carried out.

Keywords: Kalman filter, unmanned aerial vehicle, landing algorithm.

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) нашли широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Одним из таких применений может быть необходимость оперативного развертывания систем связи в зонах локальных катастроф для обеспечения связью специальных служб. Такие системы обеспечивают высокую помехоустойчивость, большую зону покрытия, за счет изменения высоты полета и существенно более низкую стоимость по сравнению с развертыванием наземной системы связи. Еще одним из возможных направлений использования беспилотных летательных аппаратов является верификация метеорологических измерений, полученных радиофизическими методами дистанционного зондирования [5]. Сеть автономных станций, оснащенных мультироторными платформами, позволит создать автоматическую систему сбора метеорологической информации нового поколения и обеспечить мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды на новом качественном уровне. Таким образом, тема исследования является актуальной.

При использовании БПЛА основной задачей становится задача точного следования маршруту во время движения и возвращения аппарата после работы в заданную точку для за-

рядки. При использовании только глобальных систем позиционирования, в частности ГЛОНАСС или GPS, точность позиционирования при посадке будет находиться в пределах 6–8 метров, что не приемлемо. При использовании дополнительных методов, в частности — опорных станций, точность поднимается до 1–2 метров [1].

Для дальнейшего увеличения точности требуется уже применение программных компонент, одним из которых являются методы оптимальной фильтрации.

Фильтр Калмана является рекурсивным фильтром, минимизирующим ошибку оценивания путем постоянной коррекции полученных данных, что и позволяет получить оптимальную оценку. Работа фильтра Калмана может быть разнесена на две отдельные фазы. Первой фазой является предсказание следующего значения искомой величины на каждом последующем шаге, второй — его корректировка по уточненным данным, полученным на предварительном шаге. [2].

Синтез алгоритма посадки выполнен в декартовой системе координат, что позволяет привести исходные уравнения движения к линейному виду. В свою очередь, это условие сводит синтез к использованию классического линейного фильтра Калмана.

Координаты БПЛА в декартовой системе координат определяются по изменению дальности от маяка и меняются с переменной скоростью, зависящей от ускорения.

БПЛА рассмотрен как объект, перемещающийся в угломерной системе [4]. Наблюдение производится с помощью двух датчиков, координаты которых заранее известны (X_{n1}, Y_{n1}) , (X_{n2}, Y_{n2}) . Взаимное положение БПЛА и датчиков представлено на рис. 1.

Основная идея работы алгоритма заключается в том, чтобы, имея неверные показания датчиков, установленных на БПЛА, получить значение, максимально близкое к реальным координатам БПЛА.

Зададим вектор фактических измерений $z^T = (z_{1,t}, z_{2,t})$, состоящий из измерений угловых координат БПЛА. Измерение координат происходит в присутствии вектора шума $E^T = (\varepsilon_{1,t}, \varepsilon_{2,t})$, использующего гауссово распределение.

$$z_{1,t} = \arctg \left(\frac{X_t - X_{n1}}{Y_t - Y_{n1}} \right) + \varepsilon_{1,t}$$

$$z_{2,t} = \arctg \left(\frac{X_t - X_{n2}}{Y_t - Y_{n2}} \right) + \varepsilon_{2,t}$$

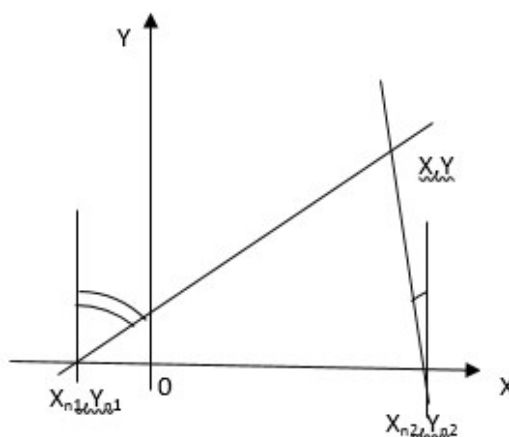


Рис. 1. Взаимное расположение БПЛА и датчиков в угломерной системе

Уравнение наблюдения принимает следующий вид

$$z_t \cong h_t(\tilde{x}_{t,t-1}) + \Delta h_t(x_t - \tilde{x}_{t,t-1}) + \varepsilon_t,$$

$$\Delta h_t = \left\| \frac{\partial h_{t,i}}{\partial x_{t,i}} \right\|,$$

где Δh_t – матрица частных производных вектор-функции в точке наблюдения. Ее можно представить в следующей форме

$$\Delta h_t = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & 0 & 0 \\ h_{21} & h_{22} & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$h_{11} = \frac{-(\tilde{x}_{t,t-1,2} - X_{n1})}{\tilde{r}_1^2}, \quad h_{12} = \frac{-(\tilde{x}_{t,t-1,1} - X_{n1})}{\tilde{r}_1^2},$$

$$h_{21} = \frac{-(\tilde{x}_{t,t-1,2} - X_{n2})}{\tilde{r}_2^2}, \quad h_{22} = \frac{-(\tilde{x}_{t,t-1,1} - X_{n2})}{\tilde{r}_2^2},$$

$$\tilde{r}_1 = \sqrt{(\tilde{x}_{t,t-1,1} - X_{n1})^2 + (\tilde{x}_{t,t-1,2} - X_{n1})^2},$$

$$\tilde{r}_2 = \sqrt{(\tilde{x}_{t,t-1,1} - X_{n2})^2 + (\tilde{x}_{t,t-1,2} - X_{n2})^2}.$$

Для выполнения задачи была построена программная модель в среде Matlab, состоящая из нескольких блоков. Блок имитации полета БПЛА представляет движение его в заданную точку пространства, данные с выхода блока суммируются с шумами. Таким образом реализуется имитация каналов наблюдения. Полученные данные обрабатываются фильтром Калмана и поступают на блок статической обработки данных, в котором производится сравнение их с истинными данными [3]. Окончательным результатом является получение ошибки оценивания. Структурная схема моделирования приведена на рис.2



Рис. 2. Структурная схема моделирования

Для инициации работы алгоритма необходимо задать начальные значения матрицы ковариации ошибок оценивания, начальный вектор оценок, диагональные элементы корреляционных матриц ошибок наблюдения.

Измерения проводились при следующих начальных данных:

- Количество реализаций процесса моделирования $K=1000$;
- Дискретность задания времени;
- Множество индексов дискретных моментов времени
- СКО измерения координат в градусах;

– Дисперсия значений начальных скоростей по осям задана равной нулю, дисперсия ускорения (шумов) — 0.1.

Также были заданы начальные координаты точек, где расположены датчики (X_{n1}, Y_{n1}) и (X_{n2}, Y_{n2});

В результате работы модели была получена визуализация реальной траектории БПЛА и визуализации оценки координат, а также результаты статистической обработки матриц ковариации ошибки.

Первый опыт проведен для $N=12$, $dt=0.1$, $sa=1.5$. Результат представлен на рис. 3(а), затем параметры моделирования были изменены ($N=10$, $dt=0.1$, $sa=0.5$), результат представлен на рис. 3(б).

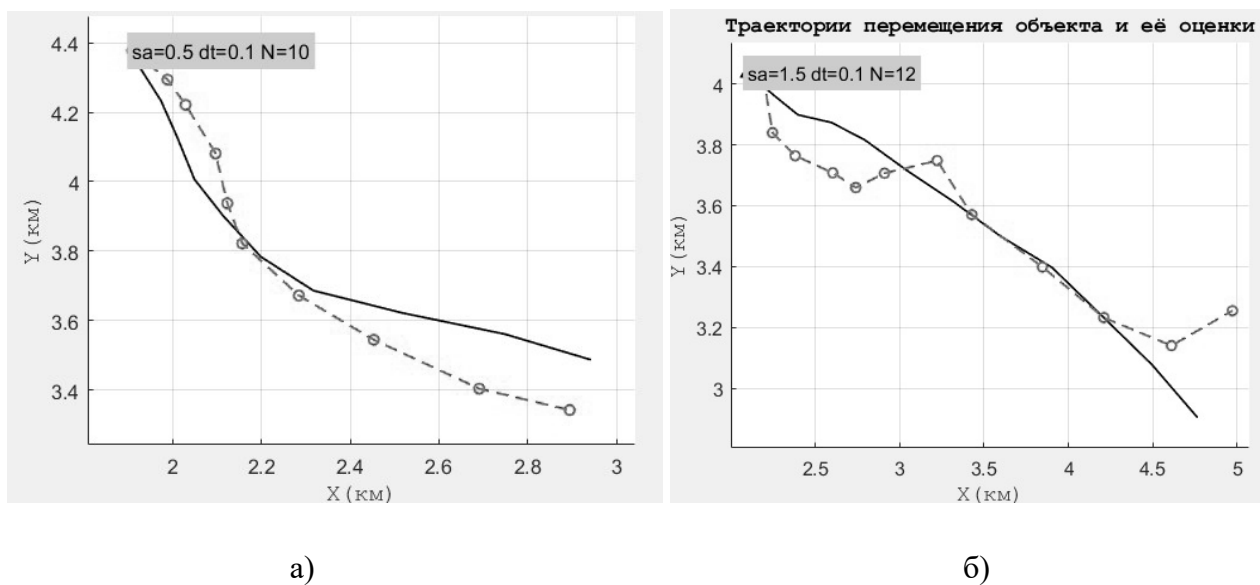


Рис. 3 Траектория перемещения объекта и её оценки

Для третьего опыта были взяты значения $N=15$, $dt=0.1$, $sa=1$ (рис. 4)

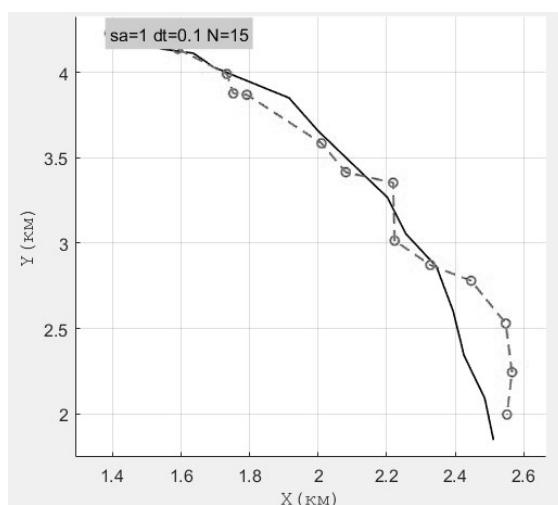


Рис. 4. Траектория перемещения объекта и её оценки

Результат расчета матрицы ковариаций ошибки показан для последнего варианта реализации модели.

Условная матрица ковариации ошибки

0.0029	0.0021	0.0123	0.0056
0.0021	0.0105	0.0060	0.0325
0.0123	0.0060	0.2099	0.0259
0.0056	0.0325	0.0259	0.3049

Безусловная матрица ковариации ошибки

0.0009	0.0039	0.0080	0.0250
0.0039	0.0187	0.0424	0.1416
0.0080	0.0424	0.1354	0.3839
0.0250	0.1416	0.3839	1.4070

Полученные данные свидетельствуют, что использование фильтра Калмана для обработки полученной от БПЛА навигационной информации позволяет уменьшить ошибку при позиционировании и использование данного алгоритма возможно при управлении движением БПЛА.

Список использованной литературы

1. Анучин О. Н., Емельянец Г. И. Интегрированные системы ориентации для морских подвижных объектов / Под ред. В. Г. Пешехонова. — 2-е изд. — Спб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2003. — 390 с
 2. Малинин, Д. Д. повышение точности позиционирования мобильной платформы путем коррекции GPS сигнала фильтром Калмана / Д. Д. Малинин, А. Е. Шаралапов // Надежность и качество сложных систем. — 2014. — №3(7). — С. 44–49.
 3. Машаров, К. В. Применение фильтра Калмана для оценки координат цели в РЛС // Вестник СибГУТИ. — 2011. — №3. — С. 59–66.
 4. Сейдж, Э. П. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. П. Сейдж, Дж.Л. Мелс. — М.: Связь, 1976. — 496 с.
 5. Чертова О. Г., Чиров Д. С. Построение опорной сети связи на базе малоразмерных беспилотных летательных аппаратов с отсутствием наземной инфраструктуры // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2019. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-opornoj-seti-svyazi-na-baze-malorazmernih-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov-s-otsutstviem-nazemnoy-infrastruktury> (дата обращения: 18.04.2020).
-

Прохорова Е. В.¹, Загитов С. Р.²

^{1,2} БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Исследование влияния порядка цифровых фильтров на обработку сигналов электрокардиограммы

г. Сургут

Аннотация. Целью работы является определение соотношения между параметрами цифровых фильтров, используемых в медицине для обработки электрофизиологических сигналов, и результатами фильтрации. Исследование проводилось на полученной практически путем выборки сигнала электрокардиограммы, результаты приводятся для 8-разрядного однокристального микроконтроллера с гарвардской RISC архитектурой в среде MatLAB.

Ключевые слова: электрокардиограмма, цифровой фильтр, микроконтроллер.

Prokhorova E. V.¹, Zagitov S. R.²

^{1,2} Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra; Surgut State University, Surgut

Investigation of the influence of digital filters in the processing of electrocardiogram signals

Surgut

Abstract. The aim of the work is to determine the relationship between the parameters of digital filters used in medicine for processing electrophysiological signals and the filtering results. The study was carried out on a sample of the electrocardiogram signal obtained in a practical way, the results are given for an 8-bit single-chip microcontroller with Harvard RISC architecture in a MatLAB environment.

Keywords: electrocardiogram, digital filter, microcontroller.

Основные понятия сигнала электрокардиограммы

Сигнал электрокардиограммы (ЭКГ) относится к электрофизиологическим биологическим параметрам человека, для снятия которых применяются электроды [1]. Электрод — электрический проводник, находящийся в контакте с электролитом. Принцип проведения измерений посредством электродов заключается в монополярном или биполярном отведении. При монополярном отведении используются два электрода — один располагается в активной зоне, а другой — в индифферентной зоне (электрическая активность в зоне близка к 0). Измерения производятся путем определения абсолютного биопотенциала. Основная информация о состоянии пациента находится в QRS — комплексе.

1. Р зубец — отображает процесс деполяризации миокарда;
2. PQ — сегмент, характеризующий процесс перед сокращением желудочков;
3. QRS зубец — иллюстрирует деполяризацию желудочков;
4. ST сегмент и Т зубец — отображают процесс реполяризации миокарда желудочков;
5. U зубец — появляется не всегда и обычно принимает форму малозаметной волны, мнения исследователей по поводу природы возникновения U зубца расходятся;

6. Горизонтальная линия, которая записывается при отсутствии тока, называется изолинией.

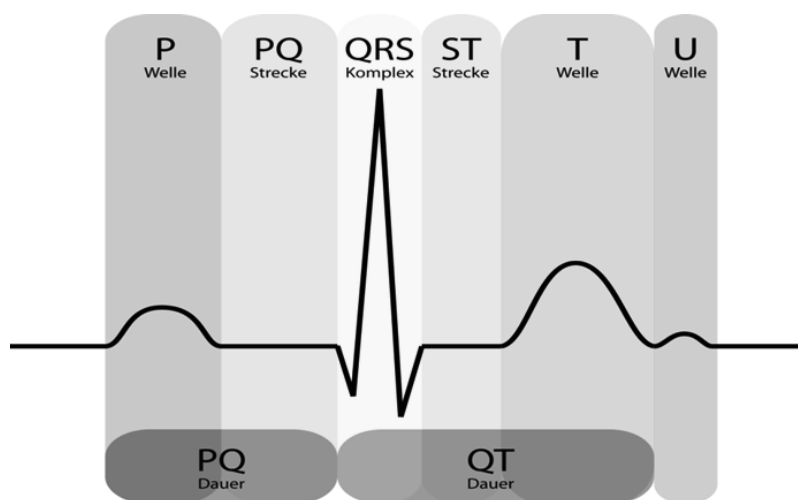


Рис. 1. Формирование сигнала электрокардиограммы

Сигнал ЭКГ — важный медицинский сигнал, по результатам которого можно выявить большинство сердечнососудистых заболеваний. Однако, при проведении измерений сигналы ЭКГ сильно подвержены искажениям из-за большого количества влияющих факторов. К основным источникам шума для ЭКГ относятся:

1. миограммы — высокочастотный электрический сигнал биологического происхождения, возникающий в результате сокращения мышц человека;
2. сетевая помеха линий электропередач — 50 Гц;
3. низкочастотные помехи, вызванные тремором пациента;
4. дрейф изолинии.

Небольшие искажения сигнала ЭКГ могут привести к ошибочной постановке диагноза, что недопустимо в медицине, следовательно, помехозащищенность ЭКГ является актуальной проблемой.

Обработка сигналов электрокардиограммы цифровыми фильтрами

Для обработки сигналов медицинских данных необходимо учитывать стандарты [2–9]. Основные требования к сигналу электрокардиограммы представлены в табл. 1 [10].

Для устранения каждого вида помехи в современной медицине применяется метод последовательного прохождения сигнала через 4 независимо управляемых фильтра [11–19]:

1. фильтр нижних частот с частотой среза 100 Гц — для ограничения влияния высокочастотных помех;
2. анти-треморный фильтр низкой частоты с полосой 30 — 35 Гц для устранения высокочастотного тремора пациента;
3. режекторный фильтр сетевой помехи с центральной частотой 50 Гц;
4. фильтр верхних частот с постоянной времени 3,2 и 1,6 секунды для устранения низкочастотного тремора пациента.

Порядок фильтра зависит от используемого оборудования, следовательно, результаты измерения на разных кардиографах могут отличаться. В данной статье будет исследовано влияние порядка фильтра на результаты измерения ЭКГ.

Измерение сигнала проводилось методом однополюсного отведения модулем AD8232.

Таблица 1.

Нормализованные значения сигнала электрокардиограммы

По амплитуде, мВ	
P — волна	0,25
R — волна	1,60
Q — волна	25 % от R — волны
T — волна	0,1 — 0,5
По длительности, с	
P-R интервал	0,12 — 0,20
Q-T интервал	0,35 — 0,44
S-T сегмент	0,05 — 0,15
P интервал	0,11
QRS интервал	0,09

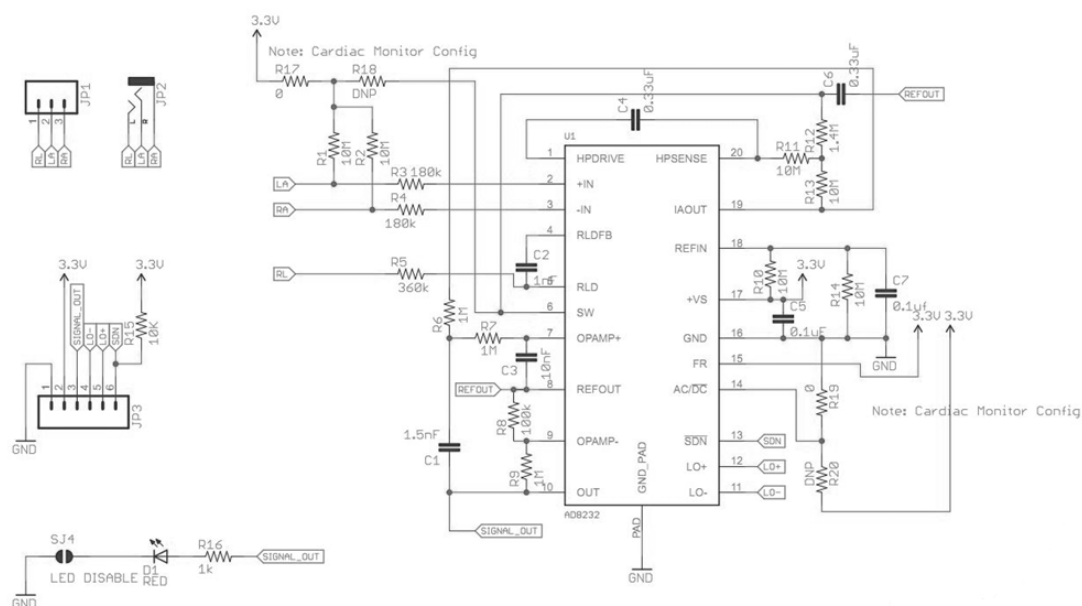


Рис. 2. Принципиальная схема модуля AD8232

Обработка сигнала осуществлялась восьмиразрядным однокристальным микроконтроллером с гарвардской RISC архитектурой и портативным осциллографом DSO-2090, в результате чего была получена выборка длиной 5000 и частотой дискретизации — 1250 кГц.

В среде разработки MatLab были спроектированы фильтры, с отличающимися параметрами порядка.

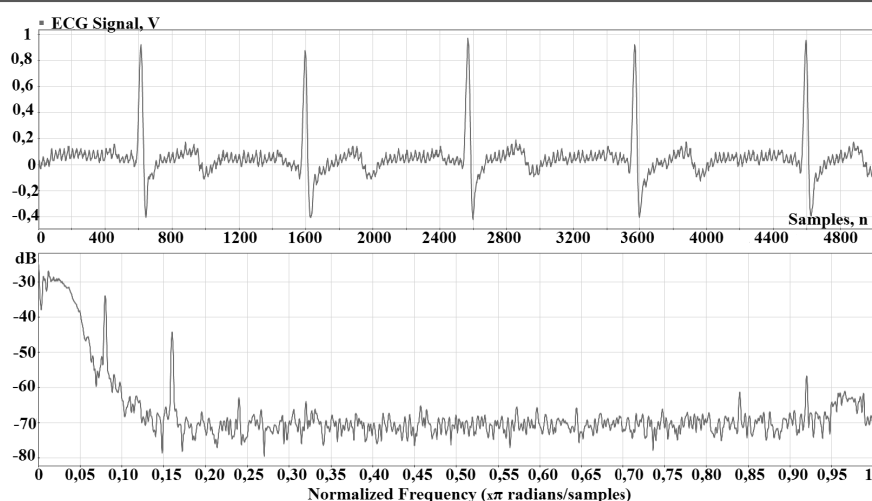


Рис. 3. Сигнал электрокардиограммы и его спектр

Таблица 2.

Параметры спроектированных фильтров

Наименование фильтра	Порядок фильтра
Для опыта №1	
Фильтр нижних частот с частотой среза 100 Гц	20
Анти-треморный фильтр низкой частоты	40
Режекторный фильтр сетевой помехи	1000
Фильтр верхних частот	20
Для опыта №2	
Фильтр нижних частот с частотой среза 100 Гц	10
Анти-треморный фильтр низкой частоты	10
Режекторный фильтр сетевой помехи	990
Фильтр верхних частот	10
Для опыта №3	
Фильтр нижних частот с частотой среза 100 Гц	30
Анти-треморный фильтр низкой частоты	70
Режекторный фильтр сетевой помехи	1010
Фильтр верхних частот	30

Результаты фильтрации представлены на рис. 4–7.

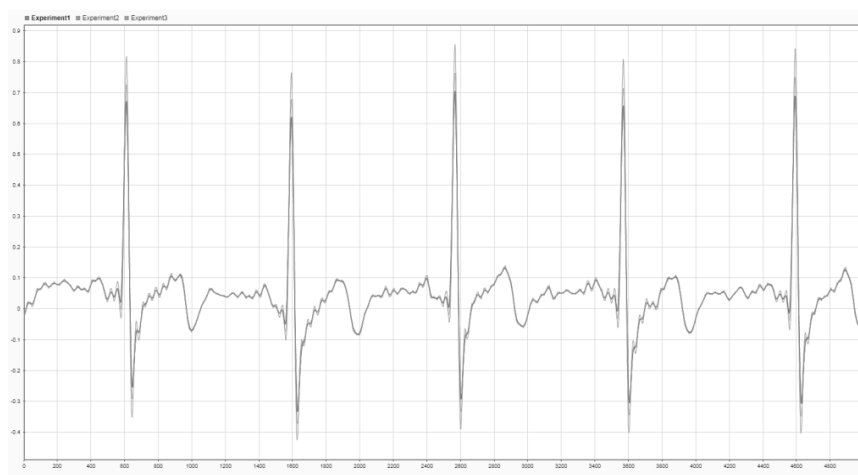


Рис. 4. Корреляция результатов отфильтрованного сигнала ЭКГ после проведения трех экспериментов

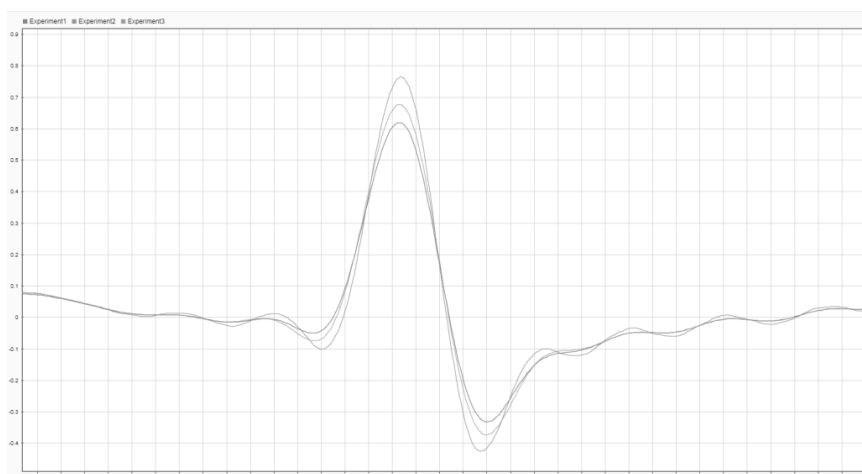


Рис. 5. Корреляция результатов отфильтрованного сигнала ЭКГ после проведения трех экспериментов
(увеличенная для QRS комплекса)

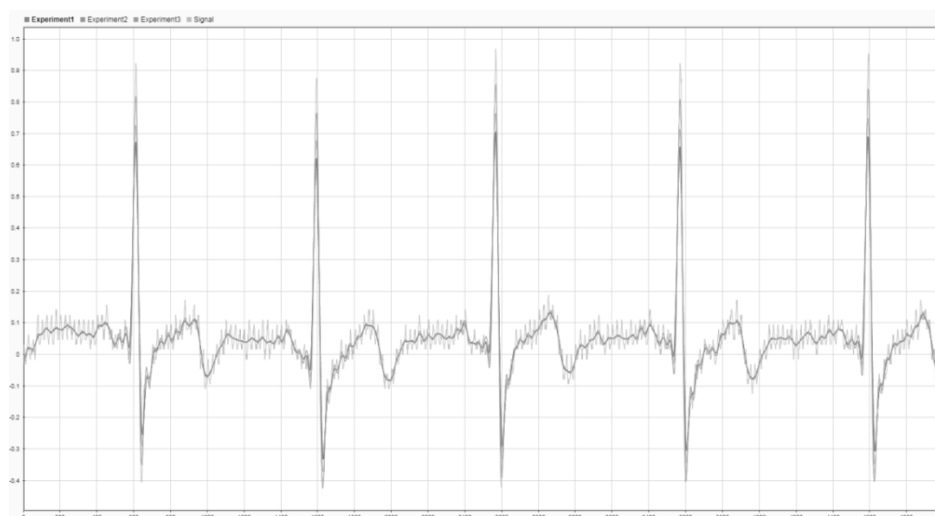


Рис. 6. Корреляция результатов отфильтрованного сигнала ЭКГ после проведения трех экспериментов
и основного сигнала ЭКГ

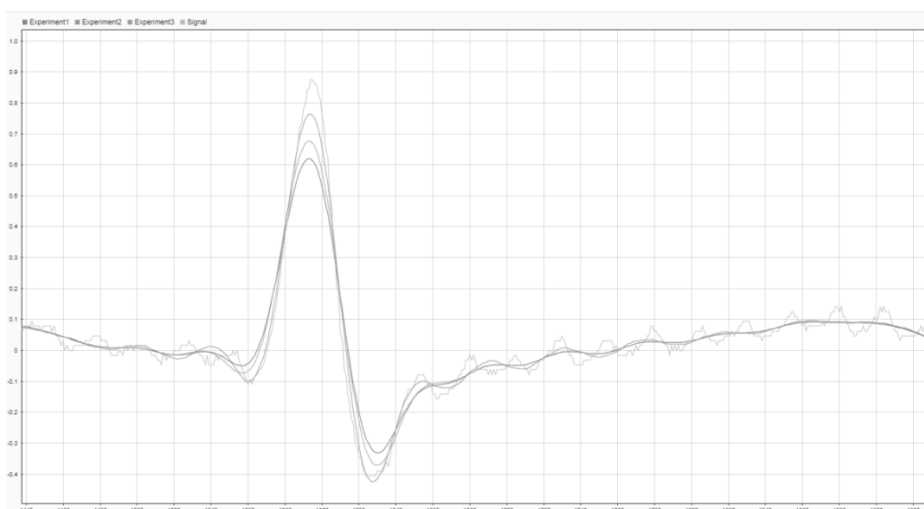


Рис. 7. Корреляция результатов отфильтрованного сигнала ЭКГ после проведения трех экспериментов и основного сигнала ЭКГ (увеличенная для QRS комплекса)

Заключение

По результатам исследования видно, что используемые фильтры качественно подавляют все виды помех, искажающие сигнал ЭКГ, но при этом оказывают влияние на особенно значимый QRS — комплекс, в частности сильно подавляется R — волна. Экспериментальным путем было доказано, что это влияние вызвано работой анти-треморного фильтра низкой частоты, причем процесс подавления напрямую зависит от порядка используемого фильтра. Как видно из опыта № 2, уменьшение порядка позволяет значительно улучшить качество фильтрации при этом, не подавляя R — волну. Изменение порядков других фильтров не сильно влияет на результаты фильтрации.

Список использованной литературы

1. Бакалов В. П. Медицинская электроника: основы биотелеметрии: учеб. пособие для вузов — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 326с. — (Серия: Специалист).
2. EN 1064:2005+A1:2007. Health informatics — Standard communication protocol — Computer-assisted electrocardiography. Date of Availability (DAV) 2007–03–14.
3. ISO standard 12052:2017 — Health informatics -- Digital imaging and communication in medicine (DICOM) including workflow and data management. Published by ISO on August, 2017.
4. HL7 Version 3 Standard: Regulated Studies; Annotated ECG (aECG), Release 1
5. ISO standard 11073–91064 — Health informatics — Standard communication protocol — Part 91064: Computer-assisted electrocardiography. Published by ISO on May 1, 2009.
6. ISO standard 22077–1 — Health informatics — Medical waveform format — Part 1: Encoding rules. Published by ISO on April 1, 2015.
7. ISO standard TS 22077–2 — Health informatics — Medical waveform format — Part 2: Electrocardiography. Published by ISO on August 1, 2015.
8. ISO standard TS 22077–3 — Health informatics — Medical waveform format — Part 3: Long term electrocardiography. Published by ISO on August 1, 2015.
9. BSI — PD ISO/TS 22077–4. Health informatics — Medical waveform format Part 4: Stress test electrocardiography. Published by BSI on October 31, 2019.

10. Bharti Salsekar, Dr. A. K. Wadhvani Filtering of ECG Signal using Butterworth filter and its feature extraction // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). 2012. №4. P.1292–1298
 11. Srivastava, A., Sankar K., N., Chatterjee, B., Das, D., Ahmad, M., Kukkundoor, R. K., Baghini, M. S. (2018). Bio-WiTel: A Low-Power Integrated Wireless Telemetry System for Healthcare Applications in 401–406 MHz Band of MedRadio Spectrum. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 22(2), 483–494. doi:10.1109/jbhi.2016.2639587.
 12. Abdul-Kadir, N. A., Sahar, N. S., Chan, W. H., & Harun, F. K. C. (2018). A Portable WiFi ECG. 2018 IEEE 38th International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT). doi:10.1109/iemt.2018.8511698.
 13. Noor, S. M., John, E., & Panday, M. (2018). Design and Implementation of an Ultralow-Energy FFT ASIC for Processing ECG in Cardiac Pacemakers. IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, 1–5. doi:10.1109/tvlsi.2018.2883642.
 14. Raja, K., Saravanan, S., Anitha, R., Priya, S. S., & Subhashini, R. (2017). Design of a low power ECG signal processor for wearable health system-review and implementation issues. 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). doi:10.1109/isco.2017.7856022.
 15. Catherine Chronaki ; Franco Chiarugi. (2006). OpenECG: Testing conformance to CEN/EN 1064 standard. July 2006. Conference: ESBME 2006At: Patras, Greece.
 16. Daidi Zhong, PhD, Michael J Kirwan, PhD, and Xiaolian Duan. (2013). Regulatory Barriers Blocking Standardization of Interoperability. JMIR Mhealth Uhealth. 2013 Jul-Dec; 1(2): e13.
 17. Lehne M, Luijten S, Vom Felde Genannt Imbusch P, Thun S. (2019). The Use of FHIR in Digital Health — A Review of the Scientific Literature. Stud Health Technol Inform. 2019 Sep 3;267:52–58. doi: 10.3233/SHTI190805.
 18. K. Raja ; S. Saravanan ; R. Anitha ; S. Suganthi Priya ; R. Subhashini. (2017). Design of a low power ECG signal processor for wearable health system-review and implementation issues. 2017 11th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). Publisher: IEEE. DOI: 10.1109/ISCO.2017.7856022.
 19. N. A. Abdul-Kadir ; N. S. Sahar ; W. H. Chan ; F. K. C. Harun. (2018) A Portable WiFi ECG. 2018 IEEE 38th International Electronics Manufacturing Technology Conference (IEMT). Publisher: IEEE. DOI: 10.1109/IEMT.2018.8511698.
-

Крыкун В. О.¹, Марцинкевич В. Г.², Рыжаков В. В.³, Чаппаров Ф. Х.³, Зайцев В. Ф.³

¹Управление связи ООО «Газпром трансгаз Сургут», г. Сургут

²Ханты-Мансийский филиал ПАО «Ростелеком» г. Сургут

³Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Анализ требований к инфокоммуникационной среде организации на основе модели бизнес-процессов

г. Сургут

Аннотация. В работе приводится анализ требований к инфокоммуникационной среде поддержки деятельности малых и средних компаний на основе моделирования их бизнес-процессов. Приводится интерпретация параметров модели инфокоммуникационной среды и их взаимосвязь с бизнес-процессами компании. Определяются связи между отдельными инфокоммуникационными сервисами и архитектурой инфокоммуникационной сети, необходимыми для ее оптимизации по критерию эффективной поддержки бизнес-процессов.

Ключевые слова: Бизнес-процесс, бизнес-функция, инфокоммуникационная платформа, планирование инфокоммуникационных сетей, оптимизация инфокоммуникационных сетей.

V. O. Krykun¹, V. G. Marcinkevich², Vitalii Ryzhakov³, Farid Chapparov³, V. F. Zajcev³

¹Communication Office of Gazprom Transgaz Surgut LLC, Surgut

²Khanty-Mansi branch of PJSC Rostelecom, Surgut

³Surgut State University, Surgut

Analysis of requirements for the infocommunication environment of the organization based on the model of business processes

Surgut

Annotation. The paper provides an analysis of the requirements for the information and communication environment to support the activities of small and medium-sized companies based on the modeling of their business processes. The interpretation of the parameters of the model of the infocommunication environment and their relationship with the business processes of the company. The connections between the individual information and communication services and the architecture of the information and communication network are determined, which are necessary for its optimization according to the criterion of effective support of business processes.

Keywords: Business process, business function, network platform, design for network, network optimization.

Вопросам проектирования инфокоммуникационных систем поддержки деятельности компаний исходя из реально существующих в компании бизнес-процессов в последнее время уделяется большое внимание, поскольку в условиях все большего внедрения принципов цифровой экономики разнообразие предлагаемых провайдерами инфокоммуникационных сервисов сильно размывает критерии выбора необходимого их состава [1–3]. Современная инфо-

коммуникационная среда малого или среднего предприятия, как правило, должна обеспечивать поддержку следующих функций, [4, 5]:

- управление клиентами;
- управление деятельностью;
- управление ресурсами;
- управление финансовыми потоками.

Представленные функции с точки зрения инфокоммуникационной среды являются сервисами, предоставляемыми конечным пользователям. Порядок и объем их использования зависит от тех бизнес-процессов, которые реализуются в компании. Поэтому при определении архитектуры используемой компанией инфокоммуникационной среды важно, как можно более точно описать действующие в компании бизнес-процессы [6].

Для описания деятельности небольшой компании чаще всего достаточно осуществить моделирование одного бизнес-процесса, состоящего из определенного набора бизнес-функций. Для построения оптимальной инфокоммуникационной среды можно воспользоваться формальной моделью бизнес-функций и связей между ними, определяемой набором входных факторов $\bar{X}$, а также результатами реализации бизнес-процесса в целом — набором выходных параметров $\bar{Y}$ [1].

При проектировании бизнес-процессов [5] необходимо определить следующие элементы:

1) Бизнес-функции, описывающие действия бизнес-процесса. Являются входными факторами оптимизационной модели. При их определении необходимо учитывать те бизнес-функции, которые требуют для своей реализации инфокоммуникационного обеспечения. При этом при формировании ограничивающих неравенств $g_i(\bar{U})$ входящие факторы, определяющие бизнес-функции, принимают значения объема данных, которые должны обрабатываться инфокоммуникационной платформой при реализации бизнес-функций. Аргументами неравенства $g_i(\bar{U})$, при этом, являются базовые свойства или функциональные возможности сети, которые используются в реализации соответствующей бизнес-функции, входящие в неравенства с коэффициентами, пропорциональными интенсивности использования соответствующей технологии при реализации бизнес-функции.

2) Входящие и исходящие события, определяющие моменты запуска и результаты выполнения бизнес-функций. Являются входными факторами оптимизационной модели. При их определении достаточно учесть только входящие события, поскольку они задают потоки вызовов и интенсивность использования бизнес-функций. Для описания входящих потоков при составлении ограничивающих неравенств $g_i(\bar{U})$ будем использовать понятие интенсивности потока вызовов ψ [5], определяемую, как математическое ожидание числа вызовов соответствующей бизнес-функции, поступающих в единицу времени. При этом каждый входной фактор определяется своим значением интенсивности потока. При описании входящих факторов этого типа необходимо учитывать только независимые потоки входящих событий. Потоки, которые возникают в следствии возникновения других событий, не являются независимыми и не используются в построении оптимизационной модели инфокоммуникационной платформы.

3) Входящие и исходящие документы, представляющие входные и выходные данные, также являющихся входными факторами оптимизационной модели. Формирование каждого из документов сопровождается генерацией определенного объема трафика, который не входит в итоговый документ, поэтому при описании неравенств $g_i(\bar{U})$ необходимо для каждого типа документа, представляющего собой входной параметр оптимизационной задачи, определять среднее значение объема данных, генерируемых в инфокоммуникационной платформе, для создания каждого экземпляра документа.

4) Роли, представляющие функциональные обязанности сотрудников предприятия. Являются входными факторами оптимизационной модели. Роли сотрудников определяются сферой деятельности моделируемой организации. В неравенства $g_i(\bar{U})$ роли входят в качестве числа сотрудников соответствующей роли, а весовые коэффициенты этих неравенств определяют интенсивность использования сотрудниками той или иной инфокоммуникационной технологии.

5) Ресурсы, которые задействуются для выполнения бизнес-процесса. Также являются входными факторами оптимизационной модели. К входным факторам этого типа относятся различные виды материальных и финансовых ресурсов, которые привлекаются для реализации бизнес-процесса. При этом в неравенствах $g_i(\bar{U})$ задаются ограничения по допустимым объемам привлечения этих ресурсов.

6) Метрики, позволяющие проводить количественные оценки параметров эффективности реализации бизнес-процесса, например, требуемое количество клиентов, годовой оборот и т.д. С точки зрения построения оптимизационной модели представляют собой набор выходных параметров $\bar{Y}$. При решении задачи планирования развития инфокоммуникационной платформы именно выходные параметры используются для учета трендов развития компании. При определении выходных параметров необходимо использовать только набор независимых метрик, т.е. метрик не имеющих прямых функциональных или статистических связей между собой.

Введение в модель возмущающих факторов $\bar{Z}$ возможен при конкретизации задачи оптимизации инфокоммуникационной платформы. Их использование имеет смысл только при относительно больших вариациях входных факторов и выходных параметров оптимизационной модели, и стохастического характера используемых для построения модели процессов.

Инфокоммуникационная платформа поддержки деятельности малых и средних компаний, в общем случае, может содержать следующие компоненты – офисные облачные и локальные сервисы, сетевые принтеры и сканеры, электронная почта, телефония и IP-телефония, видеоконференцсвязь, хранилище данных, подсистемы информационной безопасности, беспроводные и проводные сети доступа, персональные компьютеры, облачные и локальные сервисы управления клиентами, управления контентом, видеонаблюдения и охраны, бухгалтерского сопровождения и т.д.

Различные сочетания этих компонентов могут давать различные варианты построения инфокоммуникационной платформы, каждый из которых представляет свой управляющий фактор u_i из набора $\bar{U}$. При этом каждый из управляющих факторов u_i представляет собой набор компонентов инфокоммуникационной платформы, необходимый для получения соответствующей метрики из набора выходных параметров $\bar{Y}$. При построении оптимизационной модели необходимо определить те элементы и технологии, которые должны быть использованы для получения целевого значения метрики y_i . Числовое значение u_i означает интенсивность использования соответствующего набора компонентов инфокоммуникационной платформы. Определение варьируемых факторов u_i связано с заданием сочетания компонентов инфокоммуникационной платформы, обеспечивающих единичную интенсивность их использования, т.е. при их определении необходимо найти ответ на вопрос – в каком объеме должна быть задействована группа технологий u_i инфокоммуникационной платформы, которая соответствует единичному значению соответствующей метрики y_i . При этом необходимо учитывать, что для одного и того же по смыслу выходного параметра y_i могут быть использованы различные комбинации компонентов инфокоммуникационной платформы, т.е. одной и той же метрике могут соответствовать различные управляющие факторы u_i , которые должны входить в общую оптимизационную модель в качестве самостоятельных элементов, представляющих самостоятельные варианты построения инфокоммуникационной платформы для достижения заданного значения соответствующей метрики.

В качестве целевой функции R можно использовать линейную взвешенную сумму интенсивностей использования наборов технологий u_i , обеспечивающих достижение требуемых значений соответствующих метрик y_i , поскольку для малых и средних компаний наибольший интерес представляет суммарный эффект от их деятельности.

Список использованной литературы

1. Мадера, А. Г. Бизнес-процессы и процессное управление в условиях неопределенности: Количественное моделирование и оптимизация / А. Г. Мадера. — М.: ЛЕНАНД, 2019. — 160 с.
 2. Свод знаний по управлению бизнес-процессами: BPM СВОК 3.0 / Под ред. А. А. Белайчука, В. Г. Елифёрова; Пер. с англ. — М.: Альпина Паблишер, 2016. — 480 с.
 3. Чукарин, А. В. Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении современной инфокоммуникационной компанией / А. В. Чукарин, К. Е. Самуйлов, Н. В. Яркина. — М.: Альпина Паблишер, 2016. — 512 с.
 4. Marco Brambilla ; Jordi Cabot ; Manuel Wimmer. (2012). Model-Driven Software Engineering in Practice. Publisher: Morgan & Claypool. DOI: 10.2200/S00441ED1V01Y201208SWE001
 5. Nick Russell ; Wil M. P. van der Aalst ; Arthur H. M. ter Hofstede. (2016). Workflow Patterns: The Definitive Guide. MIT Press. Online ISBN: 9780262329408. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?bknumber=7453725>.
 6. Ze-Yuan Wang ; Qing Li ; Zhi-Chao Cao ; Wei-Hua Li ; Jun Li ; Rui-Yang Du. (2012). A Model-Based Deployment Framework of Integrated Public Cloud Service. Published in: 2012 International Conference on Computer Science and Service System. Date of Conference: 11–13 Aug. 2012. Publisher: IEEE. DOI: 10.1109/CSSS.2012.186.
-

Уржумцев Д. В.¹, Рыжаков В. В.², Сысоев С. М.²,
Зайнетдинов Р. В.², Ярушков В. В.²

¹Среднеобское ПТУС филиала АО «Связьтранснефть», г. Сургут.

²Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Управление инфокоммуникационным трафиком в программно-конфигурируемых сетях

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы организации управления трафиком инфокоммуникационных сетей исходя из требований обеспечения необходимого качества обслуживания. Приводится общая схема управления качеством на основе модели QoS, описываются параметры этой модели, а также механизмы ее использования в различных распределенных и централизованных архитектурах.

Ключевые слова: Качество обслуживания, программно-конфигурируемая сеть, сетевые сервисы, телекоммуникационный трафик, архитектура резервирования ресурсов.

D. V. Urzhumcev¹, Vitalii Ryzhakov², S. M. Sysoev²,
R. V. Zainetdinov², V. V. Jarushkov²

¹Sredneobskoye PTUS of a branch of PJSC «Svyaztransneft»,

²Surgut State University, Surgut

Infocommunication traffic management in software-defined networking

Surgut

Annotation. The article discusses the issues of organizing traffic management of infocommunication networks based on the requirements to ensure the required quality of service. A general scheme of quality management based on the QoS model is given, the parameters of this model are described, as well as the mechanisms for its use in various distributed and centralized architectures.

Keywords: Service quality, software-defined network, network services, telecommunication traffic, resource reservation architecture.

Развитие технологий программно-конфигурируемых сетей является актуальной в настоящее время задачей, поскольку взрывной рост телекоммуникационного трафика и его усложнение приводят к необходимости гибкого управления потоками в сетях с целью достижения максимальных показателей параметров качества сетевых сервисов QoS. Этой проблеме посвящено достаточное большое количество публикаций [1–16].

К основным параметрам качества сетевых сервисов, соответствующих требованиям QoS, можно отнести:

— пропускная способность сети, которая обычно оценивается, как математическое ожидание для какого-либо временного интервала с усреднением по ансамблю конкретных значений пропускной способности на достаточно длительных временных периодах;

- реакция на изменения профиля трафика — оценки изменения параметров качества сети, например, пропускной способности или доли потерянных пакетов, в зависимости от нагрузки на сеть;

- число или доля потерянных пакетов, обеспечивающих работоспособность сети, на этот показатель оказывает влияние используемые алгоритмы восстановления потерянных данных и алгоритмы регулирования потоков, в современных приложениях сеть может оставаться работоспособной даже при потерях до 70% пакетов;

- время и неравномерность доставки, которые оказываются важными для мультимедийных приложений и приложений реального времени, то есть приложений, в которых используется синхронный трафик.

Указанные параметры определяют различные классы обслуживания мультимедийного трафика в сети:

- высший, который соответствует классу обслуживания для традиционных телефонных сетей и гарантиями для всех абонентов сети;

- высокий, соответствующий минимальным показателям класса обслуживания сетей телефонии, предоставляемый не менее 85% абонентов сети;

- средний, который соответствует обслуживанию с максимальными усилиями для телефонных абонентов, но с гарантиями необходимого качества для не более чем 10% абонентов;

- доступный, в этом случае обеспечивается приемлемое качество, но без всяких гарантий его обеспечения.

С целью объективизации обеспечения соответствующего класса обслуживания обычно используют следующие характеристики:

- общая оценка качества передачи, определяемой пользователями по 100-бальной шкале;

- качество речи, воспринимаемой пользователем, оцениваемая по 5-бальной шкале;

- задержка из конца в конец.

Для обеспечения заданных значений характеристики передачи данных, соответствующих тому или иному типу, в программно-конфигурируемых сетях используются следующие механизмы:

- управление ресурсами сети, такими как управление полосой пропускания, управление маршрутами и способами коммутации в сетевых устройствах;

- эффективное использование ресурсов сети, использования инструментов менеджмента и тарификации;

- обеспечение различных уровней обслуживания для различных клиентов;

- управление информационными потоками на уровне приложений с приоритетом по обслуживанию для различных критичных приложений и обеспечением их совместной работы.

По назначению все механизмы обеспечения качества обслуживания в сетях с пакетной коммутацией обычно подразделяют на:

- механизмы обеспечения качества обслуживания в каждом сетевом элементе, такие как, управление очередями, маршрутизация и профилирование трафика;

- механизмы сигнализации, обеспечивающие сквозную передачу данных по сети;

- механизмы управления сетевым трафиком на основе расчетов и прогнозов по нагрузке на отдельные элементы сети.

Указанные типы механизмов обычно по-разному реализуются на различных участках сети. Так, на пограничных устройствах большое значение имеет задача классификации трафика и определение политики по его обслуживанию, в зависимости от класса. На магистральных участках основными задачами являются быстрая передача данных с учетом класса соответствующего информационного потока, а также предотвращение перегрузок.

Общая модель обеспечения качества обслуживания в программно-конфигурируемых сетях может быть представлена следующей схемой рис. 1.



Рис. 1. Общая схема обеспечения качества обслуживания в программно-конфигурируемых сетях.

Использование модели рис.1 при организации системы управления качеством обслуживания в сети позволяет обеспечить предсказуемое качество предоставляемых услуг за счет реализации следующих возможностей:

- поддержка выбранной пропускной способности;
- управление характеристиками потерь пакетов данных;
- уменьшение и предотвращение перегрузками за счет перенаправления трафика;
- формирование сетевого трафика;
- приоритезация трафика.

Указанные возможности обеспечиваются различными элементами сети.

Сетевые узлы с поддержкой QoS сервисов обычно реализуют следующие функции — классификация и кондиционирование трафика, управление очередями, предотвращение перегрузок, сигнализация.

Существует два способа настройки узловых функций — на основе анализа состояния своих ресурсов и динамики их использования, или на основе обратной связи через восприятие специальных управляющих сигналов. При этом конфигурирование осуществляется на основе локальных (узловых) моделей трафика, или на основе общей модели функционирования сети в центральном управляющем контроллере. Модели трафика строятся на основе аппарата математической статистики, анализа временных рядов, теории массового обслуживания и теории телетрафика. В последнее время все больше внимания уделяется также моделям машинного обучения, искусственных нейронных сетей и больших данных. Построение математических моделей и их использование осуществляется на всех этапах жизненного цикла телекоммуникационных сетей — проектирования, развертывания и эксплуатации.

Независимо от масштаба используемой модели трафика управление QoS включает в себя:

- мониторинг значений наблюдаемых параметров;
- управление устройствами;
- управление параметрами QoS.

По результатам мониторинга и оценки контролируемых параметров осуществляется управляющие воздействия на отдельные сетевые узлы, которое заключается в резервировании ресурсов и определении параметров окна передачи. Помимо этого, в зависимости от объема имеющихся ресурсов также осуществляется воздействие на конечные сетевые приложения путем изменения приоритетов и качества обслуживания.

Реализация функций резервирования ресурсов обеспечивается предоставлением конечным узлам возможности служебной информацией для координации усилий всех узлов по обеспечению качества обслуживания на всем пути следования потока данных. При этом, инициатором резервирования ресурсов может выступить не только конечный узел, но и промежуточные сетевые устройства.

Для поддержки функций резервирования ресурсов в настоящее время используется специальный протокол IETF (Internet Engineering Task Force), который базируется на группе измеряемых параметров разнородного трафика — готовность (доступность), задержка, вариация задержки (джиттер), пропускная способность, скорость потери пакетов, коэффициент загрузки сети.

Протокол IETF определяет две возможные архитектуры реализации процедуры резервирования ресурсов:

- комплексные или интегральные ресурсы (IntServ);
- дифференцированные услуги (DiffServ).

Обе архитектуры опираются на модель распределенных вычислений без использования центрального управляющего контроллера, при этом архитектура IntServ лучше подходит для использования на внутренних или оконечных сетях. Архитектура DiffServ хорошо реализуется на магистральных сетях.

В последнее время в связи с повсеместным внедрением концепции NGN (Next Generation Network) — сети связи следующего поколения, возникла необходимость повышения управляемости сетей через централизацию сетевых управляющих функций. В задачах управления резервированием ресурсов все большее применение находит протокол OpenFlow, с помощью которого осуществляется передача управляющей информации между сетевыми коммутаторами и центральным контроллером OpenFlow. Очевидно, что для реализации этого протокола сетевые узлы должны поддерживать управление по протоколу OpenFlow.

Список использованной литературы

1. Корячко, В. П. Программно-конфигурируемые сети. Учебник для вузов / В. П. Корячко, Д. А. Перепелкин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2020. — 288 с.
2. Ushakov, Y. A., Polezhaev, P. N., Shukhman, A. E., Legashev, L. V., & Bakhareva, N. F. (2017). Simulation of a Corporate Network Based on Software-Defined Infrastructure and Network Function Virtualization. 2017 IVth International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT). doi:10.1109/icent.2017.16.
3. Patrushev, G. G., & Drozdova, V. G. (2017). Routing efficiency evaluation with SDN solutions integration in the data network. 2017 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). doi:10.1109/edm.2017.7981737.
4. Tang, D., Quinkert, F., Frank, J., Ropke, C., & Holz, T. (2017). SDN-Guard: Protecting SDN controllers against SDN rootkits. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169856.
5. Gharbaoui, M., Contoli, C., Davoli, G., Cuffaro, G., Martini, B., Paganelli, F., ... Castoldi, P. (2018). Demonstration of Latency-Aware and Self-Adaptive Service Chaining in 5G/SDN/NFV infrastructures. 2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2018.8725645.
6. Chowdhary, A., Dixit, V. H., Tiwari, N., Kyung, S., Huang, D., & Ahn, G.-J. (2017). Science DMZ: SDN based secured cloud testbed. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169868.

7. Theodorou, T., & Mamatas, L. (2017). CORAL-SDN: A software-defined networking solution for the Internet of Things. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169870.
 8. Baddeley, M., Nejabati, R., Oikonomou, G., Gormus, S., Sooriyabandara, M., & Simeonidou, D. (2017). Isolating SDN control traffic with layer-2 slicing in 6TiSCH industrial IoT networks. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169876.
 9. Martino, C. D., Walid, A., & Thottan, M. (2018). A Cloud-Based Platform Enabling Automation in Resiliency and Performance Testing of SDN. 2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2018.8725749.
 10. Ventre, P. L., Ortiz, J., Mendiola, A., Fernandez, C., Pavlidis, A., Sharma, P., ... Whittaker, D. (2017). Deploying SDN in GÉANT production network. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169862.
 11. Khorsandroo, S., & Tosun, A. S. (2017). An experimental investigation of SDN controller live migration in virtual data centers. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169877.
 12. Tselios, C., Politis, I., & Kotsopoulos, S. (2017). Enhancing SDN security for IoT-related deployments through blockchain. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169860.
 13. Tantayakul, K., Dhaou, R., & Paillassa, B. (2017). Mobility management with caching policy over SDN architecture. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169830.
 14. Woo, S., Lee, S., Kim, J., & Shin, S. (2018). RE-CHECKER: Towards Secure RESTful Service in Software-Defined Networking. 2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2018.8725649.
 15. Meneses, F., Corujo, D., Neto, A., & Aguiar, R. L. (2018). SDN-based End-to-End Flow Control in Mobile Slice Environments. 2018 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2018.8725764.
 16. Liroy, A., Gardikis, G., Gaston, B., Jacquin, L., De Benedictis, M., Angelopoulos, Y., & Xylouris, C. (2017). NFV-based network protection: The SHIELD approach. 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN). doi:10.1109/nfv-sdn.2017.8169869.
-

Детков А. В.¹, Рыжаков В. В.², Гамидов Ф. М.²,
Кондрашкина Е. Г.², Рыжаков М. В.³

¹ООО «Новотех-МБ», г. Сургут

² Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа —
Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

³Управление энергетического хозяйства УВСИНГ ПАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут.

Управление энергопотреблением в распределенных сенсорных сетях

г. Сургут

Аннотация. В работе представлен обзор используемых в современных сенсорных сетях методов управления энергопотреблением. Описаны общие подходы к обеспечению энергопотребления на основе питания от батарей. Представлен обзор способов аккумуляции энергии из окружающей среды, а также беспроводной передачи электроэнергии в сенсорных сетях. Описаны проблемы управления потреблением электроэнергии в различных режимах работы как отдельных сенсорных элементов, так и всей распределенной сенсорной сети в целом.

Ключевые слова: Сенсорная сеть, энергопотребление, электрическая батарея, энергоэффективность, управление мощностью.

A. V. Detkov¹, Vitalii Ryzhakov², F. M. Gamidov²,
Elena Kondrashkina², Maxim Ryzhakov³

¹LLC «Novotech-MB», Surgut

²Surgut State University, Surgut

³Management of the energy sector of the UVSING PJSC «Surugneftegas», Surgut.

Energy consumption management in distributed sensor networks

Surgut

Annotation. The paper provides an overview of energy management methods used in modern sensor networks. The general approaches to providing energy consumption based on battery power are described. A review of the methods of accumulating energy from the environment, as well as wireless transmission of electricity in sensor networks, is presented. The problems of power consumption management in various operating modes of both individual sensor elements and the entire distributed sensor network as a whole are described.

Keywords: Sensor network, power consumption, electric battery, energy efficiency, power management.

Одной из самых сложных задач в организации работы распределенных сенсорных сетей является управление энергопотреблением отдельных элементов [1]. На уровень энергопотребления влияет большое количество факторов и в настоящее время значительные усилия разработчиков направлены на поиск способов продления энергоресурса отдельных сенсорных узлов. Чаще всего, сенсорные сети строятся на базе автономных с точки зрения электропитания систем, основным источником электроснабжения которых является встроенная аккумуляторная или стационарная батарея.

Существует два типовых решения, в которых применяются стационарные батареи — не-заменяемая и заменяемая стационарная батарея.

В первом случае подразумевается, что отдельные узлы сенсорной сети являются однократными и после разряда батареи переходят в состояние постоянной неисправности и отключаются от операций в сети [2]. Такие сценарии использования сенсорных сетей характерны для суровых или агрессивных природных условий, или для зон боевых действий.

В приложениях с заменяемыми стационарными батареями их замена возможна и осуществляется людьми или роботами [3]. В таких системах при составлении регламентов обслуживания сенсорных узлов критичным является ожидаемое время разряда батарей. В табл. 1 представлены значения времен разряда для некоторых распространенных сенсорных узлов [1].

Таблица 1.

Прогнозируемый средний срок службы коммерческих сенсорных узлов, работающих от батарей типа 2×AA.

Тип сенсорного узла	Прогнозируемое время жизни, час
Cricket	187
Iris	216
Mica	187
Lotus	79
Telos	241

В последнее время большое внимание уделяется поиску способов продления времени жизни сенсоров за счет использования альтернативных источников энергии [4]. При этом в этом случае в качестве основного источника электрической мощности выступают аккумуляторные батареи, а дополнительные источники питания используются для их подзарядки с целью увеличения срока использования батарей. Наиболее эффективным источником дополнительного питания является использование солнечной энергии. Современные системы съема солнечной энергии способны обеспечивать до 40% КПД, что, однако, не является пределом для подобных систем. Общая мощность солнечного электроснабжения напрямую зависит от размера солнечных панелей.

Теоретический интерес представляют системы с ветровой генерацией, но их практическое применение в сенсорных сетях ограничено громоздкостью генераторного оборудования. Перспективными являются системы с питанием от излучаемого радиосигнала с отводом части радиочастотной мощности для заряда аккумуляторных батарей сенсорного устройства. В ситуациях, когда сенсорные сети работают в условиях перепада температур, также возможно использование термоэлектрических генераторов, которые обеспечивают неплохие показатели по энергоемкости и энергоэффективности. Свою нишу также находят системы с аккумулярованием энергии на основе вибрации. Для сенсорных сетей наиболее приемлемыми являются системы с извлечением энергии на основе применения пьезоэлектрических материалов.

Для медицинских приложений в качестве источника энергии для сенсорных сетей может быть использовано тело человека. При этом энергия извлекается из преднамеренных действий человека — вращение, повороты, прыжки, наклоны и другие перемещения тела человека. Хорошим примером может служить использование в качестве источника питания встроенный в обувь пьезогенератор. Существуют решения с использованием электроактивных полимеров, изготовленных из силиконового каучука, которые выдают до 0,8 Дж/шаг при сжатии подошвы на 3 мм. При этом выходная мощность достигать 800 мВт при ходьбе со скоростью до 2 шагов в сек.

Отдельной задачей в системах с аккумулированием энергии является задача управления приемом и расходом электрической энергии [5]. Решение этой задачи должно обеспечить наиболее длительное использование сенсоров без их стационарной перезарядки.

Основной проблемой, решаемой в этом случае, является то, что каждый отдельный узел будет иметь свои собственные особенности использования альтернативных источников энергии. Следовательно, алгоритмы управления зарядом/разрядом должны быть адаптивными и учитывать особенности окружающей среды. Подобные алгоритмы основаны на прогнозной модели доступной для аккумулирования мощности и строятся на основе метода экспоненциально взвешенного скользящего среднего с делением суточного времени на равные интервалы с определением временных интервалов аккумулирования и расходования энергии. Использование данного метода позволяет построить прогнозный график преимущественного расходования энергии, связанного с передачей/приемом данных, и аккумулирования энергии в пике интенсивности альтернативных источников.

В реализуемых на практике сенсорных сетях зачастую возникает необходимость использования лидирующего в сегменте узла, который управляет работой всего сегмента. В частности, такой узел может выступать в качестве ретранслятора для сенсоров сегмента и обеспечивать передачу/прием данных на базовую станцию. Лидирующий узел вынужденно затрачивает больше энергии, чем остальные сенсоры сегмента, поэтому в качестве такого узла в сегменте выбирается узел с наилучшими показателями по объему доступной альтернативной энергии. Дальнейшим развитием адаптивных алгоритмов энергоэффективного управления является учет особенностей используемой элементной базы с учетом технологических и временных параметров. Хорошие адаптивные алгоритмы позволяют осуществлять смену лидирующего узла в зависимости от прогноза в отношении его энергозатрат и способности к их восстановлению.

Указанный адаптивный метод обеспечивает оптимальную энергоэффективность в пределах сегмента, то есть на канальном уровне сети. В пространственно рассредоточенных сетях помимо задач управления в пределах сегмента также возникает задача маршрутизации потоков данных от сегмента к сегменту. При этом задача маршрутизации решается исходя из критерия повышения общей эффективности сети и продолжительности жизни каждого отдельного узла, а не на основе кратчайшего маршрута, как в обычной сетевой маршрутизации.

Еще одним направлением повышения энергоэффективности сенсоров является уменьшение циклов заряда/разряда аккумуляторных батарей, что позволяет продлить их срок службы с сохранением эффективной емкости. Для решения этой задачи используется типовая схема рис. 1.

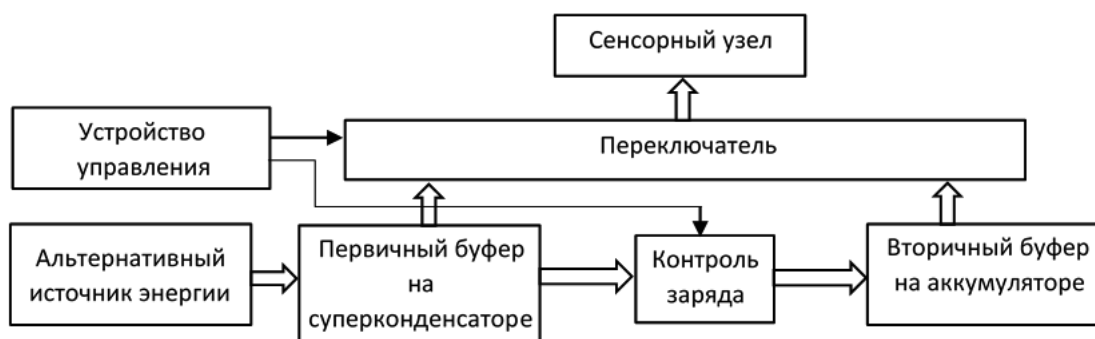


Рис. 1. Типовая схема управления энергопотреблением от альтернативного источника электропитания.

Особенностью схемы является наличие промежуточного энергетического буфера в виде суперконденсатора. В системе сперва заряжается первичный энергетический буфер и от него

обеспечивается питание работы сенсора в периоды, когда энергии альтернативного источника для этого достаточно. Аккумуляторная батарея заряжается только при наличии для этого достаточной энергии в первичном буфере, а ее использование для питания сенсорного узла осуществляется только в периоды отсутствия достаточной энергии, поступающей от альтернативного источника.

Усилия разработчиков последнего времени также направлены на поиск способов целенаправленной беспроводной передачи электрической энергии с целью заряда аккумуляторных батарей сенсорных устройств с использованием приемо-передающих систем, применяемых в канале передачи данных [6, 7]. В настоящее время подобные системы являются предметом исследования и, пока, не применяются на практике из-за наличия ряда ограничений, основными из которых является относительно низкая эффективность и громоздкость узлов антенно-фидерного тракта для обеспечения необходимо живучести узлов сенсорной сети. Лабораторные испытания показывают приемлемое применение системы беспроводной передачи энергии в радиусе до 12 метров со значительным снижением эффективности за пределами этого расстояния. В связи с этим для обеспечения работы метода возникает необходимость ретрансляции энергии от узла к узлу для заряда пространственно-рассредоточенных сетей.

Эффективность метода обеспечивается оптимальным расположением сенсоров сети, а также применением гибких алгоритмов управления энергопередачей. Применяемые алгоритмы используют один из трех методов передачи энергии — с промежуточным накоплением во входном буфере с последующей передачей на удаленный узел, с прямой ретрансляцией энергии без предварительного накопления и гибридный метод, сочетающий в себе два предыдущих. В подобных методах также возникает необходимость управления маршрутизацией передачи исходя из принципа максимизации энергоэффективности, а не минимизации маршрута передачи. При выборе маршрута делается оценка отношения энергозатрат на передачу данных и объема принимаемой в передаче энергии с учетом эффективности работы аккумуляторных батарей и конденсаторов. Если указанное отношение оказывается больше единицы, осуществляется поиск другого узла для ретрансляции данных. Кроме этого, в таких сетях также могут использоваться режимы принудительного заряда аккумуляторов в периоды отсутствия передачи данных.

Значительное увеличение дальности передачи энергии можно получить использованием лазерного сигнала. Лабораторные испытания показывают приемлемую эффективность передачи энергии на расстояния до 1–2 км. Однако практическое применение подобных систем сдерживается необходимостью сверхточного нацеливания лазерного излучения, а также сложностью обеспечения необходимой безопасности.

Хорошо зарекомендовавшим себя и давно применяемым на практике способом повышения энергоэффективности сенсорных сетей является управление энергопотреблением отдельных элементов сети исходя из чередования режимов «сна» (дежурный режим) и «бодрствования» (рабочий режим). Протоколы управления энергопотреблением для данного способа можно разделить на протоколы управления топологией, протоколы сна/пробуждения и протоколы MAC с малыми рабочими циклами.

В протоколах управления топологией ставится задача перевода некоторых узлов сети в дежурный режим с управлением хи пробуждением тогда, когда в этом возникает необходимость. При этом пробуждением «спящих» узлов управляют другие узлы сети, называемые мониторами, которые, в свою очередь, всегда находятся в состоянии бодрствования и отслеживают моменты включения и выключения других узлов. Такие протоколы в свою очередь подразделяются на управляемые местоположением и управляемые подключением [8–10]. Алгоритмы управления топологией основаны на теории графов и направлены на динамическое регулиро-

вание топологии сети, уменьшая или увеличивая ее в зависимости от ситуации. При этом важной является задача вычисления минимальной топологии, обеспечивающей покрытие сегмента. При уменьшении топологии ниже необходимого предела сеть теряет связность и выходит из работы, несмотря на наличие достаточного объема энергии в сети.

Протоколы сна/пробуждения ориентированы на реализацию в каждом узле сети своего управляющего протокола, который в зависимости от ситуации переводит узел в рабочий или дежурный режимы. В свою очередь протоколы этого типа подразделяются на протоколы работы по требованию, по расписанию и асинхронные протоколы.

В протоках работы по требованию сенсорный узел, необходимый для приема или передачи данных, пробуждается по внешнему вызову, путем приема и обработки внешнего радиосигнала специального вида. В протоколах работы по расписанию узлы работают согласно заранее определенного расписания. При этом возникает проблема синхронизации узлов, которая решается установкой гибкого расписания работы, зависящего от состояния внутреннего ресурса узлов и их рассчитываемого ресинхронизма. В асинхронных протоколах узлы могут осуществлять прием и передачу данных в любое время, однако для их работы необходимо постоянное присутствие в сети базовой станции с центральным электропитанием.

Протоколы MAC с малыми рабочими циклами относятся к протоколам с совместным разделением общего связного ресурса. Существует два типа подобных протоколов — с временным разделением использования канала и со случайным доступом. В первом случае каждому отдельному сенсору сети назначается определенный тайм-слот в общем временном ресурсе сети, а во втором, сенсоры конкурируют между собой за право доступа к среде передачи данных на основе различных модификаций протокола ALOHA. Обеспечение энергоэффективности достигается за счет обеспечения цикличной работы приемопередатчиков сенсоров, когда радиомодули сенсоров включаются только на короткое время в строго определенные моменты, что позволяет снизить накладные расходы на передачу управляющей и служебной информации между узлами сети.

Список использованной литературы

1. Беспроводные сенсорные сети. Учебное пособие для вузов / Б. Я. Лихтциндер, Р. В. Киричек, Е. Д. Федотов, и др. — М.: Горячая линия-Телеком, 2020. — 236 с.
2. Tong B., Wang G., Zhang W., Wang C. Node reclamation and replacement for long-lived sensor networks // Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2009. SECON'09. 6th Annual IEEE Communications Society Conference on, IEEE, 2009. P. 1–9.
3. Sheu J., Cheng P., Hsieh K. Design and implementation of a smart mobile robot //IEEE International Conference on Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications, 2005. (WiMob'2005). Vol. 3, P. 422–429.
4. Kansal A., Hsu J., Zahedi S., Srivastava M. Power management in energy harvesting sensor networks // ACM Transactions on Embedded Computing Systems (TECS). 2007. Vol. 6, no 4. P. 32.
5. Jiang X., Polastre J., Culler D. Perpetual environmentally powered sensor networks // IPSN 2005. Fourth International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, IEEE, 2005. P. 463–468.
6. Doost R., Chowdhury K., Di Felice M. Routing and link layer protocol design for sensor networks with wireless energy transfer // GLOBECOM 2010, Global Telecommunication Conference, IEEE, 2010. P. 1–5.
7. Guo S., Wang C., Yang Y. Mobile data gathering with wireless energy replenishment in rechargeable sensor networks // INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE, 2013. P. 1932–1940.

8. Yuanyuan Z., Jia X., Yanxiang H. Energy efficient distributed connected domination sets construction in wireless sensor networks // Proceedings of the 2006 international conference on Wireless communications and mobile computing, ACM, 2006. P. 797–802.
 9. Wightman P. M., Labrador M. A., A3: A topology construction algorithm for wireless sensor networks // Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008. P. 1–6.
 10. Rizvi S., Qureshi Y. R., Ali Khayam S., Rakocevic V., Rajarajan M. A1: An energy efficient topology control algorithm for connected area coverage in wireless sensor networks // Journal of Network and Computer Applications. 2012. Vol. 35, no 2. P. 597–605.
-

Татарников А. С.¹, Рыжаков В. В.², Лобанов П. Ю.², Кондрашкина Е. Г.²

¹Уральский филиал ПАО «Мегафон», г. Сургут.

²Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Сети радиодоступа для предоставления услуг промышленного интернета вещей

г. Сургут

Аннотация. В работе представлено описание стандартов персональных, локальных и городских сетей радиодоступа, используемых для приложений промышленного интернета вещей. Приводятся их основные рабочие характеристики, а также производится анализ областей применения по дальности связи и доступным скоростям передачи.

Ключевые слова: Сенсорная сеть, персональные беспроводные сети, локальные беспроводные сети, городские беспроводные сети, сети радиодоступа.

A. S. Tatarnikov¹, Vitalii Ryzhakov², Pavel Lobanov², Elena Kondrashkina²

¹Ural branch of PJSC Megafon

²Surgut State University, Surgut

Radio access networks for provision of services of industrial things internet

Surgut

Annotation. The paper describes the standards of personal, local and city radio access networks used for applications of the industrial Internet of things. Their main performance characteristics are given, and the application areas are analyzed by the communication range and available transmission speeds.

Keyword:. Sensor network, personal wireless networks, local wireless networks, urban wireless networks, radio access networks.

Сети радиодоступа являются основой для развертывания сенсорных сетей промышленного интернета вещей. В настоящее время разработчики используют очень разные технические решения, все многообразие которых традиционно разбивают на три группы [1]:

- персональные беспроводные сети WPAN (Wireless Personal Area Network), используемые для связывания устройств и оборудования в пределах рабочего места радиусом до 10 м (в некоторых случаях — до 100 м);
- беспроводные локальные сети WLAN (Wireless Local Area Network), которые применяются для организации связи в пределах помещения или на открытом воздухе в радиусе до 150–300 м;
- городские распределенные сети WMAN (Wireless Metropolitan Area Network), предназначенные для общественного использования внутри региона с радиусом покрытия до 50 км.

Необходимо отметить, что стандарты сетей WPAN и WLAN пересекаются по рабочим характеристикам, поэтому при разработке устройств промышленного интернета вещей их рассматривают в качестве альтернативы друг по отношению другу без деления на сети WPAN

и WLAN. Их основное назначение — сбор и передача данных телеметрии с ограниченной в пространстве зоны покрытия и передача на базовую станцию для дальнейшей трансляции через сеть Интернет на специализированный сервер данных. Сети подобного типа нашли самое широкое применение в различных приложениях.

Рассмотрим основные стандарты этой группы протоколов [2].

Infrared Data Association (IrDA, ИК порт, инфракрасный порт) — представлен группой протоколов, разработанных достаточно давно, описывающих физический и логический уровни передачи данных на основе световых волн инфракрасного диапазона. Фактически представляет собой описание оптической сети ближнего радиуса действия. Группа состоит из большого числа разнообразных протоколов, таких как IrCOMM, IrLAN, IrPHY, IrLAP, IrLMP, Tiny TP, IrOBEX, IrFM.

Основным недостатком, ограничивающим применение данного протокола в сетях доступа промышленного интернета вещей, является ограниченность действия и требование прямой видимости пары приемник-передатчик. Считается, что эта группа стандартов проигрывает в конкурентной борьбе интернета вещей группе стандартов Bluetooth. Однако, решение задач повышения энергоэффективности сенсорных сетей за счет дистанционной подзарядки с использованием лазерного оптического излучения может привести к возрождению интереса к этой группе протоколов и увеличить радиус канала связи до 1–2 км.

Стандарты группы Bluetooth в настоящее время находят самое широкое применение в сетях промышленного интернета вещей ближнего действия. Обусловлено это исходным назначением и целями создания стандарта — малый радиус действия, низкая скорость передачи, простота подключения и низкое энергопотребление.

Рабочим диапазоном частот стандарта является ISM-диапазон 2,4–2,48 ГГц. Стандарт использует кодовое разделение каналов, что позволяет работать одновременно в этом диапазоне нескольким устройствам Bluetooth. За период развития стандарта было выпущено 5 версий, которые, в основном, отличаются друг от друга скоростями передачи данных — от 732,2 Кбит/сек до 24 Мбит/сек, совместимостью со стандартами Wi-Fi и возможностью включения режима низкого энергопотребления. Четвертая версия протокола объединила в себе все перечисленные нововведения. С точки зрения применения в сетях промышленного интернета вещей практический интерес представляет версия протокола с поддержкой энергосберегающей технологии Sniff Subrating, которая позволяет увеличить продолжительность работы сенсора от одного заряда аккумулятора от 3 до 10 раз. При этом скорость передачи данных уменьшается до 1 Мбит/сек.

Альтернативой стандарта Bluetooth с низким энергопотреблением является относительно новая технология фирмы Nokia — Wibree, которая имеет близкие к нему характеристики — диапазон частот 2,4 ГГц, скорость передачи данных до 1 Мбит/сек, радиус действия — до 10 м. Отличительной особенностью стандарта является ультранизкое энергопотребление. Так для Bluetooth с низким энергопотреблением при передаче данных на 10–100 м передатчик использует мощность до 100 мВт, в то время как Wibree для этих же целей использует 10 мВт. Экономия энергии достигается за счет уменьшения размера передаваемых пакетов, что снижает накладные расходы энергии на передачу. В стандарте Bluetooth 5 технология Wibree была включена в качестве одного из возможных режимов работы конечных устройств, именуемого Bluetooth с низким энергопотреблением (Bluetooth Low Energy — BLE).

Конкурирующей технологией для Bluetooth является технология ZigBee, которая представляет собой набор высокоуровневых протоколов связи, использующих небольшие, мало-мощные цифровые приемопередатчики. Стек протоколов ZigBee работает поверх физического протокола стандарта IEEE 802.15.4. Протоколы ZigBee используются в приложениях, требую-

щих низкую скорость передачи данных и низкое энергопотребление. По принципу действия ZigBee — это создание недорогая, самоорганизующаяся сеть с ячеистой топологией, которая хорошо подходит для реализации приложений промышленного интернета вещей — контроль промышленных объектов, сбор и передача данных телеметрии, медицинских данных, системы безопасности, строительной и домашней автоматизации. Технология рассчитана для работы в частотных диапазонах 2,4 ГГц, 915 МГц (Американский континент) и 868 МГц (Европа).

Еще одной технологией, которая работает поверх стандарта IEEE 802.15.4a является стандарт UWB (Ultra-Wide-Band). Стандарт использует сверхширокую полосу частот от 3,1 до 10,6 ГГц и шумоподобные сигналы. Это позволяет достигать скорости до 480 Мбит/сек при крайне низком для этих скоростей энергопотреблении на уровне 50–70 мВт. Основным недостатком протокола является небольшая дальность связи на уровне до 3 м. При увеличении расстояния передачи происходит значительное снижение скорости. Так на дальности 10 м скорость передачи падает до 110 Мбит/сек.

В современной практике на базе UWB были разработаны такие стандарты, как Wireless USB и Wireless HD. Первый из них ориентирован на замену проводного USB с поддержкой на канальном уровне всех особенностей стандартного USB. Что касается Wireless HD, то его основное назначение — передача потокового аудио и видео трафика на скоростях от 2 до 25 Гбит/сек. Стандарт работает в частотном диапазоне 55–65 ГГц и используется на расстояния до 10 м. Указанная пара стандартов имеет хорошие перспективы в качестве нижнего уровня доступа современных гетерогенных беспроводных сетей доступа в качестве фемто-соты беспроводных сетей 5G и 6G и может использоваться для представления таких перспективных услуг связи, как промышленный интернет вещей и добавленная реальность.

Одним из самых распространенных стандартов сетей беспроводного доступа, которые используются в приложениях промышленного интернета вещей является группа стандартов, объединенных названием Wi-Fi. Актуальными стандартами этой группы являются стандарты IEEE 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.22. Стандарты существенно отличаются друг от друга рабочими диапазонами частот (диапазоны 2,4 и 5 ГГц), скоростью передачи данных (1–450 Мбит/сек) и дальностью связи — от 100 м до 100 км. Общим свойством стандартов является обязательное наличие центральной базовой станции для управления потоками данных, а также отсутствие стандартных механизмов управления энергопотреблением. Поэтому в сетях промышленного интернета вещей их основное применение состоит в использовании в качестве точек доступа сегментов распределенной сенсорной сети, а также в случае наличия стационарного питания отдельных сетевых узлов.

Главное отличие группы стандартов WiMAX состоит в том, что они изначально рассчитаны на большие радиусы действия в пределах 50 км. Поэтому WiMAX является прямым конкурентом сотовых сетей связи, которые также в последнее время стали широко использоваться для приложений интернета вещей. Техническое описание стандарта приведено в серии документов IEEE 802.16. Всего существует три версии стандарта, отличающиеся используемым частотным диапазоном (от 2 до 66 ГГц) и мобильностью. В отношении скоростей передачи данных стандарты могут обеспечивать скорости от 15 Мбит/сек до 1 Мбит/сек, что несомненно является достоинством стандарта. В настоящее время стандарт претендует на ту же самую нишу, что и стандарты группы Wi-Fi и, по всей видимости, станет основой для построения нано- и микро-сот гетерогенных сетей следующего поколения.

Развитие технологий промышленного интернета вещей привело к развитию серии стандартов, объединенных общим названием LPWAN (Low-power Wide-area Network — энергоэффективная сеть дальнего радиуса действия). Группа стандартов представляет семейство технологий беспроводной передачи на относительно большие расстояния данных ограниченного

объема. Стандарты специально разрабатывались для распределённых сенсорных сетей, обмена управляющими данными промышленных объектов и Интернета вещей. В отличие от сетей Wi-Fi и WiMAX эти сети изначально ориентировались на обеспечение высокой энергоэффективности. К основным особенностям сетей LPWAN можно отнести возможность установки конечных устройств на расстояния до 10 км от шлюза, скорости передачи менее чем 5 кбит/с с размером сообщений от 20 до 256 байт, посылаемых только несколько раз за день, а также низкое энергопотребление — теоретический период работы батареи без замены до 10 лет.

К основным технологиям этого типа можно отнести: «СТРИЖ» (русская технология энергоэффективной связи, разработанная компанией «СТРИЖ Телематика»), LoRa (Long Range — энергоэффективная сетевая технология, представленная исследовательским центром IBM Research и компанией Semtech), SigFox — стандарт одноименной французской компании, основанный на технологии Ultra Narrow Band (UNB), Weightless — совокупность открытых стандартов технологической связи LPWAN, поддерживаемых некоммерческой организацией Weightless SIG, RPMA (Random Phase Multiple Access), технология для диапазона 2,4 ГГц, разрабатываемая американской компанией Ingenu.

Все технологии ориентированы на нелицензионные частотные диапазоны субгигагерцового и гигагерцового диапазона. В настоящее время эта группа стандартов является перспективной для конечных приложений, однако они требуют развертывания своих сетей доступа, что представляет собой определенные проблемы и сдерживает масштабное внедрение этих технологий.

Спецификой описанных выше технологии беспроводного доступа является возможность их автономного использования без провайдера услуг связи. Однако в настоящее время практически все провайдеры беспроводного доступа начинают предлагать услуги подключения устройств промышленного интернета вещей в своих сетях мобильной связи.

Для этих целей консорциумом 3GPP разрабатывается группа технологий с условным названием «Интернет вещей в сетях мобильной связи» (или сотовые технологии). Существует три основных группы технологий этого типа.

Технология eMTC (LTE-M, LTE Cat.M1) представляет собой адаптацию концепции Интернета вещей для LTE сетей. Технология eMTC обеспечивает передачу данных до 1 Мбит/с в направлении от абонента и к абоненту.

Технология NB-IoT по прогнозу станет в ближайшие годы самой популярной технологией приложений Интернета вещей. Технология обладает всеми необходимыми для хорошей платформы интернета вещей характеристиками — большая зона доступа, быстрое развертывание на существующих сетях 3G и 4G, а также встроенность в качестве базовой услуги связи в сети 5G, низкое энергопотребление сенсоров с потенциальным сроком службы без замены батарей до 10 лет, их низкая стоимость, простота подключения, высокая надежность, сетевая безопасность операторского класса, возможность применения сетевых управляющих платформ различных производителей, возможность одновременного подключения большого числа конечных устройств (до 50000 на соту) и, наконец, гибкость в построении бизнес процессов в соответствии с концепцией NGN (Next Generation Network — сети связи следующего поколения) и FGN (Future Generation Network — сети связи будущего), согласно которой можно обеспечить разделение функций предоставления услуг передачи данных и управление ими между разными компаниями.

Также был разработан пакет расширенных функций под названием EC-GSM (или EC-GPRS, EC-GSM-IoT), предназначенный для использования на базе технологии GSM/GPRS/EDGE. Установка функции требует только перепрошивки программного кода управляющего

контроллера, что позволяет обеспечить предоставление услуг Интернета вещей в относительно старых сетях 2G или 2.5G.

Технологии Интернета вещей консорциума 3GPP ориентированы на работу в широком частотном диапазоне от 703 МГц до 2,2 ГГц в зависимости от конкретного приложения.

Список использованной литературы

1. Гейер, Джим. Беспроводные сети. Первый шаг : Пер. с англ. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2005. — 192 с.
 2. Беспроводные сенсорные сети. Учебное пособие для вузов / Б. Я. Лихтциндер, Р. В. Киричек, Е. Д. Федотов, и др. — М.: Горячая линия-Телеком, 2020. — 236 с.
 3. Yong, S. sk. (2010). Introduction to 60GHz. 60 GHz Technology for Gbps WLAN and WPAN, 1–16. doi:10.1002/9780470972946.ch1.
-

Осипова Н. Г.¹, Акимов В. О.²

¹Дальневосточный государственный университет путей сообщений, г. Хабаровск

²Дальневосточный государственный университет путей сообщений, г. Хабаровск

О возможностях платформы arduino

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается аппаратно-программная архитектура плат Arduino с микроконтроллерами, возможности данной платформы, достоинства и недостатки. Представлен сравнительный анализ разных типов плат, перспективные направления их практического применения.

Ключевые слова: микропроцессор, микроконтроллер, «умное устройство», программирование.

Osipova N. G.¹, Akimov V. O.²

¹ Far Eastern State Railway Communications University, Khabarovsk

² Far Eastern State Railway Communications University, Khabarovsk

About the capabilities of the arduino platform

Surgut

Abstract. The article discusses the hardware and software architecture of Arduino boards with microcontrollers, the capabilities of this platform, advantages and disadvantages. A comparative analysis of different types of boards and promising areas of their practical application are presented.

Keywords: microprocessor, microcontroller, smart device, programming

Современные телекоммуникации — это уже не только возможность для дистанционной связи между людьми, а средство удаленного взаимодействия между «умными устройствами» и, всё больше интегрируются в промышленные системы IoT (интернет вещей) и автоматизацию технологических процессов. Поэтому системы инфокоммуникаций, как собственно, и сами элементы телекоммуникационной сети — мультиплексоры, коммутаторы, маршрутизаторы, модемы и прочие уже невозможно представить без устройств на основе микроконтроллеров. Рынок производителей предлагает разнообразный спектр семейств таких устройств в разном ценовом диапазоне, отличающихся конструкцией, софтом, функционалом и характеристиками. Arduino — одна из популярнейших микроконтроллерных платформ, которая благодаря несложному языку программирования, открытой архитектуре, стала своего рода удобным конструктором, позволяющим создавать «умные устройства». О ней далее и пойдет речь.

Чтобы создать устройство на базе микроконтроллера, необходимо иметь навыки программирования на ассемблере и знать принципы схемотехники. Также в ходе разработки понадобятся вспомогательные устройства, такие как программаторы и отладчики. Семейство программируемых микроконтроллеров Arduino, являясь средством современного программирования, позволяет относительно несложно создавать на их основе разнообразные средства автоматики и робототехники с широкими прикладными возможностями [1].

Аппаратная часть содержит плату с установленным микроконтроллером ATmega фирмы Atmel и элементами, необходимыми для её работы. Также на ней находятся пины для подключения дополнительных компонентов и разъем для подключения к компьютеру. Внешний вид платы Arduino Uno показан на рис. 1. Фактически данная плата является упрощенным аналогом материнской платы, устанавливаемой в компьютерах [1; 2].

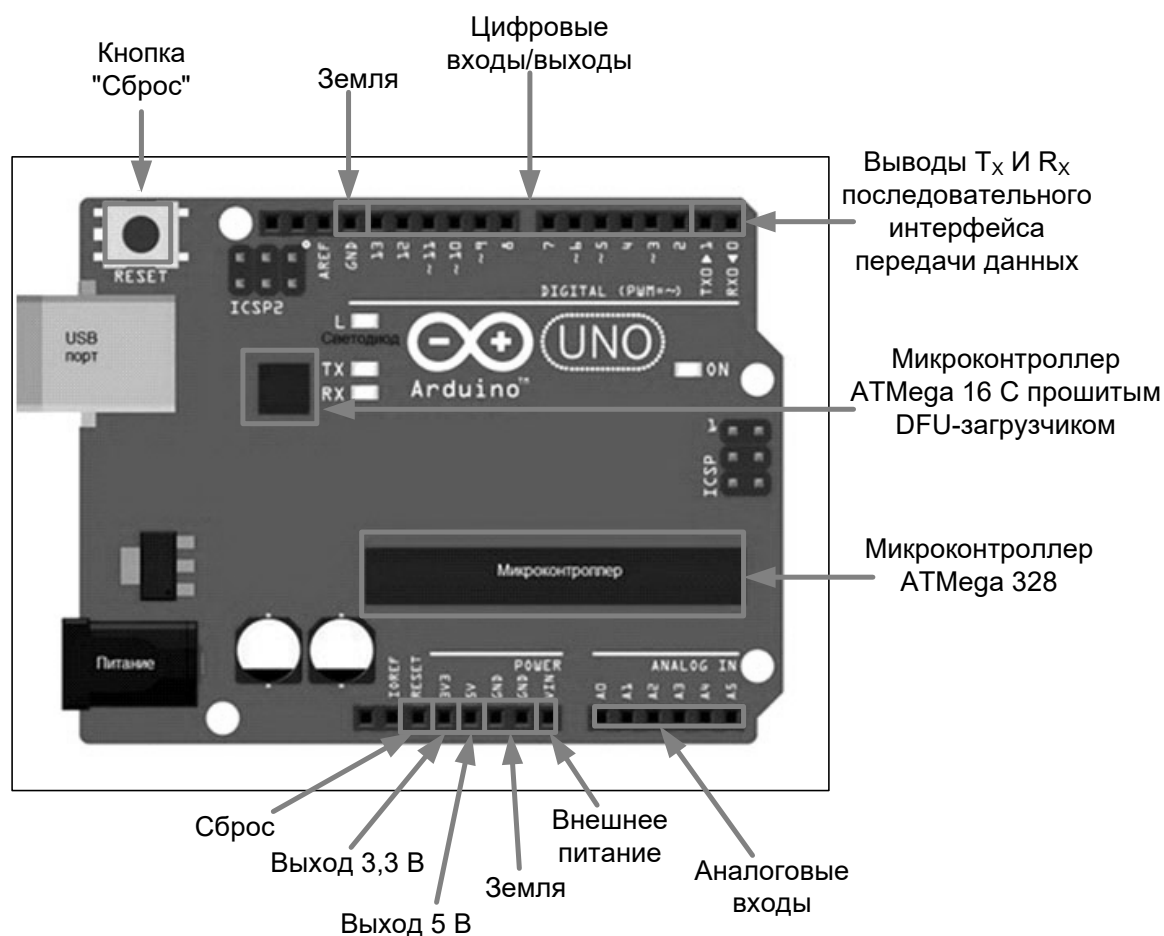


Рис. 1. Плата Arduino Uno

Для разработки кода управления микроконтроллером служит программная среда. В настоящее время существует много программ для работы с Arduino. Например, XOD IDE является графическим языком программирования. В программе создается потенциальная схема, которая потом преобразуется в код. Основным же средством была и остается программа Arduino IDE. Она объединила в себе простейшую среду программирования и упрощенный вариант языка C/C++. Для работы с Arduino создано большое количество готовых библиотек для связи с различными устройствами и модулями. Благодаря этому можно выполнять сложные действия всего парой строк кода, что сильно упрощает и сокращает время создания автоматизированных устройств.

Выводы устройства. На плате устройства имеются пины — цифровые и аналоговые входы/выходы, предназначенные для подключения дополнительных устройств.

Цифровые пины могут работать как в режиме «вход» (INPUT — ввод, считывание), так и в режиме «выход» (OUTPUT — вывод, запись) и имеют только два значения: логический ноль и логическую единицу. Данный вид пинов не позволяет производить плавную регулировку параметров [2].

Аналоговые пины соединены со встроенным АЦП микроконтроллера. Это дает возможность получать по 1024 значения для каждого канала. При необходимости они могут быть преобразованы в цифровые.

Также помимо первичных на плате имеются дополнительные выводы [3]:

- способные формировать широтно-импульсную модуляцию;
- предоставляющие интерфейс связи по протоколу I2C;
- обеспечивающие связь по SPI — интерфейсу;
- обеспечивающие последовательный интерфейс передачи данных.

Разновидности плат Arduino. В зависимости от решаемых задач применяются разные платы (см. табл. 1).

Таблица 1.

Характеристики плат Arduino

Плата Arduino	Микроконтроллер	Рабочее напряжение (В)	Цифровые входы/ выходы	Аналоговые входы/ выходы	Flash память (Кб)	ОЗУ (Кб)	Тактовая Частота (МГц)	Габариты (мм)
Uno	Atmega328	5	14	6	32	2	16	69*53
Leonardo	Atmega32u4	5	20	12	32	2.5	16	75*53
Nano	Atmega328	5	14	8	32	2	16	18*45
Mega	Atmega2560	5	54	16	256	8	16	102*53
Due	Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU	3.3	54	12	512	96	84	102*53
Mini	Atmega328	5	14	6	32	2	16	30*18
Micro	Atmega32u4	5	20	12	32	2.5	16	48*18
M0	Atmega SAMD21	3.3	20	6	256	32	48	69*53

– Arduino Uno является стандартной платой Arduino. В её основе используется чип ATmega328, имеющий 32 Кбайт флэш-памяти, 2 Кбайт SRAM и 1 Кбайт EEPROM памяти. Её периферия включает 14 дискретных (цифровых) каналов ввода/вывода и 6 аналоговых каналов ввода/вывода;

– Arduino Leonardo по характеристикам схожа с Arduino Uno, но имеет большее количество аналоговых входов, больше каналов ШИМ, больше пинов с аппаратным прерыванием;

– Arduino Nano — функциональный аналог Arduino Uno, размещенный на миниатюрной плате. Благодаря наличию штырьковых контактов платформу можно устанавливать на макетную плату;

– Arduino Mega основана на базе микроконтроллера ATmega 2560, имеет больше памяти: 256 Кбайт флэш-памяти и 8 Кбайт SRAM. Также на ней больше портов — 60, из них 16 аналоговых и 15 с ШИМ;

– Arduino Due — одна из самых производительных плат на базе микроконтроллера Cortex-M3 с частотой 84 МГц. Плата имеет 512 Кбайт памяти, 66 пинов ввода/вывода, из которых 12 могут быть аналоговыми входами, 12 — поддерживают ШИМ, и все 66 могут быть настроены, как аппаратные прерывания;

– Arduino Mini — это еще одна компактная версия Arduino Uno. Отличается тем, что в угоду компактности была лишена гнезда для подключения к компьютеру. Из-за этого программирование микроконтроллера производится через программатор.

– Arduino Micro — уменьшенная версия Arduino Leonardo. В остальном сохранила тот же функционал и характеристики, что и более старшая модель.

– Arduino M0. У данной платы больше возможностей за счет того, что она основана на 32-битном ARM-процессоре.

Также существует большое количество дешевых клонов Arduino. Во многом они представляют собой либо полную копию данной платформы, либо производители вносят свои доработки, из-за чего во многих случаях теряется их функционал или совместимость с модулями [4].

Достоинства и недостатки. Как и все устройства у плат Arduino есть свои достоинства и недостатки. Из достоинств можно выделить [5]:

- для сбора устройств не требуется пайка, так как все необходимые компоненты, датчики и модули, соединяются за счет перемычек и макетной платы, что упрощает задачу на этапе моделирования проекта;
- наличие программ для работы с популярной мобильной операционной системой Android, что увеличивает мобильность проекта и упрощает отладку устройства на месте, так как компьютер можно заменить телефоном;
- возможность автономной работы от аккумулятора;
- большое количество модулей и устройств, произведенных как разработчиком, так и сторонними производителями;
- программная часть построена на базе языка C/C++ , что делает простым ее изучение и использование;
- система используется без дополнительных дешифраторов и компиляторов, так как обладает встроенным программатором;
- низкая цена за готовое устройство, не требующее вспомогательного оборудования.

Из недостатков следует отметить:

- малую частоту микропроцессора;
- малый объем памяти для сохранения программ.

Применение Arduino. Так как возможности платформы почти ничем не ограничены, сфера применения данной платформы весьма широка. С помощью данного устройства можно создать множество различных систем, которые смогут помогать человеку в бытовых нуждах. Также применение данной платформы можно найти в промышленном производстве, системах автоматизации и др. Основным можно считать сферу образования в плане факультативных занятий, лабораторных и практических работ, потому как сбор схем прост и не требует каких-либо работ связанных с пайкой, а также больших затрат времени. На базе данной платформы можно изучать схемотехнику, язык программирования и осваивать прочие характеристики и возможности микропроцессорных систем [6].

Популярные области использования:

- охранные системы;
- web-индустрия;
- робототехника;
- система «умный дом»;
- системы автоматизации, включая промышленные системы управления и мониторинга.

Список использованной литературы

1. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. Санкт-Петербург, 2015. 464 с.
2. Arduino Uno // Электросам.Ру : Электрика и электрооборудование, электротехника и электроника — информация! (сайт). 2020. URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/arduino-uno> (дата обращения: 29.02.2020).

3. Плата Arduino Uno // ArduinoMaster.ru (сайт). 2020. URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno> (дата обращения: 29.02.2020).
 4. Arduino Uno // 3DiY.ru (Тридай) (интернет-магазин). 2020. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-platy/arduino-uno> (дата обращения: 29.02.2020).
 5. Arduino — описание выводов на примере Arduino Uno // joyta.ru (сайт). 2017. URL: <http://www.joyta.ru/10674-arduino-opisanie-vyvodov-na-primere-arduino-uno> (дата обращения: 29.02.2020).
 6. Введение в Arduino: о платформе // alexgyver.ru (сайт). 2019. URL: <https://alexgyver.ru/lessons/about-arduino> (дата обращения: 29.02.2020).
-

Карпов Александр О.¹, Хафизов И. И.², Хайруллина Л. Р.³, Карпов Алексей О.⁴

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань

³Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева —
КАИ, г. Казань

⁴Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева —
КАИ, г. Казань

Управление качеством образовательного процесса на уроке проектной деятельности при использовании различных технологий

г. Казань

Аннотация: В статье приведены современные подходы в дополнительном образовательном процессе применительно к школьникам среднего звена.

Ключевые слова: проектная деятельность, дополнительное образование, подход, технологии.

Karpov Alexandr O.,¹, Khafizov I. I.,² Khairullina L. R.,³ Karpov Alexey O.,⁴

¹Kazan (Volga region) federal university

² Kazan (Volga region) federal university

³ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

⁴ Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI

Educational process quality management in the classroom of project activities using various technologies

Kazan

Abstract: The article presents modern approaches to the additional educational process in relation to middle school students.

Keywords: project activities, additional education, approach, technology.

В современном мире формируется образовательная среда для различных классов обучающихся методом применения информационной составляющей. В неё входят электронные ресурсы, а именно: библиотеки, сайты школ, гимназий, лицеев, образовательные и творческие центры воспитания подрастающей молодёжи. Все эти и другие дополнительные направления деятельности ведут не только к формированию творческой личности, но к качественной загруженности детей и подростков. Согласно данным наблюдений специалистов, внедрение проектной деятельности влечёт обучающихся реализовать актуальные в настоящее время компетентностный, личностно — ориентированный, деятельностный подходы, поэтому автор публикации [1] определила следующие задачи для успешного, например, математического обучения школьников:

— дать представление о структуре проектной, исследовательской деятельности; о способах поиска необходимой для исследования информации, о способах обработки результатов и их презентации;

- учить овладевать способами деятельности: учебно — познавательной, информационно-коммуникативной, рефлексивной;
- способствовать освоению ключевых компетенций: ценностно-смысловой, учебно-познавательной, информационной, коммуникативной;
- формировать умения публичной защиты работы.

При владении в совершенстве знаниями «инфокоммуникаций» можно быстро адаптироваться в «течении» жизни. Однако, есть и другие стороны нововведений. Они предусматривают чрезмерную нагрузку. Ведь усвоение материала по проектной деятельности требует затрат по времени на уровне с основной образовательной деятельностью. В связи с чем, школьники не усваивают целостный материал по базовым предметам: физике, химии, математике [2].

Несмотря на различные мнения специалистов, всё же преобладают положительные факторы, которые приведут к призовым местам как в олимпиадах, так и в международных конкурсах.

Проектная деятельность, так же, как и научная, имеет свои особенности. На занятиях при использовании 3D — принтера как средства достижения цели, школьникам предлагается распечатать модели объектов, которые они сами же и разрабатывают. Естественно, существует упрощённая программа для проектирования деталей и узлов какого — либо агрегата, чтобы школьники могли смоделировать и подготовить для печати задуманные 3D-модели объекта. В рамках проектной деятельности школьник на практике сталкивается с позитивной практикой применения полученных в образовательном учреждении знаний по общеобразовательным предметам, таким как математика, физика, русский язык, информатика и многим другим. Также происходит процесс самостоятельного сбора, обработки и систематизации информации посредством применения знаний на практике. Вышеуказанное совпадает с задачами федерального государственного образовательного стандарта (ФГОС) [3].

Имеются определённые особенности оборудования, такие как отклонения от заданных размеров на определённую величину. Принтер позволяет воплотить в реальность задуманные и смоделированные объекты различных цветов: жёлтого, серого, зелёного, синего, розового и так далее. Качество сборки оценивается педагогом и его помощь безусловно играет важную роль в настройке печати 3D-моделей.

Выводы

1. Проектная деятельность в наше время также важна, как и предметы основной образовательной деятельности. Именно в комплексе они формируют коммуникативные стороны личности с малых лет, а иногда и сопровождают всю жизнь.
2. Исходя из анализа данных, качество образовательного процесса не должно ухудшаться из — за введения дополнительных предметов, для чего необходимо дисциплинировать поставленные задачи и выполнять их поочерёдно.

Список использованной литературы

1. Малькова Елена Юрьевна. — Проектная технология как фактор повышения качества образовательного процесса. -<https://nsportal.ru/shkola/obshchepedagogicheskie-tekhnologii/library/2014/05/14/proektnaya-tekhnologiya-kak-faktor>. — 14.05.2014
2. Борзенко В. И., Обухов А. С. Насильно мил не будешь. Подходы к проблеме мотивации в школе и учебно-исследовательской деятельности // Развитие исследовательской деятельности учащихся: Методический сборник. М.: Народное образование, 2001. С. 80–88.
3. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. — Система менеджмента качества. Требования. — 2015.

Пономарев И. Д.¹

*БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры
«Сургутский государственный университет», г. Сургут*

Обзор компаний cisco и huawei. Сравнение. Прохождение сертификации

г. Сургут

Аннотация: В статье приводится обзор на компании Cisco и Huawei. Приводится сравнение основных критериев при выборе оборудования. Рассматривается синтаксис команд и возможность прохождения сертификации.

Ключевые слова: Cisco, Huawei, CCNA, HCIE

Panamarou I. D.¹

*¹ Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous
Okrug — Ugra; Surgut State University, Surgut*

Overview of Cisco and Huawei. Comparison. Certification

Surgut

Abstract: This article provides an overview on Cisco and Huawei. A comparison of the main criteria when choosing equipment is given. The command syntax and the possibility of passing certification are considered.

Keywords: Cisco, Huawei, CCNA, HCIE

Cisco. О компании

Компания Cisco — безусловный лидер в области сетевых технологий, основанная в 1984 году группой сотрудников Стэнфордского университета.

Деятельность компании сфокусированна на пяти основных направлениях:

- 1) магистральная маршрутизация,
- 2) коммутация и услуги;
- 3) решения для совместной работы;
- 4) виртуализация центров обработки данных и облачные вычисления;
- 5) видеотехнологии.

Компания Cisco уже успела завоевать свое место в главенствующих отраслях российской экономики. Применение оборудования Cisco находят в таких отраслях, как машиностроение, металлургическая и нефтегазовая промышленность, строительство, розничная торговля, банки и многие другие.

Стоит отметить, что глава компании Джон Чемберс входит в состав совета Фонда «Сколково». В рамках поддержки предпринимательства в России создан Центр инноваций Cisco, первое инженерное подразделение Cisco, занимающееся разработками и развивающее в России инновационные программы и программы исследований

Huawei. О компании

Huawei — один из ведущих мировых поставщиков инфокоммуникационных решений. Основанная на 3 года позже компании Cisco, в 1987 году смогла добиться того, что одна треть планеты использует их продукцию.

Решения от Huawei можно встретить в таких отраслях как:

- 1) Образование
- 2) Банки
- 3) Здравоохранение
- 4) Нефтегазовая промышленность
- 5) Умный город

В связи с введенными санкциями США в 2019 году, компания Huawei увеличила инвестиции в российский рынок и намеревается создать единое цифровое пространство в России.

Преимущества и недостатки

Cisco и Huawei — два крупнейших игрока на рынке сетевых технологий. Сравнивать отдельные линейки продукции не имеет смысла, поскольку требования к оборудованию сильно зависят от структуры и требований услуг к сети. Поэтому мы рассмотрим несколько основных пунктов.

Цена

Безоговорочным лидером в этом вопросе является китайский производитель. Повышение качества работы оборудования и низкая стоимость делает Huawei лидером в вопросе “цена-качество”. Стоит отметить недорогую стоимость обслуживания продукции из поднебесной. Поскольку на рынке сетевых технологий до сих пор обладание специалистом сертификата CCNA остается редкостью (ведь таким специалистам придется оплачивать по достоинству их работу), решение использовать оборудование Huawei позволит сэкономить бюджет организации.

Производительность

Стоит начать с того, что в данном вопросе ключевую роль будет играть размер сети и требуемые услуги. Обе компании показывают высокую стабильность работы при малых размерах сети. Однако пользователи отмечают тот факт, что с ростом корпоративной сети Huawei уступает Cisco, ведь компания Cisco позиционирует себя как производитель оборудования для крупных организаций.

Техническое обслуживание

Надо понимать, что любое оборудование требует технического обслуживания. Как говорилось ранее, встретить специалиста с сертификатом CCNA — редкое явление, ведь стоимость прохождения сертификации варьируется в пределах 300\$ за каждую попытку. Однако специалист, освоивший оборудование Cisco, с легкостью сможет переобучиться и работать на оборудовании других производителей. Касаясь Huawei, если раньше для решения любых вопросов требовался приезд делегации инженеров, то сейчас многие вопросы решаются удаленно.

Безопасность

Из-за подозрений Huawei в шпионаже и сотрудничестве с правительством и армией, многие организации потеряли доверие к китайскому производителю. В настоящее время многие вопросы безопасности решаются с инженерами, находящимися на производстве в организации.

Сравнение команд

Безусловно, весь список команд гораздо шире, поэтому для общего понимания приведем в качестве примера несколько основных команд.

Таблица 1.

Сравнение команд Cisco и Huawei

Cisco	Huawei	Примечание
show	display	Используется для отображения конфигурации
configure terminal	system-view	Используется для перехода в режим конфигурирование
exit	quit	Выход из режимов конфигурирования
hostname	sysname	Назначения имени хоста
show ip route	display ip routing-table	Используется для отображения таблицы маршрутизации
router ospf	ospf	Включение протокола динамической маршрутизации ospf
router rip	rip	Включение протокола маршрутизации rip

Как мы видим, синтаксис команд не сильно отличается, поэтому специалисту не составит труда освоиться в работе с оборудованием обоих поставщиков.

Сертификация

С целью обеспечения возможности работы с производимым оборудованием, обе компании разработали ряд программ, после прохождения которых, специалист овладевает навыками работы с продукцией Cisco и Huawei.

Со стороны Cisco наиболее популярным и, пожалуй, простым в получении является сертификат CCNA (Cisco Certified Network Associate). Сертификат Cisco CCNA для младших сетевых специалистов подтверждает умение выполнять установку, настройку, эксплуатацию и устранение неисправностей средних маршрутизируемых и коммутируемых сетей, а также устанавливать и проверять подключения к удаленным узлам в глобальной сети. [1]

Базовым уровнем в работе с оборудование Huawei является получение сертификата Huawei Certified Internetwork Expert (HCIE). Сертификат HCIE-R&S подтверждает знания и навыки необходимые для построения, оптимизации и управления сетями крупных и средних масштабов. Обладатель сертификата HCIE-R&S имеет комплексное, всестороннее и основательное понимание функционирования больших сетей, знание технологий и протоколов, применяемых в сетях крупных и средних масштабов, умение самостоятельно проектировать и воплощать проекты таких сетей с использованием маршрутизаторов и коммутаторов производства Huawei.

Информацию об обучении можно найти как на официальных сайтах производителей, так и на сайтах партнеров, которые проводят обучение и сертификацию.

Список использованной литературы

1. Уэнделл Одом. Cisco CCENT/CCNA ICND1 100–101. Официальное руководство по подготовке к сертификационным экзаменам. : Вильямс, 2015. 736 с.
2. Соколов М. «Скоро мы будем спрашивать партнеров: «А вас уже внесли в черный список?» // Коммерсантъ : <https://www.kommersant.ru/doc/4308330?query=Huawei> сетевой журн. (электр. журн.). 2020. URL: (дата обращения: 31.03.2020).
3. Джеймс Бони. Руководство по Cisco IOS: Русская редакция, 2008. 784 с.

Хомяков И. В., Шилов А. С., Щеголева С. А.

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Важность разработки системы по обучению персонала на предприятиях в сфере электроэнергетики

г. Владивосток

Аннотация: В работе показана важность внедрения системы по обучению персонала на предприятиях в сфере электроэнергетики. Рассмотрены виды, формы и методы обучения. Выделены достоинства и недостатки каждого аспекта обучения. Показана зависимость между системой по обучению персонала и каким образом она влияет на все составляющие компоненты работы предприятий в сфере электроэнергетики.

Ключевые слова: система по обучению персонала, конкурентоспособность предприятия, производительность.

Khomyakov I. V., Shilov A. S., Schegoleva S. A.

Far Eastern Federal University, Vladivostok

The importance of developing a system for training personnel at enterprises in the electric power industry

Vladivostok

Abstract: The paper shows the importance of implementing a system for training personnel at enterprises in the electric power industry. The types, forms and methods of training are considered. The advantages and disadvantages of each aspect of training are highlighted. The article shows the relationship between the system of personnel training and how it affects all the components of the work of enterprises in the field of electric power.

Keywords: the system for training of personnel, enterprise competitiveness and productivity.

В современном мире одну из главных ролей в развитии человечества играет такая промышленная отрасль, как электроэнергетика. Ведь именно сегодня электроэнергетика является одной из ключевых отраслей экономики для большинства стран мира. Можно сказать, что устойчивое развитие и надежное функционирование этой отрасли во многом определяет безопасность страны и является важным фактором ее успешного развития.

Для большинства предприятий в сфере электроэнергетики обучение персонала занимает важное значение. От обучения персонала зависит эффективное развитие предприятия, потому что именно от профессионализма и квалифицированности персонала зависит в каком направлении будет двигаться предприятие. Для того чтобы сотрудники могли успешно осуществить выполняемую работу, предприятию необходимо иметь грамотно спланированную и четко организованную систему по обучению персонала.

Постоянное развитие технологий, повышение ритма жизни ставят перед предприятием необходимость в соответствующем обучении, целью которого является удержание занятой позиции на рынке. Именно высококвалифицированные сотрудники с креативным мышлением могут находить выход из нестандартных ситуаций, которые возникают как в связи с внешними, так и внутренними условиями функционирования предприятия. Основным фактором, который

непосредственно влияет на качественные характеристики персонала и стоимость человеческого капитала предприятия в целом является система развития персонала.

Основные преимущества, которые может принести предприятию система по обучению персонала следующие:

1. рост производительности труда;
2. ускорение адаптации новых сотрудников и достижения ими необходимого уровня эффективности;
3. обучение персонала с минимальным отрывом от основной работы или даже вовсе без отрыва от обязанностей;
4. выявление и сохранение знаний сотрудников, систематизация этих знаний и эффективное их использование [3].

Главным критерием обучения персонала является эффективность. Чтобы подготовка сотрудников на предприятии была по настоящему эффективной, необходимо подобрать подходящие виды, формы и методы обучения.

На сегодняшний день к основным видам обучения относят:

1. профессиональную подготовку кадров;
2. повышение квалификации кадров;
3. переподготовку кадров.

Ознакомимся с каждым видом обучения:

Профессиональная подготовка кадров — заключается в подготовке квалифицированных кадров, которые владеют совокупностью специальных знаний, умений и навыков.

Повышение квалификации кадров — это занятия для персонала, которые проводятся с целью усовершенствования знаний в связи с повышением требований к работе, повышением в должности.

Переподготовка кадров — заключается в получении новых знаний, навыков и умений. Переподготовка требуется в случае овладения новой профессией или изменением требований к результатам труда [2].

Рассмотрев основные виды обучения и их особенностей разберем основные формы обучения персонала. Обучение персонала на предприятии может осуществляться по двум формам:

1. на рабочем месте (без отрыва от производства);
2. вне рабочего места (с отрывом от производства).

Анализ форм обучения показал следующее. Форма обучения №1 «на рабочем месте» (без отрыва от производства). Эта форма обучения предполагает привлечение на предприятие преподавателей. Персонал обучается в своей рабочей обстановке, используя документацию, оборудование или материалы, применяемые на данном предприятии.

Преимущество: формы обучения «на рабочем месте» практична и эффективна, так как обучаемые имеют возможность повторять и закреплять на месте полученные знания.

Недостаток — обучение «на рабочем месте» не способно до конца раскрыть все возможности сотрудника.

Форма «вне рабочего места» (с отрывом от производства) осуществляется за пределами предприятия — в учебных заведениях.

Преимущество формы обучения состоит в том, что эти курсы нацелены на рост квалификации персонала. Недостатками являются:

- затраты на оплату обучения;
- невыполнение своих прямых обязанностей сотрудником на время учебы [1].

Сравнивая две формы обучения, можно сделать следующий вывод. Если использовать форму обучения №1, то мы можем наблюдать повышение показателя эффективности за счет того, что со-

трудники апробируют теорию на практике. Используя форму обучения №2, можно сказать, что курсы направлены на повышения уровня квалификации работника, и благодаря им он совершенствуется и открывает для себя новые знания, которые в дальнейшем ему помогут в реализации целей.

Если вести речь о методах обучения, то можно сказать, что каждое предприятие вправе само выбирать какой метод обучения ему подойдет больше. И здесь затрагиваются не только возможности выбора, но и также финансовые возможности. Например, дистанционное обучение. На сегодняшний день, данный метод является одним из самых распространённых и популярных. Стоит сказать, что этот метод обладает рядом недостатков. Сюда можно отнести как неспособность сотрудников контактировать напрямую с преподавателем, так и отсутствие хорошего сигнала связи интернет. Но если подойти к этому вопросу с другой стороны, то предприятие не затрачивает никаких финансовых усилий, чтобы опробовать этот метод. В этом случае предприятие только выигрывает, так как сотрудник впитывает в себя как «губка» весь важный для себя материал и можно сказать совершенствуется. Важно сказать, что все методы обучения не только инновационны, но и еще по-своему уникальны. Применять тот или иной метод обучения стоит исходя от поставленных целей и задач обучения.

Перед тем, как внедрять на предприятии систему по обучению персонала, руководителям необходимо провести анализ имеющегося производства. Проведя этот анализ высшее руководство сможет:

1. выявить все уязвимые места, на которые следует обратить внимание;
2. ответить на вопросы — с какой целью внедрять, и что мы получим от результата внедрения подобной системы обучения.

Эффективное управление персоналом есть ключ к процветанию любого предприятия. Но не стоит забывать о том, что результат от внедрения чего-то нового будет получен не сразу. В этом случае руководителям предприятия не стоит опускать руки и отсекаться от идеи внедрения, главное, что может дать руководитель — это уверенность своим подчиненным. Лидерство, вот тот фактор, на который стоит обратить внимание. Ведь грамотный лидер способен не только сплотить всех сотрудников над имеющейся проблемой, не только убедить своих подчиненных в правильности своего решение, он может стать вдохновением и примером для многих, на кого стоит и надо равняться.

Взяв во внимание все вышесказанное можно сказать, что система по обучению персонала является залогом для достижения стратегических целей предприятия, с ее помощью повышается производительность и увеличивается эффективность. Имея у себя эту систему, предприятие укрепляет свои позиции на рынке, за счет наличия компетентного и квалифицированного персонала, благодаря которому обеспечивается конкурентное преимущество на рынке труда.

На предприятиях в сфере электроэнергетики особенно важно обучать персонал, так как повышая компетентность сотрудников повышается качество контроля предоставляемых услуг, сокращается количество неполадок в сети электроснабжения и минимизируется возможность появления аварий.

Список использованной литературы

1. Виды, формы и методы обучения персонала [Электронный ресурс]: мотивация персонала. URL: <http://z-motiv.ru/vidy-formy-i-metody-obucheniya-personala/#i-2> (дата обращения: 20.03.2020).
2. Попова А. В. Система обучения персонала в организации // Инновации в науке: научный журнал. 2018. № 4(80). С. 26–30.
3. Система обучения персонала [Электронный ресурс]: кадровику. URL: <https://center-yf.ru/data/Kadroviku/Sistema-obucheniya-personala.php> (дата обращения: 25.03.2020).

**Боков В. Е., Мусинов А. Н., Мостовенко Л. В., Иванов Е. С., Демидов А. А.,
Васильченко Н. В., Белоглазов В. П.**

ФГБОУ ВО «Нижневартровский государственный университет», г. Нижневартовск

Внедрение виртуальной системы обучения и тренировки персонала на персональных компьютерах

г. Нижневартовск

Аннотация: В данной статье сравниваются различные виды тренажеров, способных эффективно подготовить новый персонал к работе с новым для них оборудованием. Были рассмотрены преимущества и недостатки как тренажера с использованием очков для работы с оборудованием в 3D-реальности, так и типового тренажера-мнемосхемы. Приведено экономическое сравнение их стоимости и долгосрочной поддержки. Так же представлен набор их функционала в области нефте- и газодобычи.

Ключевые слова: Виртуальный тренажер, тренировка персонала, виртуальная система обучения.

**Bokov V. E., Musinov A. N., Mostovenko L. V., Ivanov E. S., Demidov A. A.,
Vasilchenkov N. V., Beloglazov V. P.**

Nizhnevartovsk State University, NVSU

Introduction of a training virtual system and training personnel on personal computers

Nizhnevartovsk

Abstract: This article compares several types of simulators that can effectively prepare new personnel to work with new equipment. The advantages and disadvantages of a 3D simulator and a typical mnemonic simulator were considered. An economic comparison of their cost and long-term support is given. A set of their functionality in the field of oil and gas production is also presented.

Keywords: Virtual simulator, staff training, virtual training system.

Целью данной работы является анализ способов снижения рисков на производстве, а так же методы подготовки новых сотрудников к работе на производстве.

Ежегодно на ликвидацию последствий различного рода аварий и катастроф расходуется в нашей стране от 1,5 до 3% ВВП, а мировой ежегодный ущерб составляет около 150 млрд. долл. Доля техногенных катастроф в сумме чрезвычайных ситуаций в РФ уже превышает 70 %. Причем для предотвращения угроз аварий и катастроф необходимо рассматривать не только технологический и управленческий аспекты, но и человеческий фактор.

Угрозы штатному функционированию объекта добычи нефти могут исходить от следующих дестабилизирующих факторов: техногенных дестабилизирующих факторов, природных дестабилизирующих факторов, природных катаклизмов антропогенных дестабилизирующих факторов; террористических дестабилизирующих факторов.

По данным Ростехнадзора причины аварий на опасных производственных объектах (процент от общего числа аварий) следующие: несовершенство технологий — 13%; низкий уровень знаний — 11%; умышленное отключение защиты — 2%; нарушение производственной

дисциплины — 15%; неэффективность производственного контроля — 13%; неправильная организация работ — 13%; нарушение технологий — 17%; неудовлетворительное состояние оборудования, зданий, сооружений — 16%[6].

Таким образом, аварийность на опасных производственных объектах (в том числе на электростанциях и сетевых предприятиях) в более чем 70% случаев определяется так называемым «человеческим фактором» (рис. 1, 2). [3]



Рис.1. Динамика аварийности и производственного травматизма за 2007–2015 гг. в нефтегазодобывающей промышленности [5]

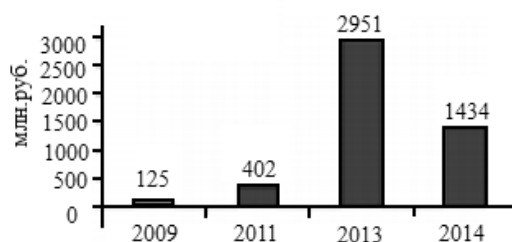


Рис. 2. Финансовый ущерб от опасных событий на объектах нефтегазодобывающей промышленности [5]

Данная статистика приводит нас к необходимостикратно улучшить систему подготовки нового оперативного персонала и повышения его квалификации. Надежным средством повышения качества учебного процесса стала его компьютеризация.

Необходимость осуществления новых эффективных подходов к обучению персонала вызвана обострившимся в последние годы противоречием между возрастанием требований к обязанностям человека, обслуживающего технологическое оборудование, и отсутствием учета этих требований традиционной системой подготовки.

В современной промышленности (получившей название Индустрия 4.0) основными технологическими трендами в настоящее время относят [9]: «Интернет вещей»; Межмашинные коммуникации; моделирование и прогнозирование на основе продвинутой аналитики и технологий big data; «Облачные» и «Туманные» вычисления, а также хранение данных; роботизацию производства; аддитивное производство; когнитивные технологии; усовершенствованные человеко-машинные интерфейсы; компьютерную имитацию оборудования, материалов и технологий; дополненную реальность; «интеллектуальные» датчики; 3D-печать.

Для повышения качества работы сотрудников нефтегазодобывающего предприятия предлагается анализ всех, известных на сегодняшний день, виртуальных тренажеров [2].

Виртуальный тренажер — это программно-техническое средство профессиональной подготовки персонала, реализующее адекватные модели энергообъекта и рабочего места оператора, оснащенное учебно-методическим обеспечением процесса обучения и его контроля, и предназначенное для формирования и совершенствования у обучаемых навыков и умений по управлению энергообъектом в штатных и аварийных ситуациях с гарантированным уровнем его безопасности. Позволяет отрабатывать весь спектр профессиональных навыков оперативных работников предприятий [3].

Требуемые функциональные возможности: полномасштабность; комплексность; всережимность; адекватность; оптимизация; работа в замедленном или ускоренном масштабе времени; ведение протоколов действий оператора, ошибок оператора и аварийных сообщений с возможностью сохранения и печати; вывод графиков зависимостей параметров и состояния арматуры от времени для анализа ситуации; возможность записи и повторного использования текущего режима работы тренажера, включая состояния арматуры, защит, блокировок и сигнализации» [3].

Рабочая функция тренажера должна заключаться в отработке уже имеющихся и тренировке новых знаний и умений новоиспеченного специалиста на предприятии.

Под все эти задачи подходит много инженерно-подготовительных порталов. Ярким примером служат такие ресурсы как: Interplay Learning Interactive Training и ProgramLab. Первый является интерактивным инженерным порталом, который призван тренировать специалистов в области тепло-электроэнергетики, а также в области альтернативной энергетики.

В данном портале реализованы такие тренинговые курсы, как:

1. Отопление, вентиляция и кондиционирование (ОВ и К): основы ОВ и К; приборы учета; компрессоры; поиск и устранение неисправностей двигателей; диагностика кондиционеров.
2. Солнечная энергетика: основы солнечной энергетики; основы PV; солнечные модули; сборка массивов солнечных модулей.
3. Техническое обслуживание: отопление и термостаты;

Interplay Learning [8] — это ведущий поставщик онлайн-обучения в США для квалифицированных профессий, использующих технологию виртуальной реальности (VR) и 3D-симуляции. Компания представляет новый способ продвижения по карьерной лестнице HVAC или повышения квалификации для профессионалов отрасли с каталогом, который включает в себя десятки интерактивных видео курсов HVAC от ведущих отраслевых экспертов и современные средства моделирования для устранения неполадок в 3D.

Учебный процесс Interplay Learning осуществляется по подписке. При оплате 19 долларов в месяц или годовой подписке на 199 долларов пользователи имеют неограниченный доступ к обучающему контенту, включая видео и курсы по симуляции и проверки знаний. Более 100 часов учебного материала включают базовые, промежуточные и продвинутые методы устранения неполадок. Новые курсы добавляются каждый месяц. Пакет групповой подписки позволяет компаниям отслеживать прогресс обучаемых специалистов с помощью панели администратора, а также отслеживать рост команды.

На данном ресурсе есть так же и корпоративная версия подписки стоимостью в 299 долларов в год за место. Всего предоставляется к приобретению до 30 подписок на 30 человек соответственно. Данный тип тренажеров очень удобен для работы с такими аппаратами как: компрессорные и насосные установки, ИТП, ЦТП, системы кондиционирования и т. п.

Тренажер НПО Энергобезопасность (TEST UNESCO) от наших отечественных разработчиков отличается тем, что обучает персонал работе на аппаратном уровне. Данное ПО содержит в себе:

1. Активные динамические мнемосхемы тренажера, разработанные на основе мнемосхем щита управления, существующей на объекте-прототипе АСУ ТП, либо на основе оперативных и тепловых схем энергообъекта (рис. 3). [3]

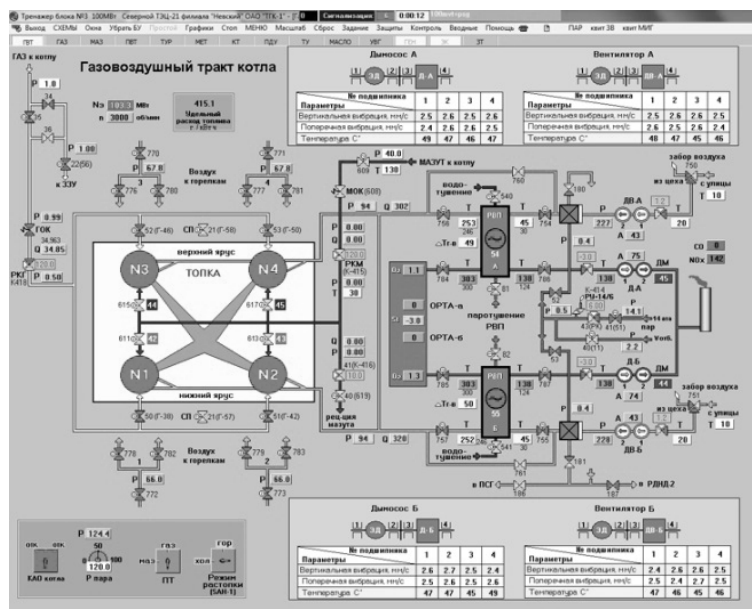


Рис. 3. Пример активной динамической мнемосхемы тренажера (Газовоздушный тракт котла ТГМ-96Б) [1,3]

2. Блочный щит и пульт оператора, имитирующий реальные условия работы оператора, интерьер которого максимально точно соответствует интерьеру реального объекта.

3. Всережимная и адекватная модель энергообъекта — это математическая модель объекта, состоящая из дифференциальных уравнений, основанных на рассмотрении физической природы процессов, то есть стандартных балансовых уравнений, а количественные зависимости и направленность процессов определяются законами термодинамики, гидродинамики, аэродинамики и т. д. Зависимости между параметрами связей однозначно и единообразно описываются уравнениями энергетического, расходного и гидравлического балансов в элементах оборудования, а также уравнениями изменения энтальпии каждого из видов теплоносителя. Имитируются все пусковые (из всех тепловых состояний) и остановочные режимы, регулировочные штатные, нештатные и аварийные ситуации [3].

4. Защиты, блокировки, соответствующие объекту-прототипу, которые закладываются в математическую модель тренажера, имеющие место на энергообъекте. За основу берутся карты, таблицы защит, блокировок и сигнализации, действующие инструкции по их эксплуатации и опробованию [3].

5. Пульт инструктора. Служит для наблюдения за ходом тренировки и ввода возмущающих воздействий для имитации аварийных ситуаций. Обладает возможностями задания внутренних (аварий и отказов в работе технологического оборудования, арматуры, систем автоматики и др.) и внешних возмущений (изменение характеристик топлива, температуры охлаждающей воды, давления газа, мазута перед котлом и т. п.)

6. Контролирующая программа работает в течение всего процесса тренировки и фиксирует ошибки, произведенные оператором за время работы на тренажере [3].

7. Комплект автоматизированных сценариев тренировок. Тренажер снабжается стандартным набором заданий на тренировку. Это позволяет проводить обучение управлению энергообъектом в штатных режимах. Задания составляются на основе эксплуатационных инструкций,

действующих на электростанции и представляют собой, как правило, одну из стандартных технологических операций.

8. Стандартный комплект аварийных ситуаций, служащий для подготовки оперативного персонала к предотвращению аварийных ситуаций, что позволяет задавать внутренние (аварии и отказы в работе технологического оборудования, арматуры, систем автоматики и др.) и внешние возмущения (изменение характеристик топлива, температуры охлаждающей воды, давления газа, мазута перед котлом и т. п.).

Имеется функция задержки по времени на ввод любой из ситуаций в действие. Задержка указывается в правом нижнем углу поля каждой аварийной вводной [3].

9. Диспетчерский график. Существует дополнительный вид тренировки с работой по диспетчерскому графику. Оператору предлагается выполнить задание, с учетом диспетчерского графика. При выполнении которого, контролирующая программа, кроме общих отклонений параметров и операций, дополнительно фиксирует отклонения от заданного диспетчерского графика, за которые также начисляются штрафные баллы [3].

10. Техничко-экономические показатели. На динамические мнемосхемы тренажера дополнительно выводятся основные технико-экономические показатели работы данного энергообъекта.

11. Документация и инструкция по установке, наладке и эксплуатации тренажера позволяют выполнить его корректную установку на компьютер, ознакомиться с функциональными возможностями и приобрести необходимые навыки для работы с ним [3].

Что касается инженерно-технического портала ProgramLab [9], то это динамично развивающееся предприятие, которое на протяжении более трех лет является одним из признанных лидеров на рынке СНГ по разработке и производству инновационной учебной продукции для вузов, колледжей и учебных центров предприятий [7].

Современные и промышленные подходы к формированию и поддержанию высокотехнологичной образовательной среды позволят повысить результативность профессионального образования, обеспечить в соответствии с требованиями работодателей подготовку инновационных специалистов и, тем самым, заложить основу интеллектуального роста страны и финансового процветания в последующие годы.

Виртуальные тренажеры позволяют проводить начальное обучение по управлению производственными инструментами, а также повышать квалификацию текущих специалистов компании. Под ваши индивидуальные требования мы сможем разработать микро ГЭС, макет биогазового завода, устройство ГТУ, турбинное отделение АЭС и многое другое.

Виртуальный учебный комплекс состоит из: физического оборудования (монитор и системный блок); разработанного ПО; руководству по использованию.

Стоимость виртуальная лабораторной работы «Устройство и особенности турбинной установки для ТЭС» — 241180 р. В то время, как стоимость тренажерного комплекса на должность обходчика паротурбинного оборудования ТЭЦ и обходчика котельного оборудования ТЭЦ составляет порядка 482350 р. за каждый в отдельности. Кроме выше перечисленного оборудования в комплект данных тренажеров входит и система виртуальной реальности (очки + контроллеры) [7].

Если мы будем сравнивать два выше перечисленных тренажера, то у каждого из них выявятся как сильные стороны (выгодно отличающие их от конкурента), так и слабые (программные недоработки, локализация и т. п.). Так, например, инженерно-подготовительный портал Interplay Learning Interactive Training выгодно отличается от отечественного продукта использованием более современных технологий виртуальной реальности (VR) (рис. 4), которая позволяет получить необходимые базовые навыки обслуживания, ремонта, эксплуатации оборудова-

ния нефтяных месторождений (и не только). Основным же достоинством отечественного тренажера “НПО Энергобезопасность” (Test Unesco) можно назвать аппаратное ПО (мнемосхемы), которое позволяет качественно подготовить персонал на должность инженера-аппаратчика, как в области нефтегазовой промышленности, так и в области теплоэнергетики соответственно. Данный тип тренажеров лучше использовать для цехов, котельных с большим количеством оборудования. Подобная мнемосхема включает в себя все краны, клапаны, которыми можно управлять. Данная особенность виртуального тренажера позволяет почувствовать физику процессов, происходящих на, к примеру, электростанции и оперативно устранять возникающие на ней аварийные ситуации.



Рис. 4. Применение VR-технологий

Использование виртуальных систем обучения и тренировки персонала на производственных предприятиях способно не только снизить процент аварийности и выхода из строя оборудования по причине человеческого фактора, но и повысить уровень квалификации персонала. Так же мы выяснили, что для физической работы с оборудованием (монтаж, ремонт, разные режимы эксплуатации) лучше всего подходит тренажер, имеющий в своем арсенале функции 3D и VR-технологии. А для подготовки персонала на должность машиниста или инженера-аппаратчика как нельзя лучше подходит тренажер, использующий в качестве обучения мнемосхемы оборудования предприятия.

Список использованной литературы

1. Магид, С. И. Научные, методические и технологические основы разработки тренажеров оперативного персонала энергетических установок [Текст]: дис.....докт. техн. наук: 05.14.04: защищена 24.05.1999/ Магид Сергей Игнатьевич. Москва, 1999. 344 с.
2. Мамедова Кунаш Аскеровна, Виртуальная образовательная среда как необходимый компонент современной системы образования. Публикация в СМИ: «Наука и образование ON-LINE» (Образование в современном мире). Дата публикации: 19.03.2017. URL доступа: <https://pedagog.eee-science.ru/listing/virtualnaya-obrazovatel'naya-sreda-kak-neobhodimyj-komponent-sovremennoj-sistemy-obrazovaniya/>
3. Тренажеры электрических станций и сетей НПО Энергобезопасность [Электронный ресурс]: Тренажеры для обучения оперативного персонала электростанций и сетевых организаций . Москва: ООО НПО Энергобезопасность, 2020. — Режим доступа к сайту.: <https://testenergo.ru/management/>
4. Тчаро Хоноре, Воробьев А. Е., Воробьев К. А. Цифровизация нефтяной промышленности: базовые подходы и обоснование «интеллектуальных» технологий // Вестник Евразийской науки, 2018 №2, <https://esj.today/PDF/88NZVN218.pdf> (доступ свободный).

5. Хуснутдинова, И. Г. Анализ аварийных ситуаций в нефтегазовой отрасли при возникновении дефектов в металлических элементах оболочковых конструкций [Текст] / И. Г. Хуснутдинова, М. Г. Баширов, И. К. Бакиров // Пожарная и промышленная безопасность: Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. № 2 (108). С. 155–164.

6. Interplay Learning [Электронный ресурс]: The fastest way to a skilled workplace. — New York, 2019. — Режим доступа к сайту.: <https://www.interplaylearning.com/>

7. Interplay Learning Transforms HVAC Training with 3D Simulations and Virtual Reality Enabled Courses [Электронный ресурс]: статья PRWEB. COM Newswire. — New York, 2020. — режим доступа к сайту.: <https://www.marketwatch.com/press-release/interplay-learning-transforms-hvac-training-with-3d-simulations-and-virtual-reality-enabled-courses-2019-02-27>.

8. ProgramLab [Электронный ресурс]: сайт компании Програблэб . 2020. — режим доступа к сайту.: <https://pl-llc.ru/about/>

9. ProgramLab [Электронный ресурс]: сайт компании Програблэб на платформе Youtube. 2020. — режим доступа к сайту.: <https://www.youtube.com/channel/UCV3hNwAGt245U9nQj8tkC-A/videos>

Кондрашкина Е. Г., Рыжаков В. В., Чаппаров Ф. Х.

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков

г. Сургут

Аннотация. В работе представлено описание проблем организации проектной работы в инженерных образовательных программах. Приводится способ решения обозначенных проблем с использованием учебно-проектной формы, называемой инженерными треками. Представлено описание методологических основ инженерного проектирования на базе концепции полного жизненного цикла инженерного изделия, структуры инженерного трека с указанием получаемых результатов на каждой фазе проекта, порядок реализации инженерных треков в рамках образовательной программы по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также описание конкретных реализуемых инженерных треков.

Ключевые слова. Инженерный трек, инженерный проект, стандарт CDIO, полный жизненный цикл, ЕСКД.

Elena Kondrashkina, Vitalii Ryzhakov, Farid Chapparov

Surgut State University, Surgut

On the organization of the design activity of university students using engineering tracks

Surgut

Annotation. The paper describes the problems of organizing design work in engineering educational programs. A method for solving the indicated problems using an educational design form called engineering tracks is given. A description is given of the methodological foundations of engineering design based on the concept of the full life cycle of an engineering product, the structure of an engineering track indicating the results obtained at each phase of the project, the procedure for implementing engineering tracks as part of the educational program in the field of “Infocommunication Technologies and Communication Systems”, as well as a description of the specific engineering tracks.

Keywords. Engineering track, engineering project, CDIO standard, full life cycle, ESKD.

Введение

Приобретение инженерных компетенций при разработке технических образовательных программ невозможно без участия в реализации реальных проектов, соответствующих направленности этих программ. Только тогда от обучения и участия в проектах будет эффект, подразумеваемый стандартами CDIO. Изучая опыт других вузов, мы столкнулись с ситуацией, когда при реализации образовательных проектов ставится задача реализовать проекты, не соответствующие направленности образовательных программ. В Сургутском государственном университете для преодоления этих ограничений в направлении «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» студенческая проектная работа организована с помощью механизма «Инженерные треки».

Инженерный трек — это образовательный и профессиональный инженерный проект, инициированный и контролируемый студентом, магистрантом, аспирантом или преподавателем кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета. Каждый трек ориентирован на реализацию проекта в соответствии с концепцией Интернета вещей, которая является основой для содержания подготовки бакалавров и магистров в области «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». При разработке Инженерных треков учитывался международный опыт организации учебного проектирования [1, 2].

Принципы организации учебного инженерно-технического проектирования

Методологическим базисом инженерно-технического проектирования является концепция полного жизненного цикла инженерно-технического изделия, определенная государственным стандартом Российской Федерации [3]. В целом, инженерный проект проходит стадии разработки и реализации, предусмотренные серий подобными стандартами, объединенные общим наименованием Единая Система Конструкторской Документации (ЕСКД), с основополагающим нормативным документом [4].

Этапы полного жизненного цикла и их основные цели определены в ЕСКД следующим образом:

- 1) Маркетинг-научные исследования — разработка двух и более концепций изделия.
- 2) Проектирование (разработка) — создание электронного проекта и макета изделия.
- 3) Изготовление — создание прототипа (опытного образца) и подготовка изделия к серийному производству и/или эксплуатации.
- 4) Контроль (приемка) — предварительные испытания изделия на соответствие установленным техническим и эксплуатационным параметрам и выполнение приемо-сдаточных работ.
- 5) Эксплуатация — организация эксплуатации изделия.
- 6) Ремонт (модернизация) — выполнение ремонтно-восстановительных работ и работ по модернизации изделия на основе опыта его эксплуатации.
- 7) Утилизация — снятие с эксплуатации, демонтаж и утилизация изделия.

В рамках учебного процесса обязательным для прохождения студентами являются только два первых этапа, которые реализуются с глубиной, необходимой для полного освоения образовательной программы. Реализация остальных этапов в полном объеме осуществляется только для проектов, которые имеют реального заказчика.

Несмотря на то, что в рамках учебного процесса для студентов не является обязательным участие во всех этапах жизненного цикла создания и эксплуатации реального изделия, ознакомление с этими этапами осуществляется при выполнении учебного проектирования, поскольку в проектных заданиях указываются требования по обеспечению реализации всех этапов жизненного цикла.

В процессе обучения студенты проходят два цикла учебного проектирования. Первый цикл занимает с первого по пятый семестры бакалавриата. В этом цикле в рамках дисциплин Введение в профессиональную деятельность и Основы проектной деятельности студенты изучают основы профессиональной и проектной деятельности, а также могут принять участие в работе действующих проектных команд, реализующих инженерные треки. В шестом и седьмом семестрах студентам предоставляется право выбора одной из трех дальнейших образовательных траекторий:

- запустить инженерный трек и сформировать свою проектную команду;
- войти в новый или остаться в действующем инженерном треке;
- приступить к выполнению индивидуального инженерного проекта.

Для магистрантов действуют аналогичные правила, за исключением того, что для них предусмотрен только один цикл учебного проектирования. При этом, если студент поступает в магистратуру с уже имеющимся проектом, то он может сразу запустить инженерный трек и сформировать команду. Также он может войти в один из действующих треков или заняться выполнением индивидуального инженерного проекта.

Структура и порядок реализации инженерного трека

Инженерный трек состоит из двух составляющих — управление проектной деятельностью и обеспечение содержания проекта.

Управление проектной деятельностью ориентировано на организацию проектных работ согласно следующим основным этапам:

- постановка проблемы;
- сбор информации и разработка концепций проекта;
- формирование ресурсной базы;
- набор исполнителей и распределение ролей;
- разработка паспорта и формирование команды проекта;
- назначение ресурсов команде проекта;
- запуск проекта;
- реализация плана работ по проекту;
- оценка результативности и успешности проекта;
- поощрение членов команды;
- завершение проекта.

Главной задачей управления проектом является обеспечение его старта, реализации и завершения, то есть выполнение временного графика работ по проекту. При этом задача обеспечения результативности и успешности проекта не ставится.

Содержание проекта ориентировано на обеспечение результативности и успешности инженерного проектирования, что достигается реализацией следующих стадий технического проектирования [1]:

Стадия I. Маркетинг-научные исследования.

- постановка проблемы;
- выполнение реферирования по проблеме;
- постановка исследовательской задачи;
- выполнение исследований;
- разработка концепции технического проекта;
- маркетинговые исследования;
- апробация результатов исследований.

Стадия II. Разработка технического предложения.

- постановка задания на разработку технического предложения;
- разработка архитектурных и структурных решений;
- разработка модели и/или темплета;
- технико-экономическое обоснование;
- апробация технического предложения.

Стадия III. Разработка эскизного проекта.

- постановка задания на разработку эскизного проекта;
- разработка функциональных и конструктивных решений;
- разработка проектного макета;
- разработка бизнес-плана;

- апробация эскизного проекта.

Стадия IV. Разработка технического проекта.

- постановка задания на разработку технического проекта;
- разработка принципиальных и технологических решений;
- разработка рабочего макета;
- разработка инвестиционного плана;
- апробация технического проекта.

Каждая из указанных стадий может быть реализована в виде самостоятельного проекта или один проект может включать несколько стадий. В рамках образовательного процесса, согласно требованиям образовательной программы, минимально-необходимым является выполнение Стадий I и II. При этом типовым считается глубина проработки учебных проектов вплоть до Стадии III. Стадия IV и последующие стадии реализуются по специальному решению проектного офиса кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики.

При реализации проекта временной график реализации проекта должен быть соотнесен со стадиями его реализации и результатами, получаемыми в контрольных точках проекта.

При формировании проектной команды инженерного трека используются следующие проектные роли:

- управляющие роли — лидер, идеолог и менеджер проекта;
- специалисты, обладающие необходимыми для проекта компетенциями;
- стажеры — неквалифицированные работники, осваивающие основы инженерного проектирования.

Управляющие роли, как правило, занимают студенты старших курсов и магистры. Специалистом может быть любой человек, обладающий необходимыми компетенциями. В качестве стажеров выступают студенты младших курсов и школьники. Состав специалистов формируется по компетенциям, которые необходимы для реализации проекта. При разработке концепции проекта его руководители определяют необходимые для реализации проекта компетенции и подбирают соответствующих специалистов. Специалисты подготавливаются в рамках компетентностных образовательных курсах, являющихся серой ответственности проектного офиса.

Организация работы проектного офиса.

Управление инженерными треками осуществляет проектный офис кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета. Проектный офис выполняет функции оператора проектов и выступает в качестве посредника между кафедрой и предприятиями реального сектора экономики. Он решает следующие задачи:

- формулирует проблематику проектов;
- организует обучение руководителей проектных команд;
- организует обучение по компетенциям для исполнителей;
- осуществляет отбор студенческих проектов;
- контролирует график реализации проектов;
- осуществляет оценку результатов, финансирование проектов и награждение проектных команд.

При управлении инженерными треками проектный офис проводит за семестр 4 проектные сессии, на которых принимаются все решения по динамике и результатам инженерных треков.

При запуске инженерного трека в проектном офисе определяется куратор проекта, который осуществляет общее руководство треком и определяет стратегию его реализации. В качестве кураторов проекта выступают сотрудники, магистранты и аспиранты кафедры радиоэлек-

троники и электроэнергетики, которые реализуют свои исследовательские проекты, которые реализуют инженерные проекты для промышленных предприятий, и которым нужны люди для этой работы.

Интеграция в основную образовательную программу кафедры

Инженерные треки тесно интегрированы в образовательные программы как для уровня бакалавров, так и для уровня магистратуры. На уровне бакалавров первоначальные представления об инженерной проектной деятельности студенты получают на предметах Введение в профессиональную деятельность (1 семестр) и Основы проектной деятельности (4 семестр). На этих предметах дается представление об управлении проектами, стадиях реализации инженерного проекта и актуальной инженерной проблематике топливно-энергетического сектора Югры. Получение этих знаний является обязательным минимумом обучения по образовательной программе «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Студенты, желающие полноценно включиться в проектную работу начиная с 2 семестра могут войти в состав проектных команд в качестве исполнителей.

В 6, 7 и 8 семестрах учебным планом предусмотрены учебные и производственные практики, которые проводятся в течение всего семестра, в рамках которых студенты должны выполнить инженерный проект в составе проектной команды или индивидуально. В последнем случае проект является чисто учебным и не сопровождается проектным офисом, а реализуется в традиционной учебной форме индивидуальной работы студента под руководством преподавателя кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики.

Заключение

В настоящее время в работе находятся три инженерных трека: «Медицинский робот» на стадии разработки эскизного проекта, а также «Цифровая очистка воды», «Изоляция трубопроводов» — на стадии маркетинг-научных исследований, для реализации которых используются 14 компетенций. Трек «Медицинский робот» имеет разработанный и апробированный презентационный модуль под названием «Digital Craft», который используется для профориентационной работы со школьниками.

Организация проектной деятельности в университете в соответствии с концепцией инженерных треков позволила снять вышеуказанные ограничения и сформировать образовательную и проектную среду, максимально приближенную к организации проектной деятельности в профессиональной проектной организации.

Список использованной литературы

1. Teaching Engineering Students: From Principles to Practices. Svetlana Osipova and Olga Shubkina // The 15th International CDIO Conference Proceedings — Full Papers. ISBN (pdf): 978–87–7507–459–4 DOI: 10.7146/aul.347. P. 313–323.
2. Helping Students Transition from Group Work to Individual Projects. Laura Leslie, Paul Gorman and Sarah Junaid // The 15th International CDIO Conference Proceedings — Full Papers. ISBN (pdf): 978–87–7507–459–4 DOI: 10.7146/aul.347. P. 846–856.
3. ГОСТ 2.103–2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Стадии разработки».
4. ГОСТ 2.001–2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Общие положения».

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ — 2020

*Сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической
онлайн-конференции (Россия, Сургут, 23–24 апреля 2020 г.)*

Ответственный редактор Виталий Рыжаков

Ответственный за выпуск Мария Соседко

Технический редактор Лина Мовсесян

Компьютерная верстка: Анастасия Шляго

Дизайнер обложки: Евгения Добрынина

Выпущено в авторской редакции и коррекции

Издательство «Знание-М»

E-mail: id_piar@mail.ru

Подписано в печать 28.07.2020. Формат 60х84 1/8.

Бумага офсетная. Гарнитура «Times». Печать цифровая.

Усл. печ. л. – 21,04. Заказ № 890. Тираж 66 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в издательском центре «Логос»,

355038, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2.

Издано в научных и учебных целях. Коммерческое использование не предусмотрено.