

БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА — ЮГРЫ
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ

Сборник трудов IV Международной научно-практической
конференции

(Сургут, 20–21 апреля 2023 года)



Москва
Знание-М
2023

УДК 537(063)
ББК 31.2
П78

Рецензенты:

Рыжаков В. В. — заведующий кафедрой Радиоэлектроники и электроэнергетики
БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.ф.-м.н. (г. Сургут);
Кондрашкина Е. Г. — доцент кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики
БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.п.н. (г. Сургут)

Организационный комитет конференции:

Оствальд Р. В. — проректор по науке и технологиям
БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.х.н. (г. Сургут);
Сысоев С. М. — директор Политехнического института
БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.ф.-м.н. (г. Сургут);
Сальников В. Г. — профессор кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики
БУ ВО «Сургутский государственный университет», д.т.н. (г. Сургут);
Никитин К. И. — заведующий кафедрой Теоретическая и общая электротехника
ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», д.т.н. (г. Омск);
Кислов А. П. — декан факультета Энергетики Павлодарского государственного университета
имени С. Торайгырова, к.т.н. (Казахстан, г. Павлодар);
Мендыбаев С. А. — доцент кафедры Радиотехники, электроники и телекоммуникации
Казахского аграрно-технического университета имени С. Сейфуллина, к.т.н.
(Республика Казахстан, г. Нур-Султан);
Кислицин Е. Ю. — доцент кафедры Радиоэлектроники и электроэнергетики
БУ ВО «Сургутский государственный университет», к.т.н. (г. Сургут);
Горелов С. В. — профессор кафедры Электроэнергетических систем и электротехники
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», д.т.н.
(г. Новосибирск);
Вильбергер М. Е. — декан факультета Мехатроники и автоматизации
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к.т.н. (г. Новосибирск);
Лукошков Д. С. — директор Ханты-Мансийского филиала ПАО «Ростелеком» (г. Ханты-Мансийск);
Курбатов А. А. — начальник управления связи ООО «Газпром трансгаз Сургут» (г. Сургут);
Уржумцев Д. В. — инженер отдела информационных технологий Среднеобского
ПТУС филиал АО «Связьтранснефть» (г. Сургут);
Евдокимов А. А. — производитель работ треста «Сургутремстрой» ПАО «Сургутнефтегаз», к.т.н.
(г. Сургут)

П78 **Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России** : сборник трудов IV
Международной научно-практической конференции (Сургут, 20–21 апреля, 2023 года). —
Москва : Знание-М, 2023. — 728 с.

ISBN 978-5-00187-466-9
DOI: 10.38006/00187-466-9.2023.1.728

УДК 537(063)
ББК 31.2

ISBN 978-5-00187-466-9

© СурГУ, 2023
© Знание-М, 2023

Содержание

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	9
<i>Хачатрян А. С., Сафин А. С., Сальников В. Г.</i>	
Исследование причин отключения высоковольтных линий электропередачи.....	9
<i>Марчук А. С.</i>	
Определение релейной защиты в энергоустановках	15
<i>Аушев Р. А., Антипин Д. П., Евдокимов А. А.</i>	
К вопросу о влиянии промежуточных подключений на статическую и динамическую устойчивость энергосистем.....	20
<i>Алгасанов Д. М.</i>	
Проектирование воздушных линий электропередачи с применением композитных опор.....	30
<i>Абдуллина А. И.</i>	
Анализ проблемы разработки и использования в промышленности цифровых двойников силовых трансформаторов	36
<i>Бигун А. Я., Владимиров Л. В., Кочергина М. С., Дроздова Ю. Е., Таран В. С.</i>	
Экспериментальная установка по исследованию нестационарных тепловых режимов изолированных и неизолированных проводов воздушных линий.....	41
<i>Марчук А. С., Никитин К. И.</i>	
Анализ влияния несимметрии напряжения сетей среднего напряжения на электромагнитные помехи.....	50
<i>Волков Д. А.</i>	
Разработка установки симметрирования нагрузки в трехфазных электрических сетях напряжением 0,4 кВ	57
<i>Viktor Kibartas, Yuliya Kibartene, Alexander Kislov, Viktor Melnikov, Yelena Zigangirova</i>	
Exploring the possibilities of smart and renewable technologies for the modernization of industrial heat power plants.....	64
<i>Завьялов Д. В., Кислицин Е. Ю.</i>	
Влияние несимметрии напряжений на потери электроэнергии в сельской сети 0,4 кВ.....	75
<i>Иванов Т. А., Камнев В. В., Кочергина М. С., Рогонов В. В., Бигун А. Я.</i>	
Пути развития электроэнергетического комплекса	84
<i>Денчик Ю. М., Соседов И. Н., Суварян А. С., Иванова Е. В., Сальников В. Г.</i>	
Обеспечение электромагнитной совместимости сети 10/0,4 кВ как рецептора при гармоническом воздействии	89
<i>Овчаренко М. Е., Заруднев А. А., Антипин Д. П.</i>	
Исследование несимметричных режимов работы в электрической сети в программном комплексе MATLAB и проверка результатов в натуральных экспериментах.....	96
<i>Кайдар А. Б., Кислов А. П., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Уразалимова Д. С.</i>	
Ветрогенераторы с ветроколесами с изменяемыми моментами трогания для систем автономного электроснабжения.....	101
<i>Князев О. А., Харлампьева С. С.</i>	
О транспортном электродвигателе на основе магнитного тяжения	105
<i>Вербовенко Н. И., Кислицин Е. Ю.</i>	
Оптимизация генерации электроэнергии ВЭС при помощи нейросетей.....	111
<i>Алгасанов Д. М., Абдуллина А. И., Рыцев А. Э., Агомурзаев И. С.</i>	
Перспектива развития ОЭС Сибири	115

<i>Кочуров Н. А., Кислицин Е. Ю.</i> Повышение надежности воздушных линий электропередачи 10 кВ путем внедрения композитных опор	122
<i>Владимиров Л. В., Попков Н. А.</i> Совершенствование релейной защиты от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью.....	130
<i>Смыков Ю. Н.</i> Роль повышения качества функционирования электропередачи «берег–судно» при разработке планов управления энергоэффективностью судна.....	138
<i>Ипполитов В. А., Романов Л. Р., Крюков О. В.</i> Энергетическое обеспечение арктических объектов добычи и переработки углеводородов.....	146
<i>Васенин А. Б., Степанов С. Е., Крюков О. В.</i> Автоматизированный электропривод подводных компрессорных станций Кириного газоконденсатного месторождения	156
<i>Кондранин М. С., Кислицин Е. Ю.</i> Применение автономных источников питания для электроснабжения отдаленных объектов.....	167
<i>Горбунов К. П., Ашурабеков М. А., Мищенко В. В.</i> Проектирование электрической части понижающей подстанции	173
<i>Зобян А. А., Петрухин А. В.</i> Сравнительный анализ требований отклонения частоты в регионах и автономных электроэнергетических системах	180
<i>Денчик Ю. М., Мочалин К. С., Романов М. Н.</i> Применение самонесущих изолированных проводов для повышения надежности электроснабжения северных регионов.....	185
<i>Альмухаметова Л. Р.</i> Оперативное восстановление электроснабжения объектов нефтегазодобычи с использованием мобильных подстанций	195
<i>Кондрашкина Е. Г., Захаров И. А.</i> Оценка возможности применения микротурбинных установок в электроснабжении нефтепромысла.....	201
<i>Парамзин А. О.</i> Исследование математического аппарата вейвлет-анализа и преобразования Фурье при анализе нестационарных режимов сетей 0,4 КВ	207
<i>Сафин А. С., Хачатрян А. С., Сальников В. Г.</i> Повышение энергоэффективности систем электроснабжения бытовых потребителей ...	218
<i>Владимиров Л. В., Савинов С. А.</i> Разработка структурной схемы цифровой подстанции	223
<i>Дмитренко А. В., Лесных Е. В., Лесных А. С., Корнеев М. В.</i> Выбор способов управления потоками энергетических ресурсов на континенте Евразия...	230
<i>Гафарова П. А., Рысев П. В.</i> Обзор подходов к реализации защит минимального напряжения электродвигателей нефтяных месторождений.....	240
<i>Манусов В. З., Иванов Г. В., Дементьева А. А.</i> Вектор развития генераторных установок электростанций.....	245
<i>Рысев П. В.</i> Интеллектуальная система регулирования напряжения в распределительной электрической сети на основе нечеткой логики.....	250

Шадрин А. О., Старцев И. М.

Расчет и выбор оборудования для устройства динамического торможения отраслевых нерегулируемых электроприводов с асинхронными короткозамкнутыми двигателями 260

Шепелев А. О., Ткаченко В.А.

Влияние способа задания нагрузок на методы расчета установившихся режимов с учетом тепловых процессов 267

Шулятицкий С. В., Кондрашкина Е. Г.

Система мониторинга работы турбогенератора на базе вибрационного контроля 276

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....280

Харитонов К. А.

Организация системы мониторинга и диагностики трансформаторов среднего напряжения...280

Аков Э. И.

Разработка автономного интеллектуального источника питания для необслуживаемой маломощной электроники..... 285

Манусов В. З., Иванов Г. В., Петухов И. Ю.

Показатели эффективности систем электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли 292

Домахин Е. А., Аниброев В. И., Попов Н. С., Вильбергер М. Е.

Сравнительный анализ топологий и подходов к определению параметров синус-фильтров для высоковольтного электропривода на базе асинхронного электродвигателя с питанием от многоуровневого преобразователя частоты, выполненного по схеме с Н-мостами 298

Иванов М. Н., Капранов И. С.

Использование малой генерации в акватории северного морского пути 308

Кустов А. А.

Обнаружение однофазных замыканий на ВЛ-6 КВ с использованием дефектопоискового комплекса 313

Кондратенко Е. В., Егорова Е. В., Иванов Д. М., Сальников В. Г.

Разработка мероприятий повышения эффективности работы в распределительных электрических сетях..... 318

Лагутенко А. Р.

Оптимизация потерь электрической энергии в линиях электропередачи путем перехода на более высокое напряжение..... 325

Осипов Д. С., Осипова Н. Д.

Разработка алгоритма расчета интегральных характеристик установившихся режимов электрических сетей на основе пакетного вейвлет-преобразования 332

Руди Д. Ю., Шитик Т. В.

Оценка показателей качества электроэнергии с помощью прибора-анализатора «Ресурс-ПКЭ-1.7»..... 339

Ананьина Т. В., Иванова Е. В., Переладов М. Е., Дворцов П. П.

Повышение энергоэффективности сетей в системах с распределенной генерацией..... 349

Горовой С. А.

Подход по предварительной фильтрации входных данных на основе вейвлет-преобразования в рамках прогнозирования потребления 355

Сбитнев М. С., Менякин А. Г.

Прямые и косвенные измерения напряжения и токов цифровым прибором. Определение методической погрешности измерений, обусловленной влиянием приборов, среднеквадратической погрешности ряда наблюдений 361

<i>Момотов А. Е.</i> Диагностика и определение технического состояния высоковольтного асинхронного двигателя.....	370
<i>Сушков В. В., Сушкова В. Р., Самохина Н. Н.</i> Обоснование индекса технического состояния для ранжирования нефтепромысловых потребителей по приоритетности отключений при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме	380
<i>Дворцов П. П., Иванова Е. В., Ананьина Т. В., Переладов М. Е., Сальников В. Г.</i> Оптимизация распределительных электроэнергетических сетей с помощью математического моделирования.....	386
<i>Кондранин М. С., Кислицин Е. Ю.</i> Применение автономных источников питания для электроснабжения удаленных объектов нефтегазовой отрасли	393
<i>Иванова Е. В., Кочетков М. А.</i> Влияние обледенения линий электропередачи на эффективность электроснабжения	400
<i>Топычканов М. Е.</i> Защита северных стевых линий 220–500 кВ от токовой перегрузки.....	410
<i>Бурмистрова Е. А., Миронова М. А.</i> Применение FACTS-устройств в электрических сетях.....	417
<i>Бородин Е. А., Сбитнев М. С., Менякин А. Г.</i> Определение методической погрешности измерений, обусловленной влиянием цифровых приборов	422
<i>Горбунов К. П., Ашурбеков М. А., Таипулатов Ш. С., Абдурахманов А. Я.</i> Анализ развития ОЭС Сибири.....	430
<i>Багаутдинова Е. Э.</i> Организация температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей ЗРУ-6 кВ	436
<i>Кондрашкина Е. Г., Витвицкий В. А.</i> Система дистанционного мониторинга установок электроцентробежных насосов в скважинах месторождений нефтегазодобывающих предприятий	442
<i>Борисов И. Б.</i> Качество электрической энергии, электромагнитная совместимость, электромагнитные кондуктивные помехи в электрических сетях 35 кВ	448
<i>Редченко В. А.</i> Повышение качества электрической энергии в сетях с нелинейной нагрузкой	454
<i>Ромадановский К. Н.</i> Использование VDI для оптимизации энергетической системы и IT-инфраструктуры предприятия	461
<i>Синицын В. В., Тишин И. В.</i> Внедрение магнитореологических демпферов на ВЛ от 110 кВ в районах Крайнего Севера и районах, приравненных к районам Крайнего Севера.....	467
<i>Садовская Л. В., Маманова А. Х.</i> Оценка защитного действия кабельного экрана вторичных цепей измерительных систем электроподстанции	478
<i>Синицын В. И., Шильникова Е. А., Рослякова О. В.</i> Пожарная и экологическая опасность трансформаторов, работающих на минеральном масле	484

Ананьина Т. В., Денчик Ю. М., Иванова Е. В., Переладов М. Е., Сальников В. Г.
Электромагнитная совместимость береговой и судовой электрических сетей
при электроснабжении судна с берега489

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.....496

Михайлов Н. П., Прохорова Е. В.
Модель корпоративной системы сбора, обработки и передачи данных телеметрии496

Семенова Л. Л., Герасимова Н. Н., Макарчук В. Э.
Моделирование приемной части цифровой системы связи.....502

Авдеев В. В., Прохорова Е. В.
Исследование моделей оптимизации систем интернета вещей.....512

Батенков К. А.
Виды сквозных путей, используемых при анализе качества в телекоммуникациях522

Дёмко А. И.
Программно-определяемые составляющие радиотехнических систем.....527

Дехконов Д. А.
Применение беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой отрасли537

Емельянова М. Е., Прохорова Е. В.
Расчет основных характеристик адаптивного фильтра в системах обработки сигналов ЭКГ .. 542

Заварзин Д. В.
Структурно-топологическая оптимизация распределенных систем мониторинга
нефтегазовых объектов на основе анализа сети передачи данных 548

Калиновский Д. А., Аврамчук В. С.
Локализация источника сигнала методом оценки времени запаздывания 554

Рыжаков В. В., Круглов В. Е.
Классификация и профилирование трафика в мультисервисных сетях связи 560

Клягина О. Е.
Системы промышленного интернета вещей..... 565

Дёмко А. И.
Сложные сигналы на основе кодов Фрэнка.....571

Попов Г. А.
Интеграция приложения контроллера умного дома по протоколу Z-WAVE
на устройства серии NTU-RG-54XX-WZ 583

Прохорова Е. В.
Расчет эталонного сигнала адаптивного фильтра в системах интернета медицинских
вещей 588

Дёмко А. И., Радзин Д. Д.
Радиоимпульсные сигналы с модифицированными законами изменения фазы..... 596

Рыжаков В. В., Сизов О. Е.
Цифровые двойники промышленных объектов 604

Жежу Д. Г.
Сетевое оборудование: с чем работать в период кризиса и санкций?607

Гаджиев Д. Р.
Оптимизация процессов и повышение эффективности при обслуживании
корпоративных сетей с использованием виртуализации..... 612

Дунаев П. А., Мехтиев А. Д.
Экспериментальное исследование системы передачи энергии
по волоконно-оптическому кабелю 615

<i>Дювенжи Н. С., Прохорова Е. В.</i> проектирование систем автоматизации телемеханики и систем связи на объектах нефтегазодобывающей отрасли	621
<i>Казанский Н. А., Косова Ю. А., Лысюк П. И.</i> Полностью оптические сети связи с использованием подводных сверхдлинных однопролетных линий. Перспективы применения в зоне северного морского пути в Российской Федерации	627
<i>Урсакий В. М.</i> Инфокоммуникационная система корпоративного обучения с элементами дополненной реальности	634
<i>Рыжаков В. В., Князев Р. А.</i> Энергетическая модель дорожного датчика системы интернета вещей с электропитанием от пьезогенераторных элементов.....	638

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ
ИНФОКОММУНИКАЦИЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВУЗЕ.....** 643

<i>Смыков Ю. Н., Горелов С. В.</i> Аспекты снижения восприятия учебно-методического материала при изучении электротехнических дисциплин.....	643
<i>Смыков Ю. Н., Толашко Т. А.</i> Современные подходы и практики при преподавании электротехнических дисциплин..	648
<i>Дёмко А. И., Алмазова Е. Г.</i> Диагностическое тестирование и внутрисеместровая аттестация.....	654
<i>Бигун А. Я.</i> Аспекты необходимости преподавания электроэнергетических дисциплин непрофильным направлениям.....	660
<i>Владимиров Л. В.</i> Разработка программ дополнительного профессионального образования с учетом требований целевой аудитории.....	666
<i>Дёмко А. И.</i> Новые старые веяния в системе высшего профессионального образования России	672
<i>Соседов И. Н., Сальников В. Г., Кислицин Е. Ю., Антонов А. И.</i> Научная школа как подсистема вузовской науки	681
<i>Бородин Е. А.</i> Методологические подходы формирования профессиональных компетенций будущих инженеров технического вуза	689
<i>Иванов Г. В.</i> Преподавание теории решения изобретательских задач в вузе.....	696
<i>Чаптаров Ф. Х.</i> Организация учебных инженерных лабораторий-полигонов на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета ...	702
<i>Рысев П. В.</i> Использование метода кейсов в учебном процессе технических направлений.....	707
<i>Кондрашкина Е. Г., Чаптаров Ф. Х.</i> Жизненный цикл дизайна инженерного проекта в учебном инженерно-техническом проектировании.....	712
<i>Рыжаков В. В.</i> Разработка архитектуры инженерно-технических объектов	722

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.361

Хачатрян А. С., Сафин А. С., Сальников В. Г.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТКЛЮЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные причины возникновения проблем с электроснабжением, а именно факторы, которые могут привести к повреждению и отключению линий электропередач. Каждый из этих факторов внимательно изучен в работе, а также описаны наиболее распространенные причины сбоев в электроснабжении.

Ключевые слова: линия электропередачи, грозовые отключения, немотивированные отключения, перекрытие изоляции.

Khachatryan A. S., Safin A. S., Salnikov V. G.

Surgut State University, Surgut

STUDY OF THE REASONS FOR DISCONNECTING HIGH-VOLTAGE ELECTRIC TRANSMISSION LINES

Surgut

Abstract. In this article, we examine the main reasons for power line outages. We list the main factors that lead to damage and disconnection of power lines. The characteristics and essence of each cause of power outage are thoroughly studied. In conclusion, the most common reasons for power line disconnection are described.

Keywords: power line, lightning outages, unmotivated outages, insulation overlap.

В современном обществе электричество является неотъемлемым ресурсом, без которого трудно представить себе нашу жизнь. Оно значительно облегчает нашу бытовую деятельность, делая ее интереснее и эффективнее. Однако часто бывает, что линии передачи электроэнергии отключаются, что может привести к негативным последствиям. Эти отключения обусловлены различными причинами, включая проблемы, связанные с повреждением линий передачи.

Линия электропередачи (ЛЭП) является элементом электрической сети и представляет собой систему энергетического оборудования, предназначенную для передачи электроэнергии с использованием электрического тока.

Отключение высоковольтных линий электропередач может происходить по различным причинам, но наиболее распространенными являются повреждения, вызванные разными факторами, включая следующие: изменения температуры в окружающей среде, вибрация, образование гололедицы на проводах, их деформация, воздействие ветра, перегрузки (атмосферные и коммутационные), а также воздействие загрязненного воздуха.

Описанные факторы оказывают отрицательное воздействие на высоковольтные линии электропередач, приводя к серьезным повреждениям и частому отключению. Эти причины весьма распространены и могут возникать в любом районе. Наиболее часто встречающимися являются атмосферные перенапряжения и природные явления, включая ветер и гололед.

Атмосферные воздействия, связанные с грозой, являются главной причиной отключения линий электропередач. Перенапряжения, которые появляются в это время, имеют временный характер и могут вызывать пробой в изоляции и проблемы с перекрытием линий электропередач. В редких случаях изоляция может подвергнуться серьезным повреждениям или полному разрушению. При перекрытии изоляции возникает электрическая дуга, которая может продолжать действовать даже при рабочем напряжении и вызывать короткое замыкание. Поэтому наличие автоматической системы отключения линии электропередач в местах повреждения является крайне важным.

При включении или выключении выключателей возникают внутренние перенапряжения, называемые коммутационными. Они имеют такое же воздействие на изоляцию устройств сети, как перенапряжения атмосферного характера. Если происходит перекрытие, необходимо срочно произвести автоматическое отключение. Для сетей с напряжением до 220 кВ перенапряжения атмосферного характера считаются наиболее опасными, в то время

как для сетей с напряжением 330 кВ и выше опасность представляют коммутационные перенапряжения.

Одним из негативных факторов, влияющих на линии электропередач, является изменение температуры окружающей среды. Этот диапазон может варьироваться от -40° до $+40^{\circ}$. Ток, который проходит по проводам, имеет температуру, которая выше на $2-5^{\circ}\text{C}$, чем температура воздуха. Если температура воздуха снижается, это может привести к значительному увеличению допустимой температуры проводов, что может вызвать их перегрев. Когда температура снижается и допустимый предел нагрева проводов увеличивается, их длина уменьшается, что приводит к повышению напряжения на механический характер. Если температура проводов повышается, то это может привести к их полному отжигу или снижению прочности. Также при повышении температуры провода начинают увеличиваться стрелы провеса и удлиняться, что может привести к нарушению изоляционных расстояний и границ воздушной линии. Как результат, безопасность и надежность работы линии электропередачи снижаются, что может вызвать отключение линий из-за повреждений, вызванных изменением температуры.

Одним из факторов, приводящих к отключению линий электропередач, является ветер, который негативно влияет на провода, тросы и опоры. Эта проблема является наиболее распространенной и может произойти в любое время года. Сильный ветер оказывает давление на конструкции, что может привести к серьезным поломкам и даже к падению опор с вырыванием фундаментов из грунта. При этом материал проводов и тросов испытывает механические напряжения. При наличии очень сильных порывов ветра несколько опор линий электропередач могут быть повреждены.

Если на проводах образуется гололед, то это создает дополнительную нагрузку и снижает прочность конструкций. Стрела провеса проводов может изменяться, а изоляционные расстояния могут сокращаться. Гололед также может вызывать сближение и путанье проводов, что увеличивает риск отключения электроэнергии.

Отключение линий электропередач может происходить из-за вибрации проводов, которая вызвана их колебаниями высокой частоты (5–50 Гц), но малой длины волны (2–10 м) и амплитуды (2–3 диаметра провода). Преимущественно провода, находящиеся на открытом пространстве и подверженные равномерному ветру, могут подвергаться вибрациям. Это может

вызвать износ материала проводов и привести к разрывам закрепляющих проволочек в зажимах опор, что не только снижает прочность проводов, но иногда может привести к их полному обрыву. Кроме того, причиной отключения линий электропередач может быть также «пляска» проводов — колебания провода с малой частотой (0,2–0,4 Гц), большой длиной волны и большой амплитудой колебания (0,5–5 м и более). Хотя длительность таких колебаний обычно небольшая, иногда они могут продолжаться несколько дней.

«Пляска» проводов — это явление, которое наблюдается при сильных порывах ветра, особенно на проводах с большим сечением. Это может привести к схлестыванию проводов, динамическим нагрузкам на арматуре опор и траверсах, нарушениям целостности изоляторов, а также забросу гирлянд изоляторов на траверсу.

Продолжительное отключение линий электропередач может быть вызвано пляской проводов, которая приводит к уменьшению расстояний в изоляции и взаимному схлестыванию проводов из-за больших амплитуд колебаний. Кроме того, этому явлению часто сопутствуют сильные порывы ветра, что может привести к перекрытиям при рабочем напряжении линии. В результате большинство линий электропередач вынуждены временно прекратить свою работу.

Загрязнение воздуха может оказать значительное негативное воздействие на функционирование линий электропередач. Такое загрязнение может быть вызвано наличием различных химических соединений, пыли и других частиц. Если эти элементы оседают на проводах, особенно на влажных, то изоляция проводов может ослабнуть, что приведет к ощутимому перегрузу линий электропередач. Летом это явление часто вызывается поднимающейся с дорог пылью, внесенной ветром или автотранспортом над проводами.

Иногда возникают ситуации, когда не удается объяснить причину отключения линий электропередач из-за блокировки увлажненной изоляции, даже при сравнительно низкой влажности воздуха. В таких случаях наиболее вероятной причиной является воздействие птиц. Птицы могут привести к выходу из строя линий по разным причинам: например, изоляционный слой может быть загрязнен их пометом, на проводах могут находиться загрязнения и другие предметы, птицы могут оказаться в изоляционных зазорах и привести к разрыву контакта, либо небольшие стаи птиц могут столкнуться линии электропередач в воздухе, что также приводит к отключению.

По данным статистики, которая касается отключений электропередач в северных регионах России, наибольшую долю среди всех видов отключений составляют грозовые отключения и перекрытие изоляции — около 77%, а по невыясненным причинам происходит 23% отключений. В летний период распределение отключений по времени суток показывает, что наиболее частые отключения приходятся на утренние часы, составляющие 56% от общего числа отключений (см. рис. 1).

Анализ распределения отключений воздушных линий (ВЛ) показал, что с апреля по сентябрь наблюдается наибольший период отключений. В апреле и мае причиной отключений могут быть птицы, которые прилетают после зимы, а также увлажнение загрязненной изоляции, используемой после зимы. В июне отключения могут быть вызваны высиживанием птенцов птицами и промывкой грязи дождями с изоляторов. А в августе-сентябре птенцы «встают на крыло» и отключения могут быть вызваны частыми утренними туманами и росой.

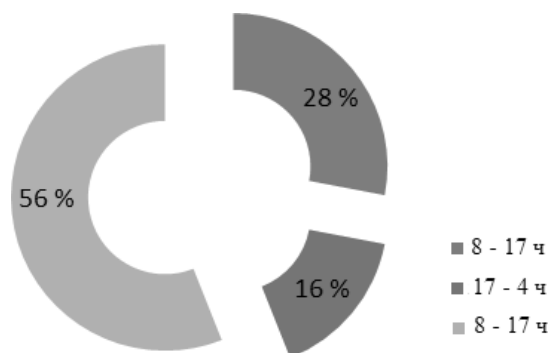


Рис. 1. Распределение отключений ВЛ по времени суток

Для снижения количества случаев необоснованных отключений воздушных линий электропередачи необходимо увеличить длину защитной утечки до значений, рекомендованных ПУЭ, и проводить птицевозащитные мероприятия, которые не противоречат экологическим требованиям и при этом являются наиболее эффективными.

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: дисс. ... канд. техн. наук / П. В. Пименов. — Новосибирск. — 1989. — 168 с.

4. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд. Раздел 1. Глава 1.9 «Изоляция электроустановок». — М.: НЦ 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.

УДК 620.9

Марчук А. С.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ

г. Сургут

Аннотация. Исследуется назначение и применение автоматизированной релейной защиты. При эксплуатации в сфере энергетики сетей и оборудования главной проблемой является нарушение их целостности и режимов работы. Особо важными отмечаются проблемы, связанные с коротким замыканием (КЗ). Целью статьи является поиск решений усовершенствования релейной защиты.

Ключевые слова: автоматика, релейная защита, изоляция проводников, короткое замыкание (КЗ).

Marchuk A. S.

Surgut State University, Surgut

DEFINITION OF RELAY PROTECTION IN POWER PLANT'S

Surgut

Abstract. Identification of the application and application of automated relay protection. When operating networks and equipment in the energy sector, the main problem is the violation of their integrity and operating modes. Particularly important problems related to closure (SC). The purpose of the article is to find solutions to improve relay protection.

Keywords: automation, relay protection, conductor insulation, short circuit (SC).

Система электроснабжения — это сложный производственный комплекс, все его элементы участвуют в едином производственном процессе, основными

специфическими особенностями которого являются быстротечность явлений и неизбежность повреждений аварийного характера. В современном мире обеспечение надежной энергосистемы является первостепенной задачей каждого государства. На нарушение этой целостности влияет множество факторов. Одним из таких факторов является ненормальное замыкание в проводнике, которое называют коротким замыканием (КЗ). Причиной его возникновения является износ изоляции электрооборудования. Данный износ происходит по ряду различных причин. Может быть вызван механическими повреждениями, перенапряжениями, старением защитной оболочки и т. д.

Уменьшение рисков по каждой из проблем обеспечивает надежность системы. При появлении короткого замыкания в системе электроснабжения ее суммарное сопротивление снижается, что приводит к возрастанию токов в ее участках по сравнению с номинальным режимом, а это, в свою очередь, вызывает падение напряжения отдельных точек системы, которое увеличивается по мере приближения к месту возникновения короткого замыкания. Исходя из места появления и длительности повреждения, результаты КЗ могут как влиять на всю систему электроснабжения целиком, так и на ее участников, в частности.

При коротком замыкании возникающий ток в несколько раз превышает показатели номинальной работы электроустановки, вследствие чего при кратковременном возникновении короткого замыкания происходит нагрев проводников выше предусмотренных значений. При достижении максимума значений в процессе КЗ, ток вызывает между проводниками сильное механическое воздействие. Следствием таких перегрузок в проводниках может являться разрушение изоляции и креплений.

Кроме того, длительное короткое замыкание при малой удаленности от станции может привести к перегрузке оборудования и повреждению электрооборудования. Причиной этого является высокая токовая нагрузка на оборудование, которая может привести к его перегреву и поломке. В критической ситуации возможно сгорание оборудования.

Также следует отметить опасность для людей и животных. Высокое напряжение при коротком замыкании может представлять угрозу для жизни и здоровья людей и животных, находящихся поблизости. Это может произойти в случае, если нарушена изоляция электропроводов, например, при их повреждении или обрыве.

В целом длительное короткое замыкание при малой удаленности от станции является серьезной угрозой для безопасности и нормальной работы электроэнергетической системы, поэтому необходимо принимать меры для предотвращения возникновения таких ситуаций. В случае резкого снижения напряжения в электросети работа электроприборов может значительно пострадать. Особенно негативное воздействие оказывается на работу двигателей, которые могут остановиться даже при кратковременном падении напряжения на 20–30%, что может привести к их поломке. Данное явление негативно сказывается на производстве любого промышленного предприятия, так как может вызвать аварии или привести к браку в производстве. Восстановление нормального производственного режима занимает длительное время.

Чтобы избежать перегрузки и повреждения двигателя при работе в режиме двумя фазами, можно применять следующие меры. В первую очередь для предотвращения повреждения двигателя необходимо остановить его при обрыве или перегорании предохранителя. Если остановка двигателя невозможна, можно снизить нагрузку на него, настроив рабочий режим на менее нагруженный. Также важно проверить изоляцию двигателя и обеспечить его защиту от перегрузки, перегрева и повреждения. В результате этих мер можно предотвратить повреждение двигателя при работе в режиме двумя фазами.

Для предотвращения перегрузки и повреждения двигателя при работе в режиме двумя фазами необходимо снизить нагрузку на двигатель. Для этого можно использовать ряд мер:

1. Остановить двигатель. Если возможно, лучше остановить двигатель при обрыве фазы или перегорании предохранителя, чтобы не допустить его повреждения.

2. Снизить нагрузку на двигатель. Если остановка двигателя невозможна, нужно снизить нагрузку на него. Например, в случае работы насоса можно снизить расход жидкости или переключить на менее нагруженный режим.

3. Проверить изоляцию. При работе в режиме двумя фазами может происходить повреждение изоляции двигателя. Поэтому необходимо проверить изоляцию после восстановления электропитания.

4. Обеспечить защиту двигателя. Важно иметь защиту двигателя от перегрузки и перегрева. Это может быть защита по току, температуре или да-

влению жидкости в системе. Это поможет предотвратить повреждение двигателя в режиме двумя фазами.

Возникновение колебаний в энергосистеме связано с несоответствием в работе генераторов электростанций. Если происходит несколько коротких замыканий вблизи одного генератора, то его вектор электродвижущей силы начинает сильно отставать от вектора напряжения сети, что приводит к появлению колебаний напряжения и уравнительных токов в линии. Чем больше коротких замыканий происходит, тем сильнее возникновение качаний и меньше стабильности работы системы.

Чтобы предотвратить развитие аварийных ситуаций, быстрое решение заключается в использовании защитных реле, которые необходимы для отключения выключателей. Обычно главные и резервные системы защиты устанавливаются в системе электропитания. Ложное срабатывание может возникнуть, когда нет видимых нарушений целостности оборудования, а избыточное срабатывание может произойти, когда последствия внешних коротких замыканий распространяются. Чем быстрее защитное реле срабатывает, тем более эффективным оно считается. Синхронная работа генераторов и электродвигателей не должна быть нарушена. Точность защитного реле улучшает надежность автоматических устройств повторного включения (ARD) и автоматического переключения на резервный источник питания (ASB). Селективность также является важным критерием и гарантирует, что в случае автоматического отключения из-за короткого замыкания из эксплуатации будут выведены только поврежденные элементы системы электропитания. Обеспечение этого параметра в энергосистеме является приоритетным для дальнейшей работоспособности всей энергетики.

Список использованной литературы

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. — М. : Высшая школа, 2006. — 640 с.
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Егоров, Е. Н. Активные фильтры: учебное-методическое пособие / Е. Н. Егоров, А. А. Короновский, А. Е. Храмов. — Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2010. — 17 с.

4. Королев, Г. В. Электронные устройства автоматики: учеб. пособие / Г. В. Королев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1991. — 256 с.

5. Копьев, В. Н. Релейная защита основного электрооборудования электростанций и подстанций / В. Н. Копьев. — Томск : Изд. ТПУ, 1997. — 104 с.

УДК 621.311.161

Аушев Р. А., Антипин Д. П., Евдокимов А. А.
Сургутский государственный университет, г. Сургут

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПОДКЛЮЧЕНИЙ
НА СТАТИЧЕСКУЮ И ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ
ЭНЕРГОСИСТЕМ

г. Сургут

Аннотация. В данной работе рассмотрен обзор статей по тематике влияния промежуточных подключений на работу энергетических систем. Указано, что основные работы посвящены связи генераторных мощностей с энергосистемой для передачи по линиям 500 кВ и выше. Научно-исследовательских работ на низких и средних классах напряжения как таковых нет. Хотя в энергосистемах, в частности в ХМАО-Югре, появляются источники средней мощности, у которых есть промежуточная нагрузка и связь с общей энергосистемой. Поэтому целесообразно проведение таких исследований по передаче электроэнергии на напряжении 110 кВ и ниже для получения физико-технических условий по режимным параметрам таких схем и получения возможных дополнительных эффектов от их совместной работы.

Ключевые слова: *электропередачи, промежуточные подключения, статическая устойчивость, динамическая устойчивость.*

Aushev R. A., Antipin D. P., Evdokimov A. A.
Surgut State University, Surgut

IMPACT OF INTERMEDIATE CONNECTIONS ON STATIC AND DYNAMIC
STABILITY OF POWER SYSTEMS

Surgut

Abstract. This paper reviews articles on the impact of interconnections on power system operation. It is pointed out that the main works are devoted to

interconnection of generating capacities with the power system for transmission over lines of 500 kV and above. There is no research work on low and medium voltage classes as such. Although in power systems, in particular in Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, medium power sources with intermediate load and connection to the general power system are emerging. Therefore, it is advisable to conduct such studies on power transmission at 110 kV and below to obtain physical and technical conditions on the mode parameters of such schemes, and to obtain possible additional effects from their joint operation.

Key words: *Power transmissions, intermediate connections, static stability, dynamic stability.*

Влияние промежуточных подключений нагрузки на режимы работы, статическую и динамическую устойчивости стали изучать, как только появились магистральные дальние линии электропередач (ДЛЭП), по которым передаются большие мощности. Эти линии работают на высоком и сверхвысоком напряжении: 500–1150 кВ. Первые работы [1; 2] показали, что промежуточные соединения стабилизируют напряжение в точке подключения длинной линии электропередач и увеличивают максимальную передаваемую мощность в условиях статической стабильности. Также были построены зависимости предела мощности ДЛЭП от точки промежуточного подключения (для передающей и принимающей систем). Также исследования [3] показали, что статическая устойчивость системы повышается за счет подключения промежуточной нагрузки. При этом на динамическую устойчивость она оказывает меньшее влияние.

Рассмотрим, какое влияние наиболее распространенные подключения оказывают на пределы статической устойчивости. В то же время мы предполагаем, что они являются пассивными элементами в схеме замены простейшей одномашинной энергосистемы [4].

1. Влияние активной нагрузки

Предположим, что промежуточная нагрузка H (рис. 1.1, а), имеющая коэффициент мощности, равный 1, представлена в схеме замещения активным сопротивлением r (рис. 1.1, б). Для данной Т-образной схемы с элементами $Z_1 = jx_1$, $Z_2 = jx_2$, $Z_3 = r$, можно воспользоваться формулами 1.1–1.3 для определения обобщенных параметров:

$$Z_{11} = Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3}; \quad (1.1)$$

$$Z_{22} = Z_2 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_3}; \quad (1.2)$$

$$Z_{12} = Z_{21} = Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3}. \quad (1.3)$$

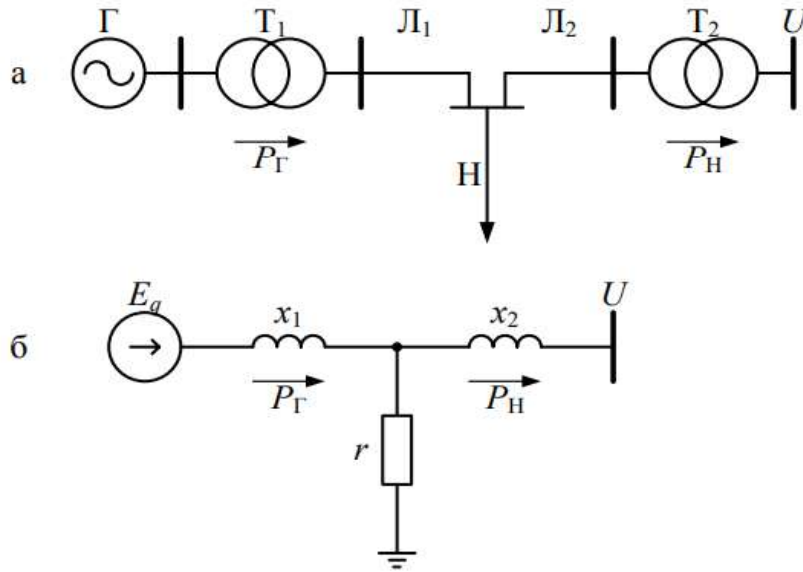


Рис. 1.1. Энергосистема с активной нагрузкой в промежуточной точке линии (а) и ее схема замещения (б)

Подставляя значения сопротивлений в формулы (1.1–1.3), получаем:

$$Z_{11} = jx_1 + \frac{jx_2 * r}{jx_2 + r} = z_{11} e^{j\psi_{11}}; \quad (1.4)$$

$$Z_{22} = jx_2 + \frac{jx_1 * r}{jx_1 + r} = z_{22} e^{j\psi_{22}}; \quad (1.5)$$

$$Z_{12} = Z_{21} = jx_1 + jx_2 + \frac{jx_1 + jx_2}{r} = j(x_1 + x_2) - \frac{x_1 * x_2}{r} = z_{12} e^{j\psi_{12}} \quad (1.6)$$

Для упрощенного анализа данных выражений вводятся дополняющие углы $\alpha_{11}, \alpha_{22}, \alpha_{12}$, дополняющие аргументы $\psi_{11}, \psi_{22}, \psi_{12}$ до 90° . При этом дополняющие углы определяются следующим образом: $\alpha_{11} = 90^\circ - \psi_{11} > 0$, $\alpha_{22} = 90^\circ - \psi_{22} > 0$. Аргумент ψ_{12} находится в интервале от 90° до 180° , так как вещественная составляющая $r_{12} = r_{21}$ сопротивлений Z_{12}, Z_{21} отрицательна. Таким образом, $\alpha_{12} = 90^\circ - \psi_{12} < 0$.

Угловые характеристики мощностей $P_{\Gamma}(\delta)$, $P_{\text{H}}(\delta)$ представлены на рис. 1.2. Эти характеристики построены в соответствии с равенствами:

$$P_{\Gamma} = P_{11} + P_{12\text{M}} \sin \sin (\delta - \alpha_{12}); \quad (1.7)$$

$$P_{\text{H}} = -P_{22} + P_{12\text{M}} \sin \sin (\delta + \alpha_{12}). \quad (1.8)$$

Также составлена характеристика режима работы, когда нагрузка отключена:

$$P_{\Gamma} = P_{\text{H}} = P_{\text{M}} \sin \sin \delta \quad (1.9)$$

В равенствах 1.7–1.9 P_{11} , P_{22} — собственные мощности со стороны генератора и приемной системы, $P_{12\text{M}}$ максимальная взаимная мощность генератора и приемной системы.

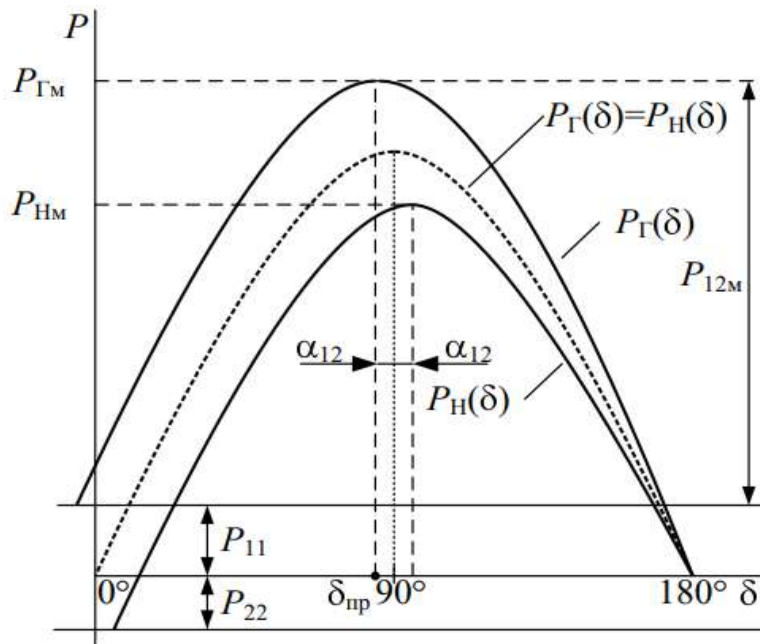


Рис. 1.2. Угловые характеристики мощностей $P_{\Gamma}(\delta)$, $P_{\text{H}}(\delta)$ при наличии активного сопротивления

Исходя из построенных угловых характеристик можно сделать вывод о том, что при подключении активной нагрузки к промежуточной точке ЛЭП максимум $P_{\text{ГМ}}$ угловой характеристики генератора $P_{\Gamma}(\delta)$ смещается влево на угол $\alpha_{12} < 0$ относительно 90° , а максимум $P_{\text{НМ}}$ характеристики $P_{\text{H}}(\delta)$ — вправо.

Если подключена активная нагрузка, происходит промежуточный отбор мощности $P_{\Gamma}(\delta)$, определяемый как $P_{\Gamma}(\delta) - P_{\text{H}}(\delta) = P_{\Gamma}(\delta)$. Такой отбор

приводит к увеличению максимальной статической устойчивости мощности генератора. Однако способов передачи мощности в принимающую систему становится меньше.

2. Влияние шунтирующего реактора (ШР)

В высоковольтных электрических сетях шунтирующие реакторы используются для компенсации избыточной реактивной мощности, генерируемой линиями электропередачи. В ЛЭП протяженностью более 300 км реакторы подключаются к конечным точкам наглухо или через переключатели. Это приводит к отсутствию перенапряжений при коммутационных переключениях.

В схеме замещения (рис. 2.1, б) одномашинной энергосистемы (рис. 2.1, а) шунтирующий реактор изображается как индуктивное сопротивление, что приводит к изменениям в значениях обобщенных параметров Z_{11} , Z_{22} , Z_{12} .

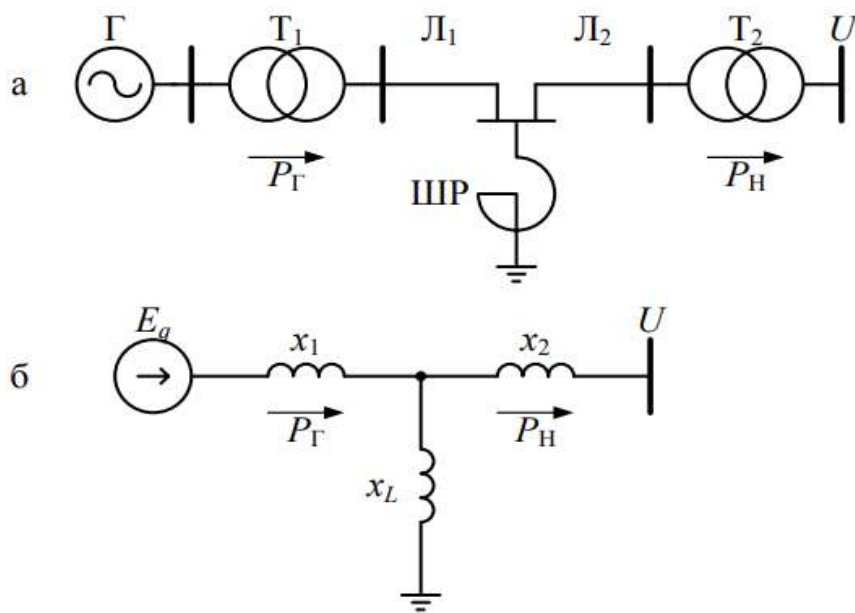


Рис. 2.1. Энергосистема с ШР в промежуточной точке ЛЭП (а) ее схема замещения (б)

При изучении влияния шунтирующего реактора на одномашинную энергосистему схемы замещения элементов считаются идеальными. В этом случае обобщенные параметры и начальное сопротивление для их расчета не имеют вещественных частей:

$$Z_1 = jx_1; Z_2 = jx_2; Z_3 = jx_L; \quad (2.1)$$

$$Z_{11} = jx_{11}; Z_{22} = jx_{22}; Z_{12} = jx_{12}; \quad (2.2)$$

Из чего следует, что дополняющие углы равны нулю. Характеристики $P_\Gamma(\delta)$, $P_H(\delta)$ совпадают и определяются по формуле:

$$P_\Gamma(\delta) = P_H(\delta) = P_M \sin \delta \quad (2.3)$$

Рассмотрим работу сети с отключенным и включенным шунтирующим реактором.

В случае, когда реактор отключен, взаимное сопротивление Z'_{12} и предел мощности P'_M могут рассчитываться по следующим формулам:

$$Z'_{12} = jx'_{12} = jx_1 + jx_2; \quad (2.4)$$

$$P'_M = \frac{E_q U}{x'_{12}}. \quad (2.5)$$

При включенном реакторе аналогичные параметры Z_{12} , P_M влияют на индуктивное сопротивление реактора x_L :

$$Z_{12} = jx_{12} = jx_1 + jx_2 + \frac{jx_1 * jx_2}{jx_L} = j(x'_{12} + \Delta x_L); \quad (2.6)$$

$$P_M = \frac{E_q U}{x_{12}}, \quad (2.7)$$

где $\Delta x_L = x_1 x_2 / x_L$.

Из построенных угловых характеристик (рис. 2.2) $P(\delta)$ и $P'(\delta)$ видно, что $x_{12} > x'_{12}$ и $P_M < P'_M$.

Таким образом, шунтирующий реактор, подключенный к промежуточной точке электрической сети, оказывает негативное влияние на статическую устойчивость одномашинной энергосистемы.

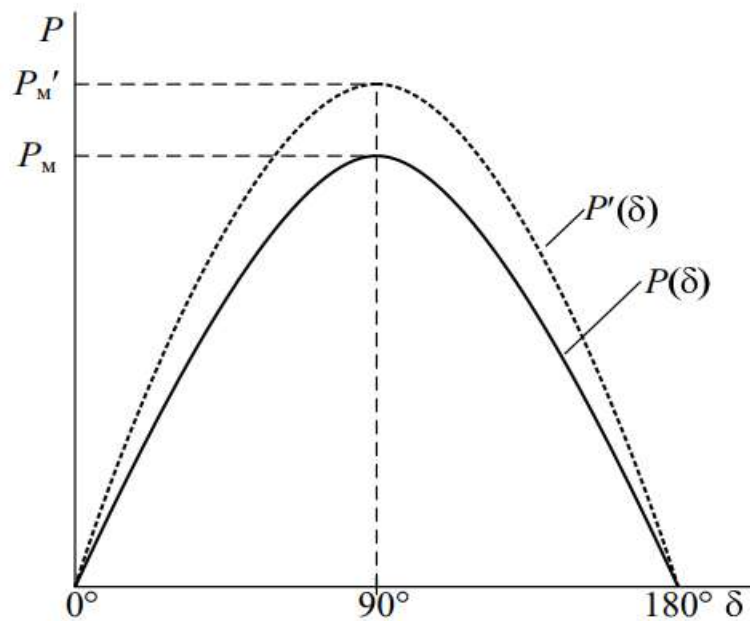


Рис. 2.2. Влияние $\cos \varphi$ на угловую характеристику мощности генератора

3. Влияние конденсаторной батареи (КБ)

Для поддержания номинальных значений напряжения при передаче больших потоков мощности к промежуточным точкам линий электропередач могут быть подключены конденсаторные батареи. Рассмотрим влияние таких подключений на статическую устойчивость сети в тех же условиях (рис. 3.1, а, б).

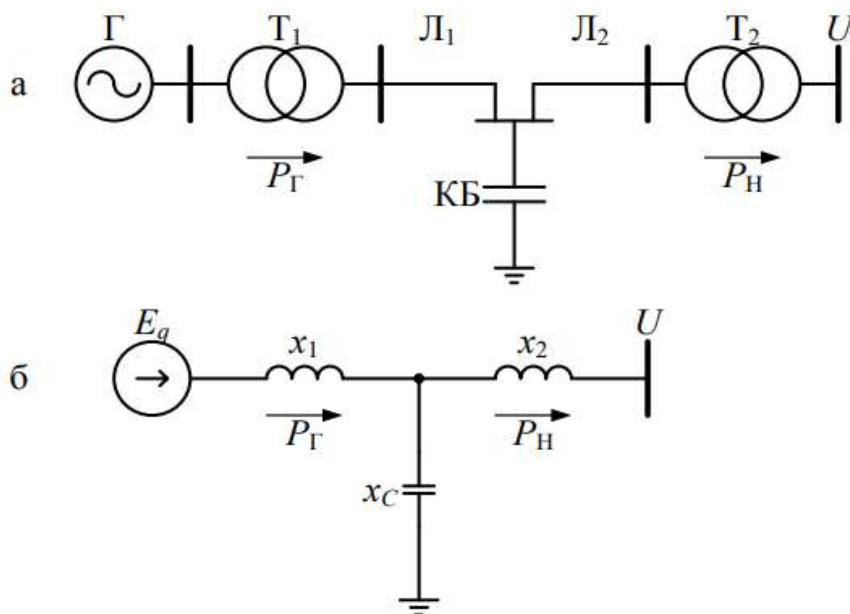


Рис. 3.1. Энергосистема с КБ в промежуточной точке ЛЭП (а) и ее схема замещения (б)

Конденсаторная батарея на схеме замещения представлена в виде элемента с отрицательным реактивным сопротивлением:

$$Z_3 = -jx_c \quad (3.1)$$

Как следствие, взаимное сопротивление и предел мощности рассчитываются по следующим выражениям:

$$Z_{12} = jx_{12} = jx_1 + jx_2 - \frac{jx_1 * jx_2}{jx_c} = j(x'_{12} - \Delta x_c); \quad (3.2)$$

$$P_M = \frac{E_q U}{x_{12}} = \frac{E_q U}{(x'_{12} - \Delta x_c)}, \quad (3.3)$$

где $\Delta x_c = \frac{x_1 x_2}{x_c} > 0$.

Эти соотношения показывают, что $x_{12} < x'_{12}, P_M > P'_M$ (рис 3.2). Из этого можно сделать вывод о том, что включенная в сеть конденсаторная батарея положительно сказывается на статической устойчивости энергосистемы.

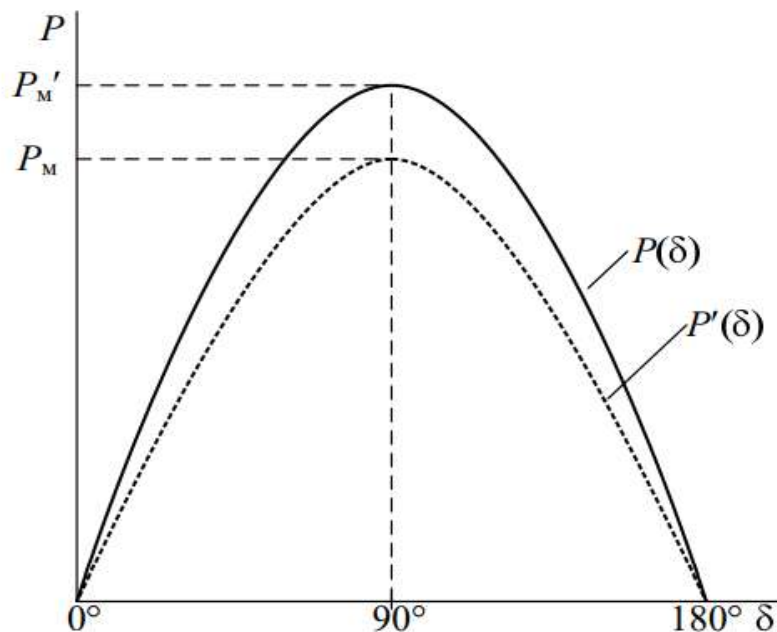


Рис. 3.2. Влияние КБ на угловую характеристику мощности генератора

С развитием устройств силовой электроники с середины 2000-х годов появилась возможность масштабного внедрения устройств и технологий на их основе (статкомы, СТК, управляемые шунтирующие реакторы, FACTS

устройства), что позволяет эффективней управлять режимными параметрами в промежуточных точках, что привело к появлению ряда статей [5; 6] по методике расчета параметров этих устройств. Также появилась возможность расчета в компьютерных программах параметров режимов для нескольких промежуточных подключений. Однако все выше изложенное, как было уже сказано, относится к сетям 500 кВ и выше. При этом в ХМАО-Югре нефтедобывающие компании используют свои собственные газотурбинные электростанции (ГТЭС), которые снабжают электроэнергией нефтегазовые месторождения по ЛЭП, соединенным с общей энергетической системой и работающим на классе напряжения 35 кВ. Для данной системы связи генераторов с общей системой никаких исследований по устойчивости работы режимов, пропускной способности с промежуточными подключениями, местной нагрузкой (местная нагрузка — нагрузка на напряжении генератора) не проводилось. Поэтому такие задачи являются новыми и вполне актуальными в связи с достаточно большим количеством ГТЭС нефтедобывающих компаний, соединенных с общей энергосистемой.

Список использованной литературы

1. Хрущев, Ю. В. Известия Томского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С. М. Кирова / Ю. В. Хрущев, В. И. Готман // Влияние регулирующих эффектов промежуточных электросистем на статическую устойчивость дальних электропередач. — 1969. Том 191. — С. 113–118.
2. Хрущев Ю. В., Готман В. И. Известия Томского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С. М. Кирова / Ю. В. Хрущев, В. И. Готман // Предельные режимы дальних электропередач переменного тока с промежуточными системами по условиям статической устойчивости. — 1972. Том 227. — С. 71–77.
3. Хрущев Ю. В., Готман В. И. Известия томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С. М. Кирова / Ю. В. Хрущев, В. И. Готман // Предельные режимы дальних электропередач переменного тока с промежуточными системами по условиям статической устойчивости. — 1972. Том 227. — С. 71–77.
4. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие / Ю. В. Хрущев, К. И. Заповодников,

А. Ю. Юшков; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 160 с.

5. Готман, В. И., Глазачев А. В., Бацева Н. Л. (2011) Продольная компенсация дальних электропередач с промежуточными системами // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prodolnaya-kompensatsiya-dalnih-elektroperedach-s-promezhutochnymi-sistemami>. (Дата обращения: 14.04.2023).

6. Готман В. И., Глазачев А. В., (2011) Методика расчета параметров компенсирующих устройств управляемых электропередач сверхвысокого напряжения с промежуточными системами // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-rascheta-parametrov-kompensiruyuschih-ustroystv-upravlyaemyh-elektroperedach-sverhvyssokogo-napryazheniya-s>. (Дата обращения: 14.04.2023).

УДК 621.311

Алгасанов Д. М.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ ОПОР

г. Сургут

Аннотация. Высоковольтная линия электропередачи является сложным конструктивным сооружением, состоящим из конструкций опор, соединенных проводами и тросами. В данной статье рассматривается перспектива использования современных технологий в проектировании воздушных линий, в частности применение композитных опор.

Ключевые слова: *композитные опоры, воздушные линии электропередач.*

Algasanov D. M.

Surgut State University, Surgut

DESIGN OF OVERHEAD POWER LINES USING COMPOSITE SUPPORTS

Surgut

Abstract. A high-voltage power line is a complex structural structure, operating like a spatial network system, consisting of support structures connected by wires and cables. This article discusses the prospect of using modern technologies in the design of overhead lines, in particular the use of composite supports.

Key words: *composite poles, overhead power lines.*

Высоковольтная линия электропередачи (ЛЭП) является сложным конструктивным сооружением, состоящим из конструкций опор, соединенных проводами и тросами. Для проектирования ЛЭП необходимо учитывать напряжение и передаваемую мощность воздушной линии. По этим данным определяют сечение и вид провода, а далее рассчитываются вес проводника,

длины анкерных и промежуточных пролетов, а также виды и размеры опор. Не стоит забывать, что вид опоры также зависит от количества параллельных цепей линии, которые запланированы на участке ЛЭП, от наличия отпаяк и т. д.

Сооружение воздушных линий производится в районах с различными климатическими условиями. Основными климатическими факторами, определяющими механические нагрузки на опоры линий, являются ветер и гололед. Ветровые и гололедные районы можно определить по специальной карте, представленной в Правилах устройства электроустановок [6].

В процессе развития линий электропередачи утвердились три вида опор по материалу, из которого они изготавливаются. Виды опор и их преимущества и недостатки представлены в таблице 1 [4]. В настоящее время все большую популярность набирают опоры ЛЭП из композитных материалов. Производятся опоры на основе стекловолокна и полиэфирных смол методом центрифугирования, что обеспечивает высокий уровень качества конечного изделия. Подобный выбор материала обусловлен тем, что опоры из стеклопластика в сравнении с традиционными опорами из дерева, металла и железобетона обладают более высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Стойка опоры представляет собой полую конструкцию, толщина стенки при этом составляет 10–25 мм в зависимости от назначения опоры и ее номинального напряжения. Траверсы также изготавливаются из стеклопластика. Габариты деталей не превышают в длину 6 метров, что обеспечивает возможность транспортировки на платформе грузового автомобиля.

Таблица 1. — Основные виды опор, их преимущества и недостатки

Вид опоры	Преимущества	Недостатки
Деревянная	Малая стоимость Простота и безопасность обслуживания Экологичный материал Простота утилизации Возможность перевозки большого количества опор за один рейс	Подверженность биологическому разрушению и огню Низкая прочность Срок эксплуатации при благоприятных условиях — 15–20 лет

Железобетонная	<p>Выдерживают большие механические нагрузки</p> <p>Пожаростойкость</p> <p>Долговечность (40–60 лет)</p> <p>Низкие эксплуатационные затраты</p>	<p>Массивность конструкции</p> <p>Сложность монтажа и транспортировки</p> <p>Эффект «домино»</p> <p>Сложность демонтажа и утилизации</p>
Металлическая	<p>Высокая прочность</p> <p>Небольшая масса</p> <p>Возможность сооружения линий электропередач любой высоты</p>	<p>Высокая стоимость</p> <p>Низкая коррозионная стойкость</p> <p>Сложность монтажа</p>

В настоящее время освоено производство композитных промежуточных (одноцепные и двухцепные), анкерных (одноцепные и двухцепные) и анкерно-угловых (одноцепные и двухцепные) опор для воздушных линий классом напряжения 6–20 кВ, а также промежуточных одноцепных и двухцепных для линий классом напряжения до 220 кВ включительно. Широкое применение композитных опор возможно в городских электрических сетях и сетях промышленных предприятий. Схема стойки композитной опоры на 220 кВ, представлены на рис. 1 [3, 4, 5].

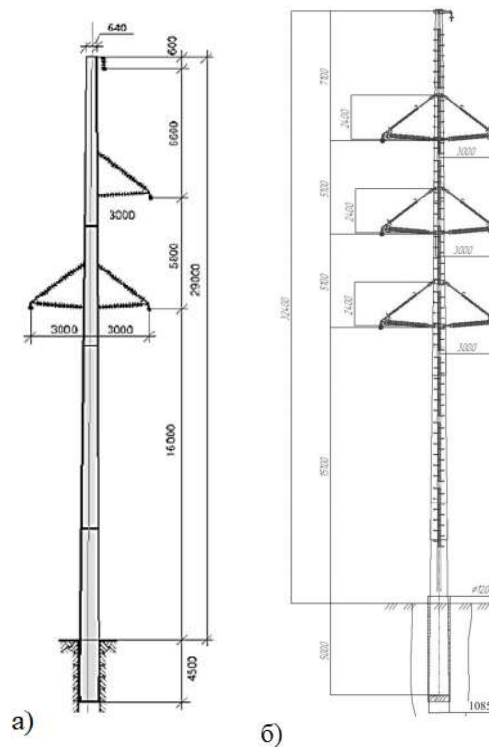


Рис. 1. Схема стойки композитной опоры ЛЭП на 220 кВ: а) одноцепная; б) двухцепная

На рис. 2 показана конструкция изолирующей траверсы для опор класса напряжения 110 и 220 кВ. Конструктивно траверса состоит из композитно-полимерного изолятора, тяги подвески, линейной арматуры и крепежа. Шарнирный кронштейн нужен для защиты опоры в случае обрыва провода в пролете. При этом тяжение провода вызывает избыточную нагрузку на траверсу, но наличие подвижного крепления нивелирует этот момент.

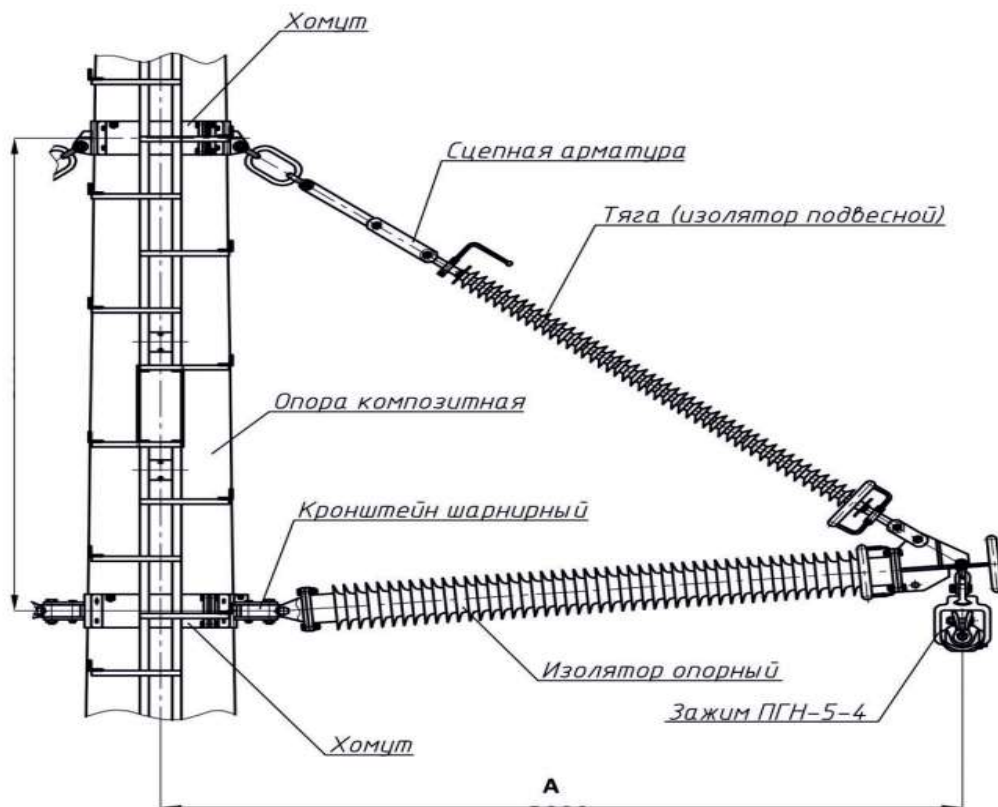


Рис. 2. Изолирующая траверса для композитных опор

В ходе анализа были выявлены следующие преимущества использования композитных опор:

1. *Вес.* Композитные опоры обладают малым весом по сравнению с теми же деревянными и тем более железобетонными и стальными опорами. Это в значительной мере облегчает их транспортировку и доставку, особенно в условиях труднодоступной местности.

2. *Компактность.* Данный вид опор очень легок в сборке и транспортировке благодаря тому, что комплектующие опоры складываются, подобно матрешке. Модульная конструкция позволяет обойтись без длинномерного транспорта, также обеспечивается простота и довольно высокая скорость монтажа.

3. *Устойчивость к внешним воздействиям.* Материал, из которого изготавливаются опоры, является стойким по отношению к агрессивным средам и тяжелым климатическим условиям. Стеклопластиковые опоры можно устанавливать на любом виде грунта, что увеличивает географию их применения. Стоит упомянуть и то, что рассматриваемый вид опор устойчив к высоким механическим нагрузкам, а срок эксплуатации/службы превышает 70 лет.

4. *Низкая стоимость обслуживания.* В ходе эксплуатации композитные опоры не требуют дополнительного ухода, обработки поверхности, защиты от коррозии и т. д.

5. *Экологичность.* Материал, из которого состоят опоры, является экологичным и не выделяет опасных веществ в окружающую среду.

6. *Безопасность.* Предполагается, что энергию удара при столкновении примет на себя именно опора, а не транспорт и находящиеся в нем пассажиры, в отличие от деревянных и железобетонных опор.

7. *Диэлектрические свойства.* Элементы композитных опор (траверсы и стойка) могут быть использованы в качестве изолирующих конструкций при изготовлении опор до 20 кВ, что снижает затраты за счет отказа от линейных изоляторов [1, 3, 5].

Из недостатков опор рассматриваемого вида являются следующие:

1. *Цена.* Главный и основной недостаток композитных опор — это относительно высокая стоимость самих опор.

2. *Эластичность.* Для высоких опор линий электропередач высокая эластичность расценивается как недостаток. Но при этом опора не разрушается даже при значительных боковых усилиях, что в целом сокращает повреждаемость линий.

3. *Опыт.* На данный момент мало опыта в строительстве и эксплуатации данного вида опор.

4. *Материал,* из которого изготавливаются опоры, подвержен воздействию ультрафиолетового излучения и не является огнестойким, что требует использования дополнительных мер по защите [1].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение композитных опор целесообразно в условиях труднодоступной местности, неблагоприятных грунтов, при наличии агрессивной окружающей среды. Их использование целесообразно как при строительстве новых линейных

объектов, так и при реконструкции действующих. Их установка менее трудозатратна, не требует значительных средств механизации.

Кроме того, существуют модификации композитных опор временной установки для устранения аварий на линиях и создания временных схем транспорта электрической энергии. Их применение обеспечит высокую скорость устранения аварии, а также позволит снизить затраты на ее устранение, благодаря своим габаритам и весу. На выезд для устранения аварии и монтажа опоры достаточно бригады, состоящей из нескольких человек.

Список использованной литературы

1. Балясова, Д. А. Опоры воздушных линий из композитных материалов / Д. А. Балясова, Н. В. Голубь, О. В. Клевакина // Сборник статей участников XXI Областного конкурса научно-исследовательских работ «Научный Олимп» по направлению «Технические науки». — 2018. — С. 143–148.

2. ООО «ГК «СЭТ» // Описание продукции компании ГК СЭТ // Опоры ЛЭП. — URL: <https://uralseti.ru/metallicheskie-opori-lep/#:~:text=Деревянные%20опоры%20ЛЭП,-Деревянные%20опоры%20обладают&text=Они%20мало%20весят%20С%20дешево%20стоят,нагрузками%20на%20кручение%20и%20изгиб.> (Дата обращения: 13.04.2023)

3. ООО «Электромаш» // Композитные опоры для высоковольтных линий электропередач. — URL: <http://hiline.electromash-nsk.ru/>. (Дата обращения: 10.04.2023)

4. Феникс-88 // Каталог композитных опор 2016. — URL: http://fenix88.com/documents/ol_doc/kompozitnie-opori-2016.pdf. (Дата обращения: 13.04.2023)

5. Бочаров, Ю. Н. Компактные изолирующие опоры с изолирующими стойками для высоковольтных воздушных линий / Ю. Н. Бочаров, В. В. Жук, А. И. Пыльнева // Глобальная энергия: научно-технические ведомости СПбПУ . — 2014.

6. Правила устройства электроустановок // Канализация электроэнергии // Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ. Издание 7.

УДК 621

Абдуллина А. И.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ

г. Сургут

Аннотация. На основании анализа разработки и использования в промышленности цифровых двойников силовых трансформаторов была выявлена проблема современных отечественных технологий. В данной статье рассматриваются методы мониторинга цифровых двойников трансформатора и создание имитационной модели.

Ключевые слова: цифровой двойник, силовой трансформатор, мониторинг, имитационная модель.

Abdullina A. I.

Surgut State University, Surgut

ANALYSIS OF THE PROBLEM OF DEVELOPMENT AND USE OF DIGITAL
COUNTERPARTS OF POWER TRANSFORMERS IN THE INDUSTRY

Surgut

Abstract. Based on the analysis of the development and use of digital counterparts of power transformers in the industry, the problems of modern domestic technologies were identified. This article discusses the methods of monitoring digital transformer twins and the creation of a simulation model.

Keywords: digital twin, power transformer, monitoring, simulation model.

В настоящее время в мире активно развивается новая концепция промышленности Industry 4.0, инициированная четвертой промышленной рево-

люцией. Данная концепция предполагает широкое использование компьютерных технологий как для сбора и анализа больших массивов информации, так и для создания виртуальных прототипов технической продукции, позволяющих исследовать производимые и эксплуатируемые устройства на всех этапах их жизненного цикла, повышая тем самым их надежность.

Поэтому в России в 2014 году была разработана перспективная программа, получившая название Национальной технологической инициативы (НТИ), в соответствии с которой к приоритетным направлениям государственной политики России была отнесена цифровизация экономики, одним из путей реализации которой является создание цифровых двойников (ЦД) технических систем [1].

Общие положения разработки и применения цифровых двойников изделий регламентирует ГОСТ Р 57700.37-2021, согласно которому применение ЦД изделий в промышленности является развитием парадигмы компьютерного моделирования и цифрового инжиниринга изделий. Под ЦД здесь понимается некая новая сущность, в которой объединяются различные математические и компьютерные модели, позволяя всесторонне описать изделие и системно подойти к его разработке, производству и эксплуатации. При этом особо подчеркивается необходимость наличия двусторонней информационной связи данных моделей с реальным устройством [2].

В соответствии с этим в моей работе под ЦД технического устройства (системы) рассматривается математическая модель. Такой ЦД может выступать как в качестве цифрового прототипа устройства (трансформатора), который может быть использован на стадии проектирования, так и в качестве цифрового двойника, использование которого предполагается на стадии эксплуатации.

В основе комплекта ПО ANSYS входит модуль Twin Builder, служащий платформой для работы с ЦД трансформатора. Данный модуль объединяет мультифизические и системные модели в общую среду. В данном ЦД имеются виртуальные датчики для получения интересующей нас информации. Соединение ЦД с измерительным оборудованием будет осуществляться посредством платформы промышленного интернета вещей (IoT). Работа модуля Twin Builder оптимизирует срок эксплуатации изделия, снижает страховые и гарантийные траты, организует мультифизические симуляции.

Рассматривая данную систему, выявили в качестве главного недостатка привязку технологии ЦД к конкретной инструментальной платформе, потому что является весьма дорогостоящей и нет замены, так как может находиться под санкциями. Поэтому в РФ данная платформа пока находит ограниченное применение, как правило, в рамках корпораций, что противоречит линии государства на импортозамещение. Таким образом, считаем, что актуальной является проблема создания аналогичных отечественных решений.

Особенно активно технология ЦД развивается сегодня в энергетике. К примеру, в 2018 г. ФСК ЕЭС анонсировали внедрение цифрового проектирования систем управления подстанциями с использованием типовых решений и перспективой создания ЦД. Компания General Electric создала ЦД, который является основой цифровой электростанции Digital Power Plant. ПО Digital Power Plant позволяет собирать данные с оборудования General Electric. По данным General Electric, модель ЦД сама убеждает покупателя в целесообразности покупки оборудования на основе расчета различных ситуаций, оптимизации и виртуальных испытаний [3].

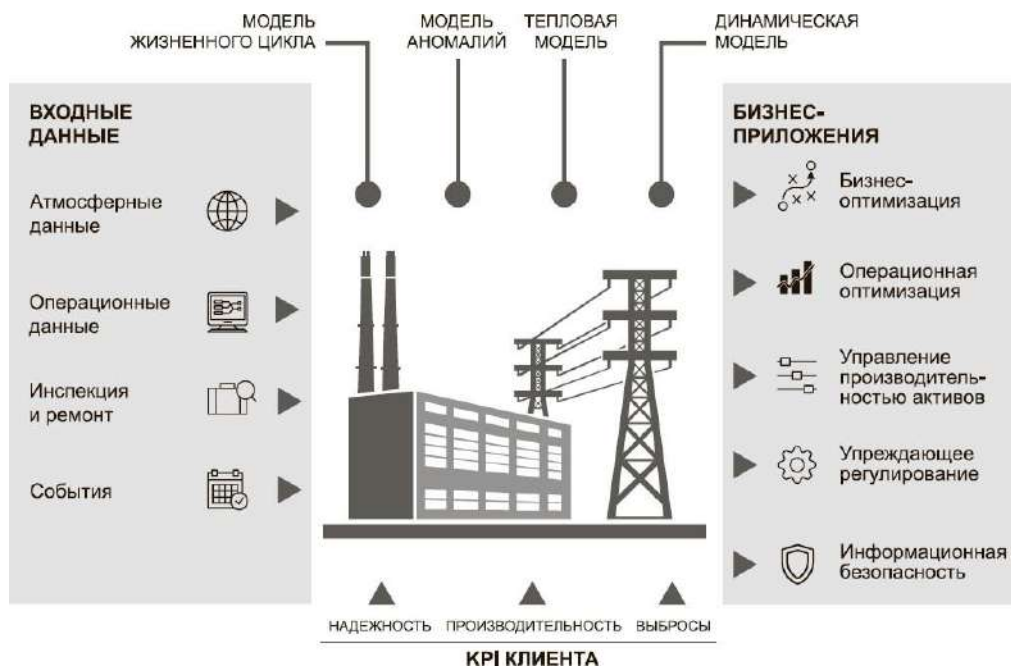


Рис. 1. Цифровой двойник от компании General Electric

Достоинства появления ЦД на цифровой электростанции или подстанции: снижает внеплановые простои, позволяет упорядочить производство,

дает возможность управлять параметрами эксплуатации, способствует разработке более продуманных стратегий технического обслуживания. Кроме того, использование ЦД в энергетике позволяет быстро реагировать на меняющийся рынок, цены на топливо и погодные условия.

Учитывая важность для энергетики такого устройства, как силовой трансформатор (СТ), можно отметить актуальность проблемы создания ЦД СТ, что мы и рассматриваем в нашей работе. Ввиду широкого использования трансформаторного оборудования во всех областях экономики и в быту, можно утверждать, что актуальной является проблема создания ЦД не только СТ, но и трансформаторов малой мощности, преобразовательных, печных, сварочных и прочих специальных трансформаторов.

Можно отметить основные требования к цифровым двойникам:

1. Наличие системы ЦД, содержащей оценку; экспертиза, модели, критерии и информационные параметры объекта.
2. Наличие структурной и геометрической модели трансформатора.
3. Наличие информации о технологических процессах изготовления и сборки трансформатора.
4. Сбор-передача, обработка данных, необходимых для работы цифровых двойников.
5. Отображение протекающих процессов в режиме реального времени.
6. Реализация имитационных экспериментов.
7. Нахождение критических зон оборудования.
8. Вывод информации, необходимой для принятия решений, полученной на основе диагностики и моделирования.

В работе рассматриваются два подхода:

- 1) Мониторинг — рассматриваем, что в основе цифровых двойников трансформаторов, состояние электроустановок;
- 2) Создание имитационной модели электроустановки;

Самым перспективным путем является комбинация двух названных подходов, что говорит о том, что в области создания цифровых двойников силовых трансформаторов можно выделить три актуальных направления:

- 1) Создание алгоритма для автоматического сбора и обработки информации о работе реальных СТ;

2) Создание имитационного моделирования силовых трансформаторов, способствующих рассчитать изменение величин во времени, определяющих работу в различных режимах;

3) Создание диагностических моделей, которые позволят прогнозировать выход из строя оборудования на основе обработки информации о его текущем состоянии.

В результате анализа к цифровому двойнику силового трансформатора можно отнести компьютерную систему, которая позволяет имитировать его работу в разных режимах, в том числе аварийных и переходных, с высокой степенью совпадения результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов (высокой считается точность, обеспечивающая совпадение результатов на 95%).

Список использованной литературы

1. Национальная технологическая инициатива (2035 NEW) // Систематический обзор научной литературы на основе анализа данных и тематического моделирования по цифровым двойникам URL: <https://news2035.ru/news/sistematicheskij-obzor-nauchnoj-literatury-na-osnove-analiza-dannyh-i-tematicheskogo-modelirovaniya-po-cifrovym-dvojniam/> (Дата обращения: 14.04.2023)

2. ГОСТ Р 57700.37-2021 // Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения

3. Подобный, А. В. Методика создания цифровых двойников трансформатора на основе корректируемых по результатам эксперимента имитационных моделей / А. В. Подобный. — URL: http://ispu.ru/files/Dissertaciya_Podobnyu_A.V..pdf (Дата обращения: 14.04.2023)

УДК 621.316.3

*Бигун А. Я.¹, Владимиров Л. В.¹, Кочергина М. С.¹,
Дроздова Ю. Е.², Таран В. С.²*

¹Сургутский государственный университет

²Омский государственный технический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ НЕСТАЦИОНАРНЫХ
ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ИЗОЛИРОВАННЫХ
И НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

г. Сургут

Аннотация. Рост производства продукции предприятиями приводит к росту потребляемой электрической энергии. Соответственно растет нагрузка на электрические сети, пропускная способность которых ограниченная. Поэтому встает вопрос более эффективного их использования. Для этого применяют методы, базирующиеся на решении уравнения теплового баланса при нестационарных тепловых режимах работы воздушных линий. Данные методы требуют верификации. Для этого необходимы экспериментальные исследования. В работе приведено описание экспериментальной установки. Установка позволяет провести экспериментальные исследования влияния климатических факторов на нагрев провода, а также выявить особенности нагрева и охлаждения поврежденных проводов и ремонтных соединений.

Ключевые слова: температура, провод, нестационарный тепловой режим, нагрев.

***Bigun A. Ya.¹, Vladimirov L. V.¹, Kochergina M. S.¹,
Drozdova I.U. E.², Taran V. S.²***

¹Surgut State University

²Omsk State Technical University

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR THE STUDY
OF NON-STATIONARY THERMAL CONDITIONS OF INSULATED
AND NON-INSULATED OVERHEAD LINE WIRES

Surgut

Abstract. The growth of production by enterprises leads to an increase in the consumption of electric energy. Accordingly, the load on electric networks, whose capacity is limited, is growing. Therefore, the question arises of using them more effectively. To do this, methods based on solving the heat balance equation for non-stationary thermal modes of operation of overhead lines are used. These methods require verification. This requires experimental research. The paper describes the experimental setup. The installation allows you to conduct experimental studies of the influence of climatic factors on the heating of the wire, as well as to identify the features of heating and cooling damaged wires and repair connections.

Keywords: *temperature, wire, non-stationary thermal mode, heating.*

В современном мире наблюдается быстрое развитие техники и технологии, что в свою очередь приводит к увеличению производительности труда человека. В ту же самую очередь растет потребление электрической энергии. Потребление электроэнергии в 2022 году составило 1 106,3 млрд кВт·ч [5]. С ростом потребления растет объем выработки и передачи энергии. Как известно, передача энергии осуществляется по проводам воздушных линий. На данный момент сетевое хозяйство ЕЭС России насчитывает более 13 тыс. линий электропередачи класса напряжения 110–750 кВ общей протяженностью более 490 тыс. км, а общая протяженность электрических сетей напряжением 0,4–110 кВ городских и сельских территорий превышает 3,2 млн км, в том числе воздушные (ВЛ) и кабельные (КЛ) линии напряжением 3–35 кВ примерно 1,56 млн км [3]. Исходя

из приведенной длины линий, можно сделать вывод, что большая часть нагрузочных потерь электрической энергии приходится на них, а также с ростом потребления возникает проблема ограниченности пропускной способности.

Для увеличения пропускной способности используют как стандартные средства (компенсация реактивной мощности, замена существующих проводов на большие сечения, замена проводов на высокотемпературные провода повышенной способности и т. д.), так и методы, базирующиеся на программной и организационной базе. Наиболее интересным и перспективным является второй вариант, так как он не требует замены существующих линий. Повышение эффективности эксплуатации линий достигается путем учета теплового поведения проводов [1].

Учет тепловых процессов производится несколькими способами. Первый из них базируется на непосредственном контроле температуры устройствами, располагающимися непосредственно на проводе [4], на косвенном контроле температуры, таком как измерение линейной длины провода в пролете, и дальнейшем пересчете на температуры. Вторым методом базируется на решении уравнения теплового баланса проводов воздушной линии электропередачи [1, 2]. Для того чтобы решить данные уравнения, требуется подготовить достаточно много исходных данных. Решение осуществляется как итерационными, так и аналитическими методами [2]. Уравнения теплового баланса записываются для стационарного и нестационарного режима. Стационарный тепловой режим на практике практически не встречается, так как имеет место быть непрерывное изменение погодных параметров и нагрузки, в связи с чем наибольший интерес представляют методы повышения пропускной способности, базирующиеся на применении уравнения теплового баланса в нестационарном (динамическом) тепловом режиме работы проводов воздушных линий [1, 2, 6]. Для верификации разработанных методов необходимо проводить экспериментальные исследования. В статье представлено описание экспериментального стенда, который позволяет изменять ток через провод (образец провода), скорость и направление ветра, температуру окружающей среды.

На рис. 1 изображен общий вид экспериментальной установки по нагреву проводов воздушных линий.

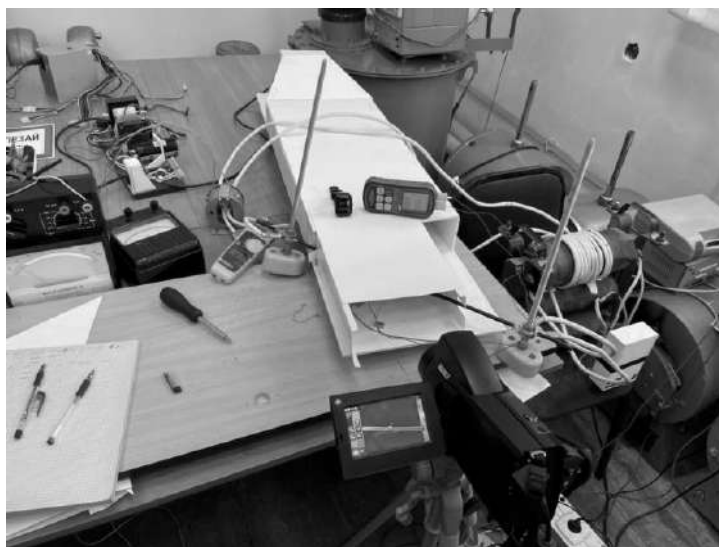
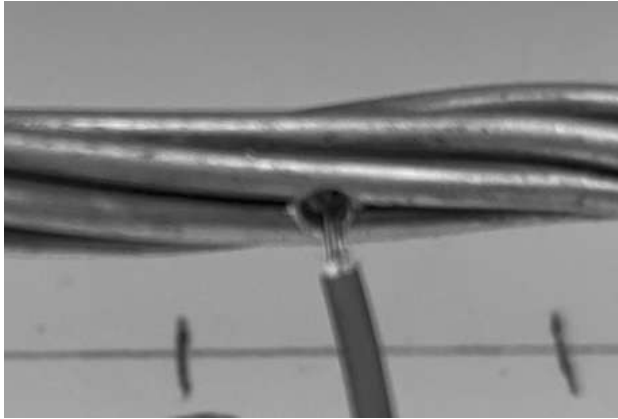


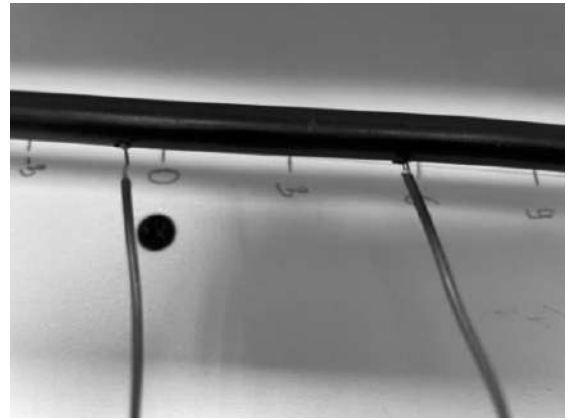
Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

В данном случае основным элементом конструкции является силовой трансформатор, который изначально являлся трехфазным, напряжением 220/110 В. В ходе его доработки он был преобразован в трансформатор 220/8 В. Вторичная обмотка была намотана двумя одножильными многопроволочными проводами сечением 35 мм². Для измерения токов использовались прибор Metrel MI 3102 НВТ и клещи электроизмерительные Metrel, позволяющие производить измерения тока при помощи токовых клещей. Регулирование тока и напряжения производилось путем подключенного лабораторного автотрансформатора. Для контроля температуры использовался электронный измеритель температуры Мегеон 16312, особенностью которого является наличие двух каналов для измерения температуры, а также тепловизор Testo 890. К каналам измерителя были подключены датчики температуры (термопары К-типа). Один из датчиков располагался на алюминиевой части провода, а второй в зависимости от проводимого эксперимента производил измерения температуры окружающей среды (при эксперименте с неизолированным проводом) или температуры изоляции (при эксперименте с изолированными проводами). При исследовании неизолированного провода датчик температуры помещался внутрь самого провода на глубину не более 1 мм (рис. 2). При контроле температуры изолированного провода оба термодатчика размещались на проводе: первый датчик помещался непосредственно в изоляцию, это осуществлялось путем засверливания на глубину не более 0,5 мм., а второй датчик располагался на токоведущей

части, путем просверливания изоляции и углубления в алюминий на глубину не более 0,5 мм.



а)



б)

Рис. 2. Способ установки термопары в проводе: а) провод марки А; б) провод марки СИП

Для создания воздушного потока, направленного под разными углами, использовалась аэродинамическая труба, общий вид которой представлен на рис. 3 а. В аэродинамической трубе использовался двигатель постоянного тока с крыльчаткой (рис. 3 б), такое сочетание позволило добиться скорости потока в 7 м/с при максимальных оборотах двигателя. Схема управления двигателя приведена на рис. 4.



а)



б)

Рис. 3. Аэродинамическая труба: а) общий вид; б) двигатель и крыльчатка

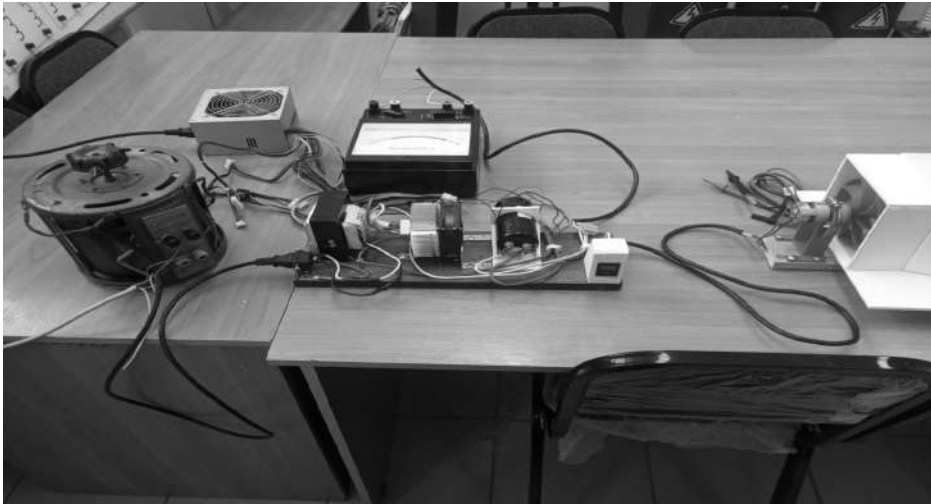


Рис. 4. Блок управления скоростью потока в аэродинамической трубе

Скорость в аэродинамической трубе измерялась анемометром Testo 425, так как его чувствительность составляет 0,1 м/с. В результате измерений скорости потока в поперечном сечении аэродинамической трубы, в месте расположения провода, получили картину относительно равномерного распределения скорости потока по сечению (рис. 5). Этого получилось достичь путем увеличения длины аэродинамической трубы до трех ее диаметров и установкой рассекателей потока на расстоянии 100 мм от крыльчатки, что дало более хорошее распределение ветра по сечению и ламинаризацию потока на коце.

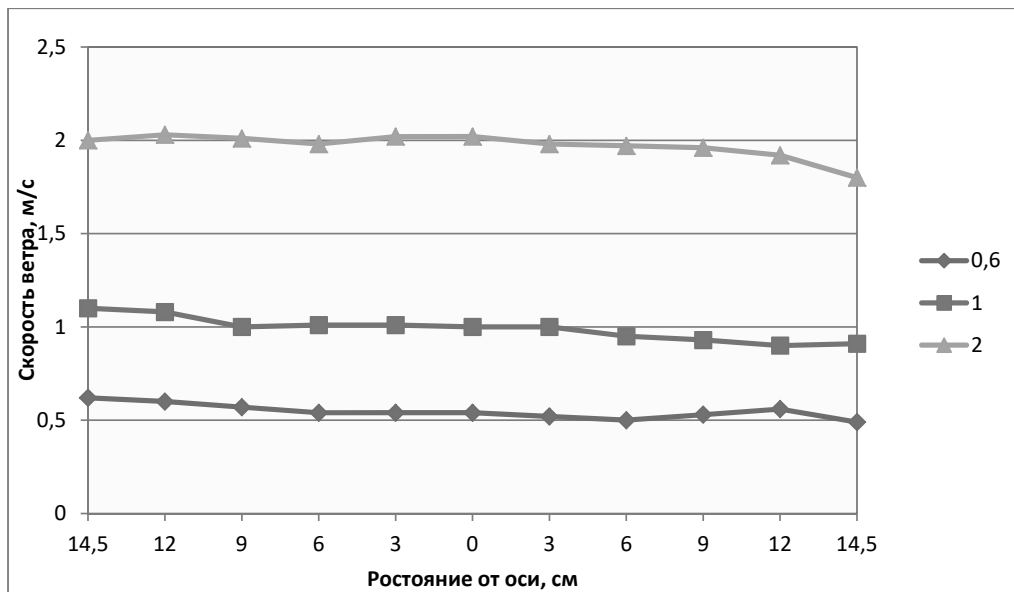


Рис. 5. Скорость ветра в месте расположения провода в аэродинамической трубе

Используя данный стенд, авторы произвели исследования по нагреву провода при ступенчатом изменении тока, при изменении направлении и скорости ветра (рис. 1), а также влияние смачивания провода на температуру провода (рис. 6 а, б). Проведены исследования изменения температуры провода при повреждении проволок (имитация уменьшения сечения в результате износа и аварий) в структуре провода (рис. 7), а также установлено, как ведут себя с точки нагрева ремонтные скрутки (рис. 8 а, б).

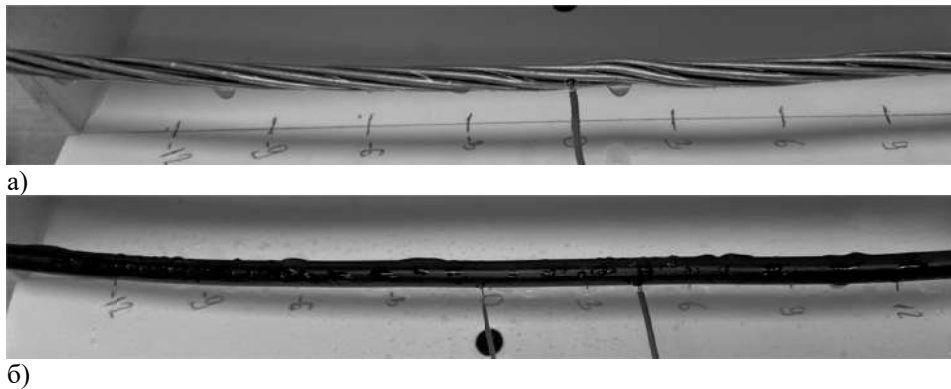


Рис. 6. Смачивание провода: а) провод марки А; б) провода СИП

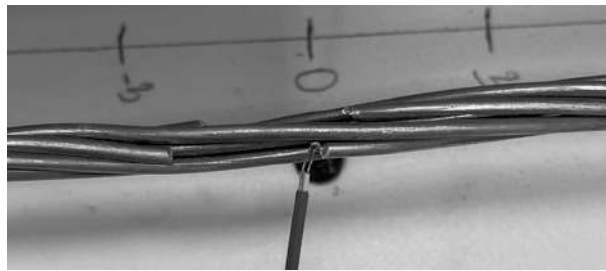


Рис. 7. Имитация повреждения провода

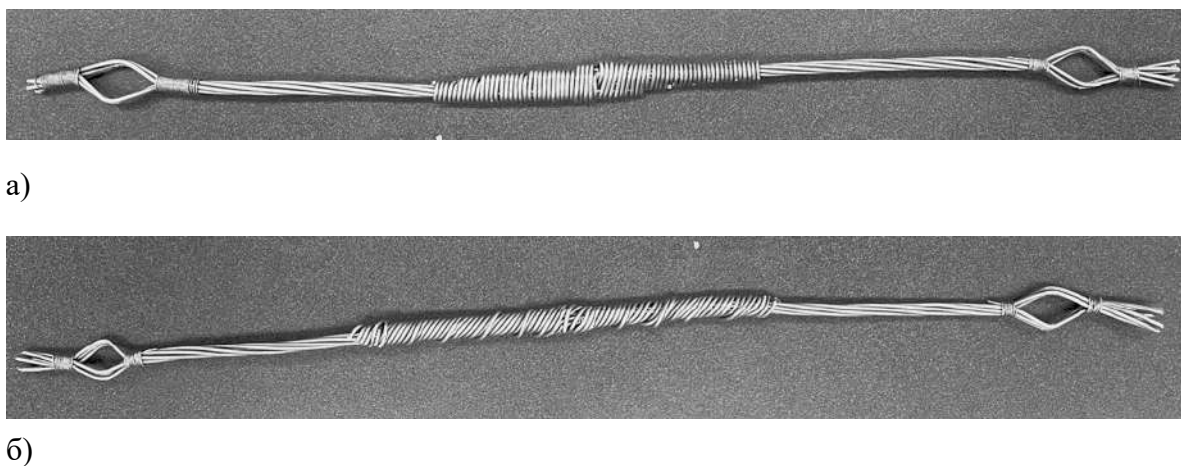


Рис. 8. Скрутка: а) комбинированная; б) «ёлочка»

Разработанная установка позволяет исследовать нестационарные тепловые режимы проводов в нормальном режиме, в аварийном (поврежденном более 25% от сечения) состоянии, а также и после произведенного ремонта. Эти исследования дают достоверные данные, позволяющие верифицировать математические модели, базирующиеся на решении уравнения теплового баланса, позволят выявить особенности нагрева поврежденных проводов при различных климатических факторах, что даст возможность более эффективно использовать беспилотные летательные аппараты при обследовании линий.

Список использованной литературы

1. Бигун, А. Я. Влияние режимных и климатических факторов на потери энергии при нестационарных тепловых режимах линий электропередачи / А. Я. Бигун, О. А. Сидоров, Д. С. Осипов, С. С. Гиршин, В. Н. Горюнов, Е. В. Петрова // Динамика систем, механизмов и машин. — 2017. — Т. 5. — № 3. — С. 8–17.

2. Гиршин, С. С. Расчет нестационарных температурных режимов воздушных линий электропередачи с учетом нелинейности процессов теплообмена / С. С. Гришин, В. Н. Горюнов, А. Я. Бигун // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5. — С. 287.

3. Единая энергетическая система России // Системный оператор Единой энергетикой системы: [сайт]. — URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/ees/ups2022/> (Дата обращения: 22.03.2023).

4. Отечественные устройства контроля параметров воздушных линий электроэнергетических систем / А. Я. Бигун, Е. П. Жиленко, Е. В. Петрова [и др.] // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность. — 2019. — № 1. — С. 37–40. — DOI 10.25206/2310-4597-2019-1-37-40.

5. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2022 году // Системный оператор Единой энергетикой системы: [сайт]. — <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-disc/tech-disc2023/otchet-o-funkcionirovanii-eehs/> (Дата обращения: 22.03.2023).

6. Girshin, S. S. Analysis of dynamic thermal rating of overhead power lines in the conditions of forced convection considering non-linearity of heat transfer processes / S. S. Girshin, A. Y. Bigun, E. V. Petrova // 2016 2nd International

Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 — Proceedings, Chelyabinsk, 19–20 мая 2016 года. — Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. — P. 7911434. — DOI 10.1109/ICIEAM.2016.7911434.

УДК 621.31

Марчук А. С., Никитин К. И.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО
НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОМЕХИ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье поднимается вопрос важности устранения несимметрий напряжения в системе электроснабжения и их влияние на появление электромагнитных помех. Рассматривается также оборудование, которое может быть источником электромагнитных помех, и предлагаются решения для минимизации их воздействия на систему электроснабжения.

Ключевые слова: несимметрии напряжения, показатели качества электрической энергии, электромагнитные помехи, несинусоидальность.

Marchuk A. S., Nikitin K. I.

Surgut State University, Surgut

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VOLTAGE ASYMMETRY OF MEDIUM
VOLTAGE NETWORKS ON ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE

Abstract. This article raises the issue of the importance of the lack of high voltage in connection with the power supply and their impact on the occurrence of electromagnetic interference. Equipment that can be a source of electromagnetic interference is also considered, and solutions are investigated to minimize their impact on the power supply system.

Keywords: voltage asymmetries, electrical energy quality indicators, electromagnetic interference, non-sinusoidality.

В России развитие электроэнергетики и микроэлектроники приводит к увеличению использования технологий, таких как микропроцессорное оборудование, механизмы с резкопеременным характером работы и системы

автоматизированного управления. Это может оказывать негативное воздействие на электроснабжение среднего напряжения, особенно если системы не обновляются своевременно. В результате качество электрической энергии может ухудшаться, что приводит к снижению КПД оборудования, сокращению срока его эксплуатации и увеличению потерь в системе, а также может вызывать несимметрию напряжения и электромагнитные помехи.

Для решения проблемы несимметрии напряжения и повышения качества электрической энергии в энергосистемах применяются различные методы и технологии. Одним из таких методов является установка компенсационных устройств, которые позволяют устранять несимметрии и снижать уровень гармоник в электросетях. Также важно регулярное техническое обслуживание и модернизация оборудования. Важным шагом в повышении качества электрической энергии является применение систем управления, которые позволяют контролировать и оптимизировать процессы в энергосистемах. Кроме того, необходимо проводить обучение работников энергосистем, чтобы они могли правильно настраивать и обслуживать оборудование и знать, какие действия следует предпринимать в случае возникновения проблем с качеством электрической энергии.

Также несимметричные напряжения могут привести к перегрузкам в системе, что может привести к перегреву оборудования и его выходу из строя. Это может привести к сбоям в работе системы и прекращению электроснабжения для потребителей. Кроме того, несимметрии напряжения могут привести к возникновению нежелательных электрических явлений, таких как электромагнитные поля, которые могут повлиять на здоровье людей и животных. Поэтому важно принимать меры для устранения несимметрий в системе электроснабжения и повышения качества электрической энергии.

Согласно документу ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 6100-2-5-95), номенклатура электромагнитных помех представляет из себя довольно большой список, включающий в себя:

- высшие гармоники, интергармоники напряжения электропитания;
- напряжения сигналов, передаваемых в системах электропитания;
- колебания напряжения электропитания и т. д.;

Стоит понимать, что все электрическое оборудование в системе электроснабжения одновременно является источниками электромагнитных помех и в то же время рецепторами (т. е. объектами воздействия электромагнитных

помех). Реакция определенного оборудования на помехи зависит от его помеховосприимчивости. Другими словами, реакция двух разных электроприемников на наличие помех в системе не будет идентичной.

Таблица 1. — Воздействия различных потребителей на энергосистему

Потребитель	Воздействие на энергосистему
Целлюлозно-бумажная промышленность	Отклонения напряжения
Машиностроение	Отклонения, колебания, несимметрии
Черная металлургия	Отклонения, колебания, несинусоидальность, несимметрии напряжений
Цветная металлургия	Отклонения, колебания, несинусоидальность напряжений
Дуговые сталеплавильные печи	Отклонения, несимметрия напряжений, фликер
Электросварочные установки	Отклонения, несимметрия напряжений, фликер
Тяговые подстанции электрифицированного железнодорожного транспорта	Отклонения, несинусоидальность, несимметрия напряжений

Показатели несимметрии напряжения системы электроснабжения согласно ГОСТ 32144-13 оцениваются показателем качества электрической энергии как коэффициент несимметрии по обратной и нулевой последовательности.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности определяется по формуле:

$$K_{2U} = \left[\frac{U_{21}}{U_{11}} \right] \cdot 100\% \quad (1)$$

Из формулы (1)

U_{21} — действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В.

U_{11} — действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности определяется по формуле:

$$K_{0U} = \left[\frac{\sqrt{3}U_{01}}{U_{11}} \right] \cdot 100\% \quad (2)$$

Из формулы (2)

U_{01} — действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В.

U_{11} — действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Нормально и предельно допустимые значения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности K_{2U} , согласно ГОСТ 32144-13, для сетей всех номинальных напряжений составляют соответственно ± 2 и $\pm 4\%$.

Одним из основных источников несимметрии напряжения и, как следствие, источником электромагнитных помех высших гармоник и интергармоник в системе электроснабжения являются дуговые сталеплавильные печи. Значения высших гармоник тока представлены в таблице 2.

Таблица 2. — Усредненные показатели высших гармоник тока для дуговой сталеплавильной печи ДСП-200

Номер гармоники	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уровень, %	100	2,7	2,3	0,65	2,3	1,3	1,5	1,0	0,85

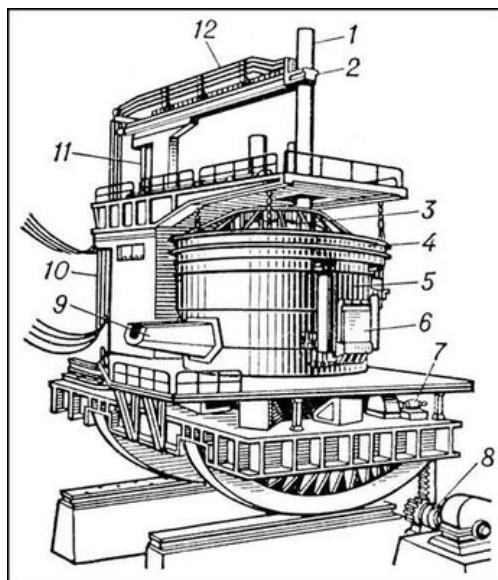


Рис. 1. Дуговая сталеплавильная печь ДСП-200

На рис. 2 можно увидеть график изменения тока в течение интервала в 60 секунд. На рис. 3 — амплитудный спектр действующих значений тока.

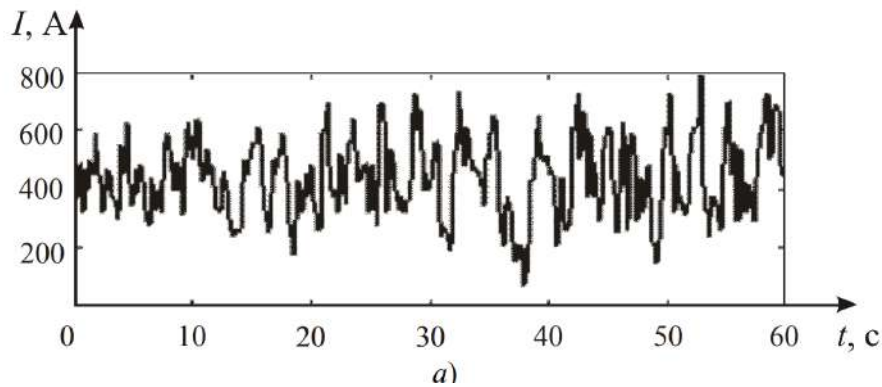


Рис. 2. График нагрузки фазы А во время работы дуговой сталеплавильной печи ДСП-200

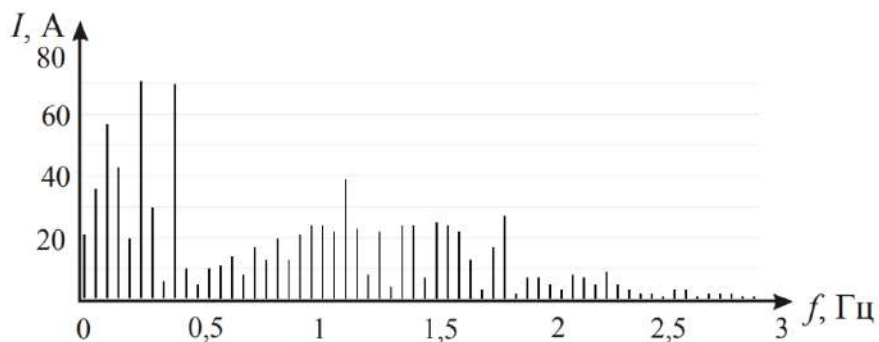


Рис. 3. Амплитудный спектр силы тока во время работы ДСП-200

Из рис. 3 можно выявить, что в данном диапазоне имеются интергармоники, значения которых способны достигать значений до 5–10% силы тока основной частоты. Энергия интергармоник для дуговой сталеплавильной печи ДСП-200 составляет около 20% всей энергии смешанного спектра.

В процессе работы дуговых сталеплавильных печей несимметрии напряжения достигает 4–6% в случае питания от сетей среднего напряжения. Однако в случае питания от сетей 110 кВ этот показатель ниже и, как правило, не достигает 3%.

Помимо дуговых печей, несимметрии напряжения и, как следствие, электромагнитные помехи вызывают электросварочные установки. При эксплуатации такого оборудования в системе электроснабжения наблюдаются интергармоники 30–70 Гц, значения которых способны достигать до 20–25% гармоники сварочного тока основной частоты, при этом коэффициент несимметрии основной частоты не достигает более 5%.

На рис. 4 представлен амплитудный спектр тока электросварочной установки в пределах 0–20 Гц. Из графика видно, что значение интергармоники достигает 6% значения силы тока электросварочной установки основной частоты. Несимметрии напряжения во время работы электросварочных установок, как правило, не превышают 3%.

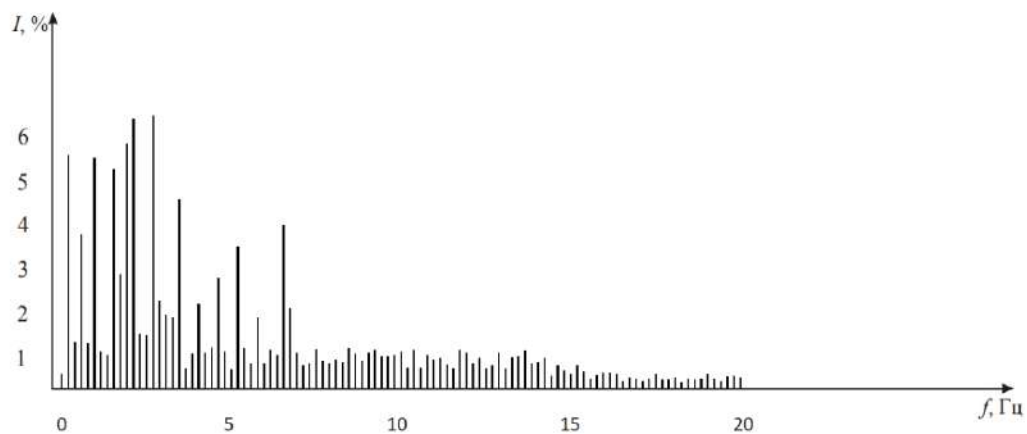


Рис. 4. Амплитудный спектр силы тока во время работы электросварочной установки

Наличие в системе электроснабжения электромагнитных помех приводит к искажению кривой тока и напряжения, при этом они становятся несинусоидальными, порой даже непериодическими, что неблагоприятно сказывается на работе оборудования и ведет к экономическому ущербу, к низкой надежности системы. На предприятиях, получающих питание от сети, в которой наблюдаются интергармоники и высшие гармоники, очевидно, происходит брак или недоотпуск продукции. Эти показатели тем выше, чем выше коэффициент восприимчивости технических, установленных на данном предприятии.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что несимметрии напряжения в системе электроснабжения приводят к появлению электромагнитных помех и, как следствие, к появлению различных проблем. Источниками являются как сами электроприемники электрической энергии, так и несвоевременная модернизация системы электроснабжения. Для решения этой научно-технической задачи необходимо осуществлять мониторинг показателей качества электрической энергии и производить необходимую модернизацию систем, в которых наблюдаются отклонения от требуемых

значений, при реконструкции или модернизации систем учитывать каждого потребителя и оценивать его возможное воздействие на энергосистему.

Проектным организациям важно проектировать сети среднего напряжения с учетом возможности снижения электромагнитных помех. Это может включать в себя выбор оптимальных параметров оборудования и сетевых компонентов, таких как кабели, трансформаторы и конденсаторы.

Для уменьшения разрушительного воздействия электромагнитных помех на систему можно применять фильтро-компенсирующие устройства или другие устройства компенсации, которые в совокупности с своевременной модернизацией вернут систему к требуемым показателям качества электрической энергии.

Список использованной литературы

1. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях: учеб. пособие для электроэнерг. сист. / В. В. Ежов, Г. К. Зарудский, Э. Н. Зуев [и др.]; под ред. В. А. Строева. — М. : Высшая школа, 1999.
2. Правила устройства электроустановок. — 7-е издание.
3. Качество электроэнергии в системах электроснабжения: учебное пособие / Н. Г. Волков; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
4. Надежность и качество электроснабжения предприятий: учебное А 46 пособие / Д. С. Александров, Е. Ф. Щербаков. — Ульяновск : УлГТУ, 2010.

УДК 621.31

Волков Д. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ СИММЕТРИРОВАНИЯ
НАГРУЗКИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ
НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ

Аннотация. Подключение к электрической сети приемников, которые вызывают существенный перекос фаз, крайне отрицательно сказывается на работе линий электропередачи и трансформаторов, это уменьшает мощность выпрямителей, а также снижает эффективность использования регулирующих и компенсирующих устройств, нарушает режим работы и уменьшает срок службы асинхронных электродвигателей. При работе трехфазной системы в несимметричном режиме снижается пропускная способность элементов электросети, происходит разрушительный нагрев электромашин, а также увеличиваются потери активной мощности и энергии в системах электроснабжения. Таким образом, исследование возникновения и компенсации несимметрии, а также разработка эффективных методов ее снижения является важной задачей электроэнергетики.

Ключевые слова: *повышение энергоэффективности, разработка установки симметрирования нагрузки, методы симметрирования нагрузки.*

Volkov D. A.

Surgut State University, Surgut

DEVELOPMENT OF LOAD BALANCING INSTALLATION
IN THREE-PHASE ELECTRICAL NETWORKS
WITH A VOLTAGE OF 0.4 kV

Abstract. The connection of receivers to the electrical network, which cause a significant phase distortion, has an extremely negative effect on the operation of power transmission lines and transformers, this reduces the power of rectifiers, as well as reduces the efficiency of using regulating and compensating devices, disrupts

the operating mode and reduces the service life of asynchronous electric motors. When a three-phase system operates in an asymmetric mode, the capacity of the power grid elements decreases, destructive heating of electric machines occurs, and losses of active power and energy in power supply systems increase. Thus, the study of the occurrence and compensation of asymmetry, as well as the development of effective methods to reduce it, is an important task of the electric power industry.

Keywords: *energy efficiency improvement, development of load balancing installation, load balancing methods.*

Современное развитие сел и поселков городского типа характеризуется ростом коммунально-бытовых нагрузок, увеличением мощности нагрузок оборудования ферм и градообразующих предприятий. Это приводит к ухудшению качества электроэнергии в системах электроснабжения и снижению эффективности работы, а также к сокращению срока службы систем электроснабжения и электроприемников.

Основной причиной ухудшения качества электроэнергии является фактор несимметрии токов и напряжений в электросети, возникающий вследствие неэффективного распределения большого количества потребителей. Увеличение несимметрии токов и напряжений в электросети ведет к увеличению потерь при передаче электроэнергии и сокращению срока службы электрооборудования.

Активный рост сельскохозяйственного производства и увеличение коммунально-бытовой нагрузки связано с бурным развитием электротехнологий и автоматизации производственных процессов, включая повышение уровня использования электрооборудования, большая часть которого приходится на однофазные электроприемники. К потребителям, ответственным за неравномерное распределение электроэнергии в сельской сети относят большей частью электротехнологические установки, которые зачастую характеризуются несимметричным исполнением, а также особенности самого технологического процесса работы данных установок приводят к несимметрии режима питающей их электросети.

Методики снижения несимметрии токов и напряжений в электросети своей целью ставят уменьшение коэффициента несимметрии по обратной и нулевой последовательностям до допустимых пределов и могут быть разделены на 4 группы:

- уменьшение сопротивления нулевой последовательности;
- уменьшение коэффициента нулевой последовательности токов;
- уменьшение коэффициента обратной последовательности токов;
- комбинированная методика по уменьшению токов прямой и обратной последовательностей.

Основными последствиями несимметрии является: выход из строя электрооборудования, появление дополнительных потерь мощности и электроэнергии, повреждение изоляции проводов, а также опасность возникновения междуфазного короткого замыкания.

Существует несколько методов уменьшения несимметрии в электрической сети. Одним из них является метод выравнивания нагрузок фаз. Оно может быть достигнуто при переводе электросети в режим полужамкнутой или замкнутой сети. Таким образом, в рамках данной методики замыкается сеть, которая питается от одного (что более эффективно для снижения несимметрии) либо нескольких распределительных трансформаторов. При таком подходе — чем больше замыкаемых линий сети низшего напряжения, тем больший эффект выравнивания. При замыкании электросети уменьшаются потери путем разгрузки нулевого и фазных проводов, а также повышается качество напряжения. Тем не менее с увеличением числа замыкаемых магистралей экономическая эффективность этого метода существенно уменьшается, поскольку в замкнутой сети с несколькими распределительными трансформаторами будут протекать уравнивающие токи, создающие дополнительные потери мощности и электрической энергии.

Следующий метод — это изменение схемы соединения обмотки трансформатора. Данный метод реализуется заменой трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда — звезда с нулем» на трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда — зигзаг с нулем». Схема соединения «звезда — звезда с нулем» является более обширной, поскольку она проще в исполнении, имеет малые габариты и по сравнению с другими схемами имеет меньшую стоимость в изготовлении. Но трансформаторы с данной схемой обмотки имеют большое сопротивление токам нулевой последовательности, что обусловлено тем, что магнитное поле, создаваемое токами нулевой последовательности, имеет сложную конфигурацию и замыкается как в пределах магнитопровода, так и через бак трансформатора. Поэтому зачастую данные трансформаторы выбираются с завышенным значением мощности на 2–3 ступени. Трансформаторы со схемой

«звезда — зигзаг с нулем» имеют гораздо меньшее сопротивление нулевой последовательности. Это позволяет снизить потери мощности при несимметрии трехфазной электрической сети, значительно снизить ток нулевой последовательности. Но есть один существенный минус данного метода, так как стоимость изготовления подобного трансформатора значительно больше, нежели стоимость обычного трансформатора со схемой «звезда — звезда с нулем».

Наше устройство основано на методе перераспределения нагрузок по фазам трехфазной электрической сети. Перераспределение нагрузок по фазам обслуживающим персоналом на всех элементах системы электроснабжения позволяет своевременно воздействовать на работу системы и существенно повысить ее технико-экономические показатели. Перераспределение нагрузок производится по результатам контрольных замеров распределения нагрузки в электросети. Исследования показывают, что такой метод позволяет снизить потери электроэнергии на 15–20%, а также улучшает показатели качества стабилизации напряжения, уменьшает коэффициент несимметрии по обратной и нулевой последовательностям напряжения. Но данный метод имеет один существенный минус — это отсутствие возможности централизованного управления по команде, поскольку обслуживающему персоналу необходимо собственноручно перераспределять нагрузку по фазам. Но наше устройство было разработано как раз-таки для того, чтобы компенсировать данный недостаток.

В основу нашего устройства заложен алгоритм управления автоматизированным симметрирующим устройством (рис. 1). Программа опрашивает датчики тока и вычисляет процент перекоса фаз, то есть сравнивает фактические данные с предельно допустимыми значениями перекоса фаз. Далее, если перекос фаз не превышает предельно допустимое значение, он возвращается к опросу датчиков тока. Если же перекос фаз превышает предельно допустимые значения, то программа производит запись данного события и производит опрос датчиков тока потребителей, то есть на нагрузках, которые находятся на самой загруженной фазе, наблюдает за изменением нагрузки в течение некоторого времени для предотвращения ложных кратковременных скачков. Затем производит анализ и выбирает потребителей, которых можно переключить на менее нагруженную фазу, делает запись в постоянную память всех произошедших событий и дает рекомендации по переключению.

На рис. 2 представлена принципиальная схема автоматизированной системы симметрирования фазных токов.

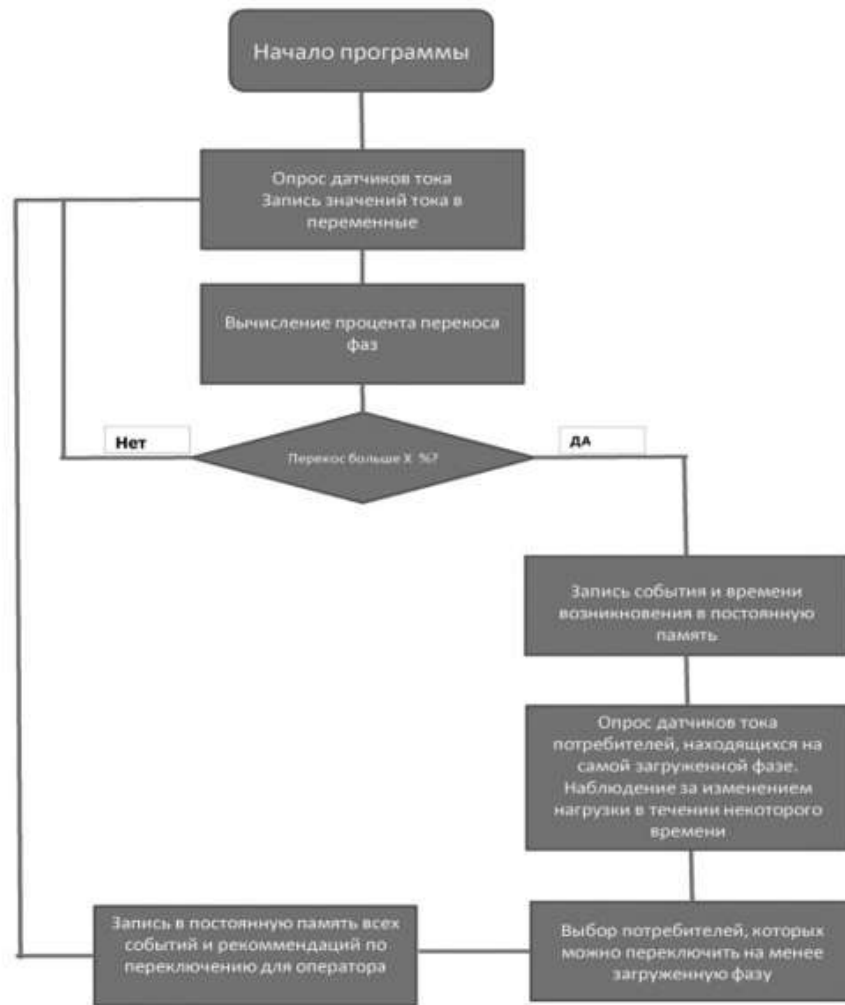


Рис. 1. Алгоритм программы управления автоматизированным симметрирующим устройством

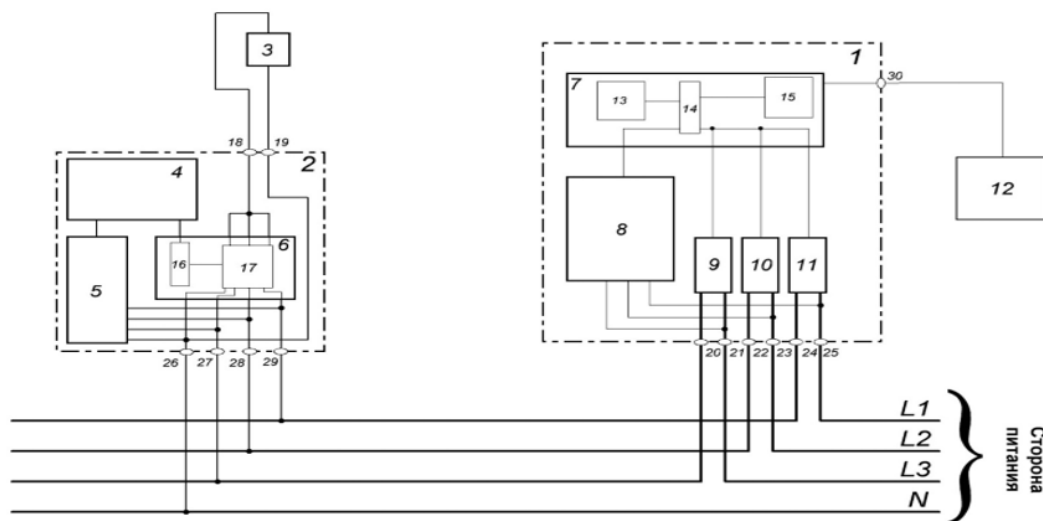


Рис. 2. Принципиальная схема автоматизированной системы симметрирования фазных токов

Ключевым элементом схемы является центральный модуль, который обеспечивает выполнение следующих функций:

- программный анализ показаний датчиков тока;
- регистрация переключения однофазных нагрузок между фазами трехфазной сети;
- отправление данных в зависимый модуль.

В свою очередь зависимый модуль отвечает:

- за обработку данных, отправляемых центральным модулем;
- переключение однофазной нагрузки между фазами трехфазной сети.

Принцип работы данного устройства.

Центральный модуль управления (1) содержит трансформаторы тока (9–11), с помощью которых определяется значение тока на каждой фазе — определяет ток, протекающий по каждой фазе. Микроконтроллер (14) служит для преобразования полученной информации в виде аналогового сигнала в аналогово-цифровой. Для обеспечения связи между АРМ оператора (12) и центральным модулем используется преобразователь USB-UART (15). Часы реального времени (13). PLC модем 8 используется для связи между центральным и зависимыми модулями по ЛЭП.

Зависимый модуль (2) содержит блок коммутации (6), который включает в себя каскад симисторов (17) и опторазвязку для достижения сухого контакта при переключении. Зависимая плата (4) необходима для связи зависимого модуля и центрального модуля, для управления коммутационным блоком.

Следует отметить, что к одному центральному модулю может подключаться до 125 зависимых модулей. Это достигается тем, что каждому из устройств дается уникальный адрес, который в дальнейшем используется для управления определенным зависимым модулем для устранения несимметрии фазных токов.

Технический результат и эффективность работы системы достигается приведенной совокупностью признаков:

1. Использование PLC-технологии для связи между зависимыми и центральным модулями (увеличение скорости устранения несимметрии).

2. Улучшение качества электроэнергии, поставляемой однофазному потребителю за счет переключения нагрузки между фазами за короткий срок.

3. Использование в качестве коммутационных элементов симисторов (моментальное переключение однофазной нагрузки между фазами трехфазной сети без отсутствия скачков напряжения).

4. Повышение надежности оборудования для симметрирования фазных токов в трехфазных сетях из-за отсутствия электромеханических изделий в системе симметрирования.

5. Возможность мониторинга работы схемы на расстоянии с использованием АРМ (упрощение обслуживания устройств для симметрирования фазных токов).

6. Использование внутренней памяти устройства (регистрация переключений однофазных потребителей между фазами).

Результатом внедрения данной схемы является увеличение оперативности устройств для симметрирования фазных токов трехфазной четырехпроводной сети, достижение высокой скорости переключения однофазной нагрузки между фазами трехфазной сети при любых уровнях несимметрии, исключая перепады напряжения. Также достигается упрощение в реализации и монтаже устройства симметрирования однофазных нагрузок трехфазной линии. Кроме того, в устройстве предусмотрено переключение однофазной нагрузки между фазами трехфазной сети по команде оператора в режиме реального времени.

Список использованной литературы

1. Бородин, И. Ф. Мероприятия по управлению качеством электроэнергии в системах электроснабжения сельского хозяйства / И. Ф. Бородин, А. В. Виноградов, А. В. Шпаков // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВИЭСХ, 2008. — Т. 1. — С. 200–205.

2. Железко, Ю. С. Определение симметричных составляющих по результатам измерения фазных и междуфазных напряжений / Ю. С. Железко // Электричество. — 2009. — № 7. — С. 12–20.

3. Косоухов, Ф. Д. Зависимость потерь мощности от несимметрии токов в силовых трансформаторах от их сопротивления нулевой последовательности / Ф. Д. Косоухов, Н. В. Васильев, Н. Ю. Криштопа // Известия СПбГАУ. — 2014. — № 35. — С. 319–325.

УДК 621

*Viktor Kibartas¹, Yuliya Kibartene¹, Alexander Kislov², Viktor Melnikov²,
Yelena Zigangirova³*

¹Department of Energy, Kaliningrad, Russia

²Department of Energy, Toraygirov University, Kazakhstan

³Department of Energy, Innovative University of Eurasia, Kazakhstan

EXPLORING THE POSSIBILITIES OF SMART AND RENEWABLE
TECHNOLOGIES FOR THE MODERNIZATION OF INDUSTRIAL HEAT
POWER PLANTS

Abstract. The article considers issues related to the modernization of energy technologies. To increase the efficiency of energy resources, operational reliability, loss reduction and environmental safety, the possibilities of trigeneration using fuel cells, hydrogen technologies and RES components, which is expedient to use for the production of additional electricity, are considered. The possibilities of innovative energy components for their integration into traditional power generation systems are shown, simulation schemes and calculation results are given.

Keywords: *energy, coal-fired industrial thermal power system, efficiency, modernization, cogeneration, trigeneration, fuel cell, energy storage systems, RES, simulation, MatlabSimulink.*

Modernization of the technological scheme of the traditional industrial thermal power system (ITPS), such as CHP type, to increase its efficiency to 55–65%. Figure 1 shows the structure of the integrated system, which provides efficiency up to 55 to 65%. In this integrated system, which makes full use of the available RES resources and other components adopted in the scheme in the figure, the increase in efficiency is achieved through two new factors: a more flexible, intelligent control of the flow of electric energy through the introduction of a new digital smart block “Flexible Electricity” and a new additional technological connection from this block to the block “Mobility”, which carries out an effective supply of electric energy of all available mobile devices ITPS.

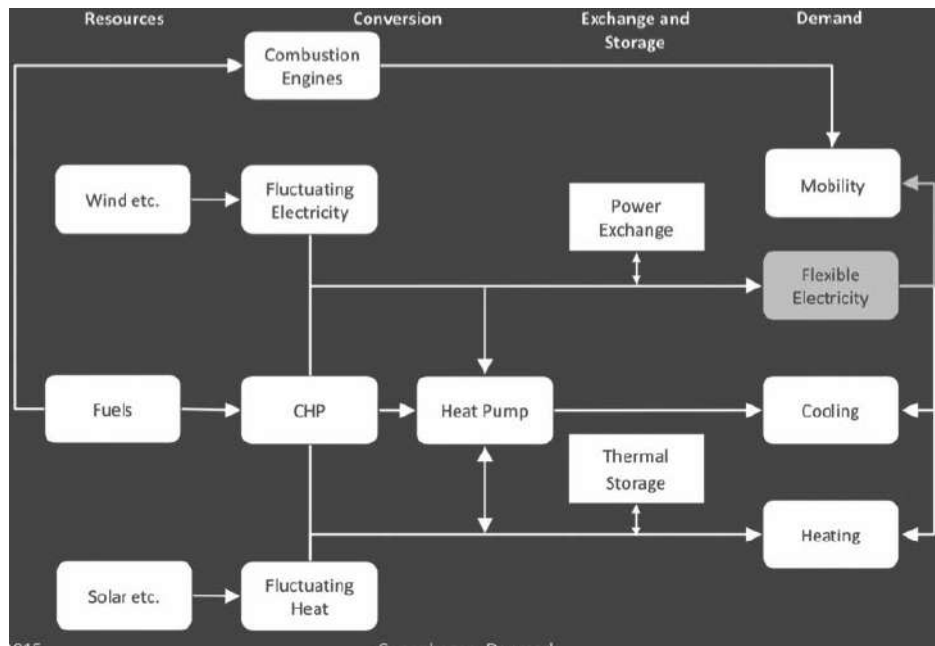


Figure 1. Modernization by increasing up to (55...65)% of ITPS efficiency by smart energy management technologies

The integrated ITPS also uses the available RES resources: wind, solar and other technologically available from potentially available for the given conditions of ITPS digital smart components.

Simulation models of elements of technological schemes of ITPS with digital, smart and renewable energy components. Figure 2 shows a diagram of a digital model of the cooling system, which can be used for simulation calculations of thermal processes of ITPS, for example, to study the processes of use of secondary heat resources in the ITPS elements to create useful energy in the own needs of ITPS components, as shown, in particular, in the schemes in the figures in the previous sections of this paper.

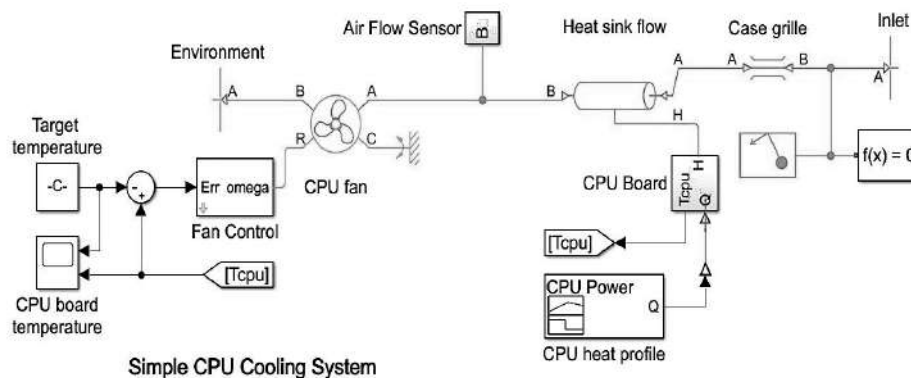
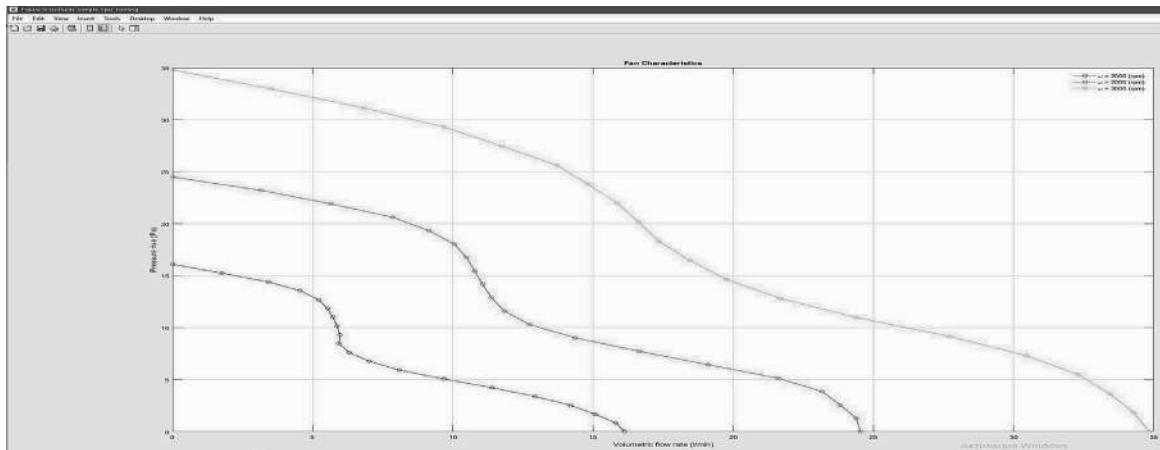


Figure 2. Schematic of the simulation model for the beneficial use of the secondary heat of the ITPS elements

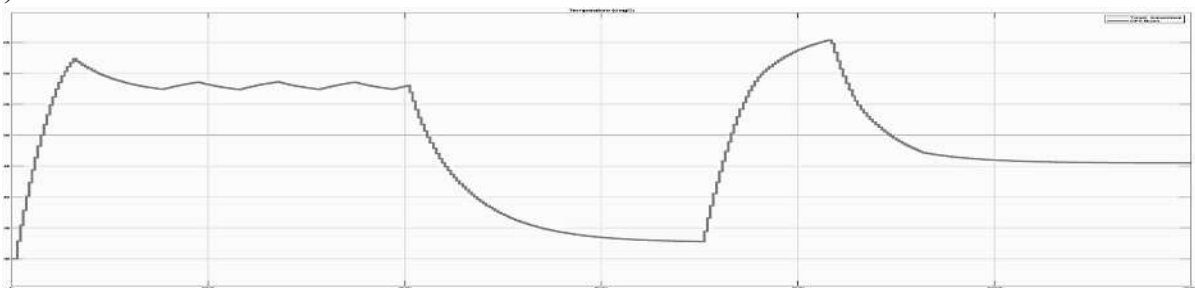
And in Figure 3, from top to bottom, the calculated curves are shown as illustrations:

blower fan characteristics (curves A) for the removal and further beneficial use of secondary heat, presented as a family of pressure-volume curves of the pumped air heat transfer fluid, calculated for various operating steady-state fan speeds of 3000 rpm, 2500 rpm, and 2000 rpm for the heat exchanger;

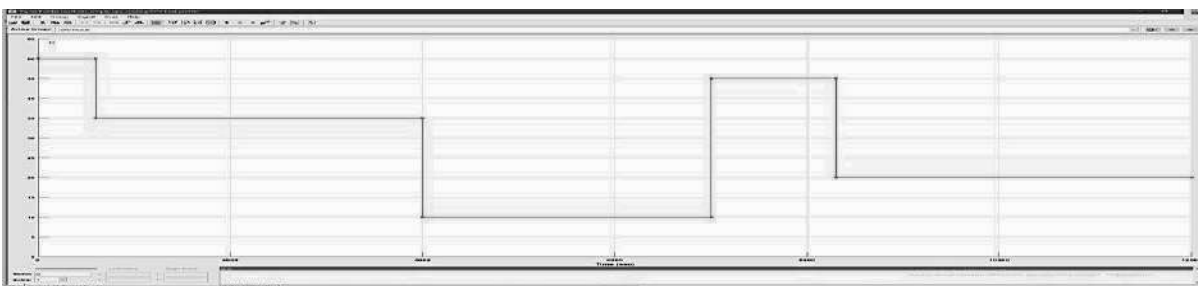
dependences of temperatures, degC for three variants (respectively, curves B, D, F) of varying and below cyclic control laws (respectively, curves C, E, G) of the power controller of the fan, which carries out useful heat removal of the ITPS element.



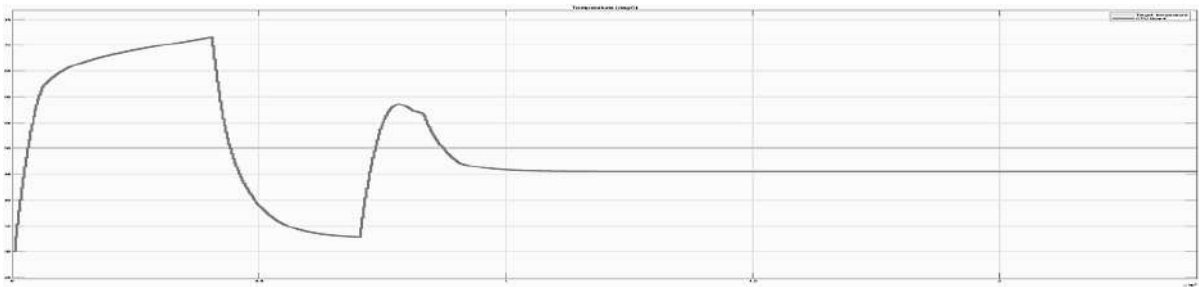
(A)



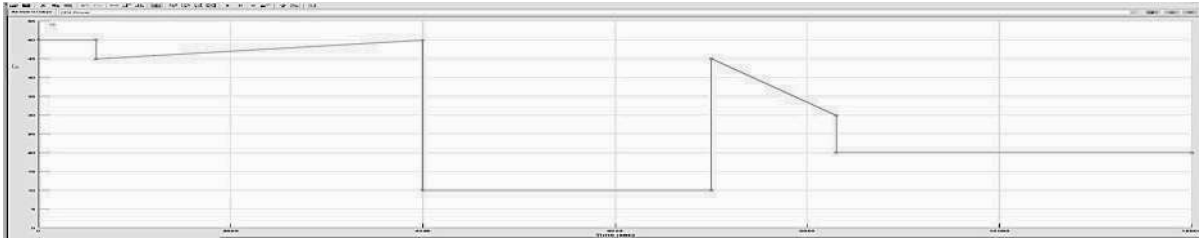
(B)



(C)



(D)



(E)



(F)

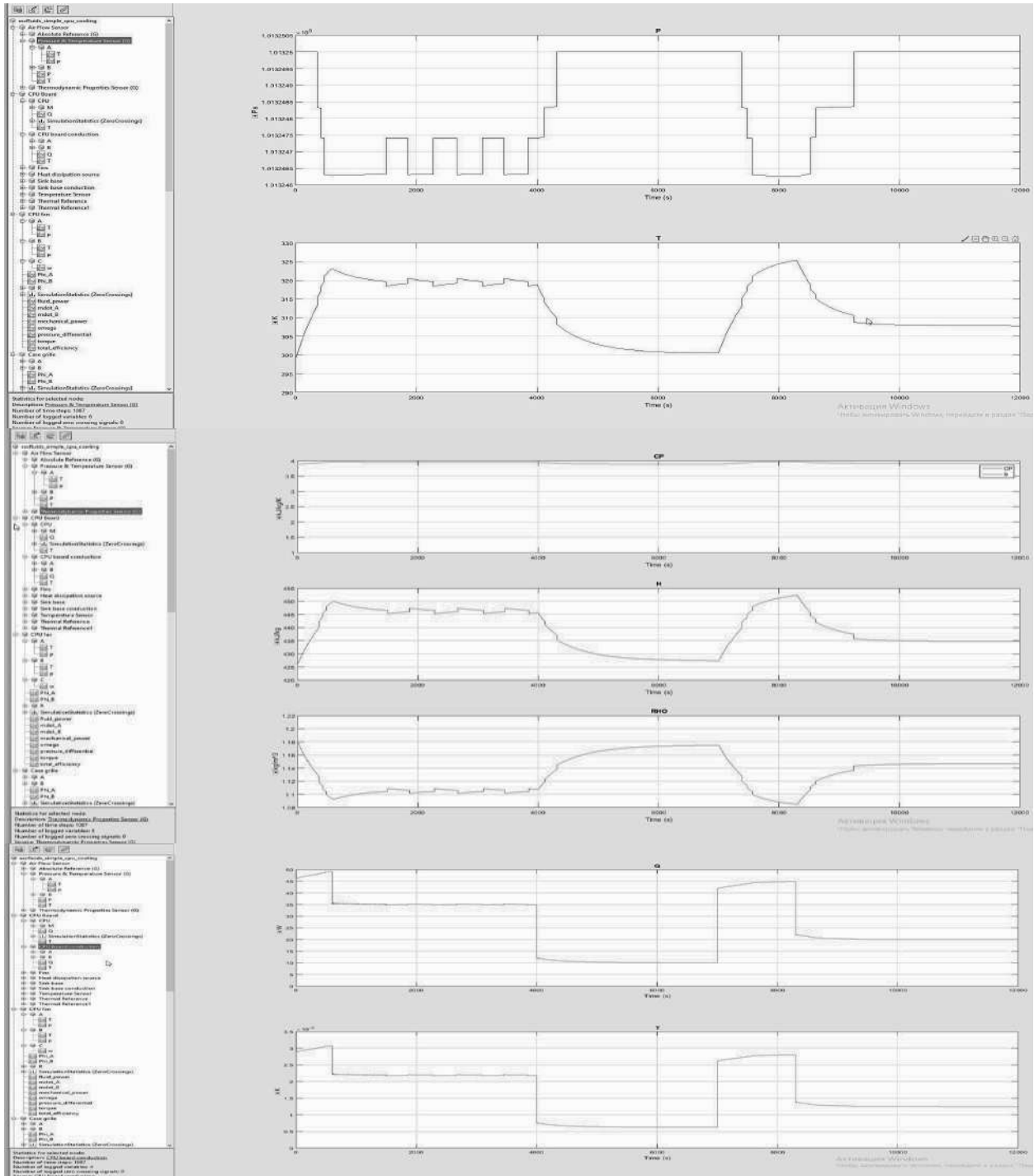


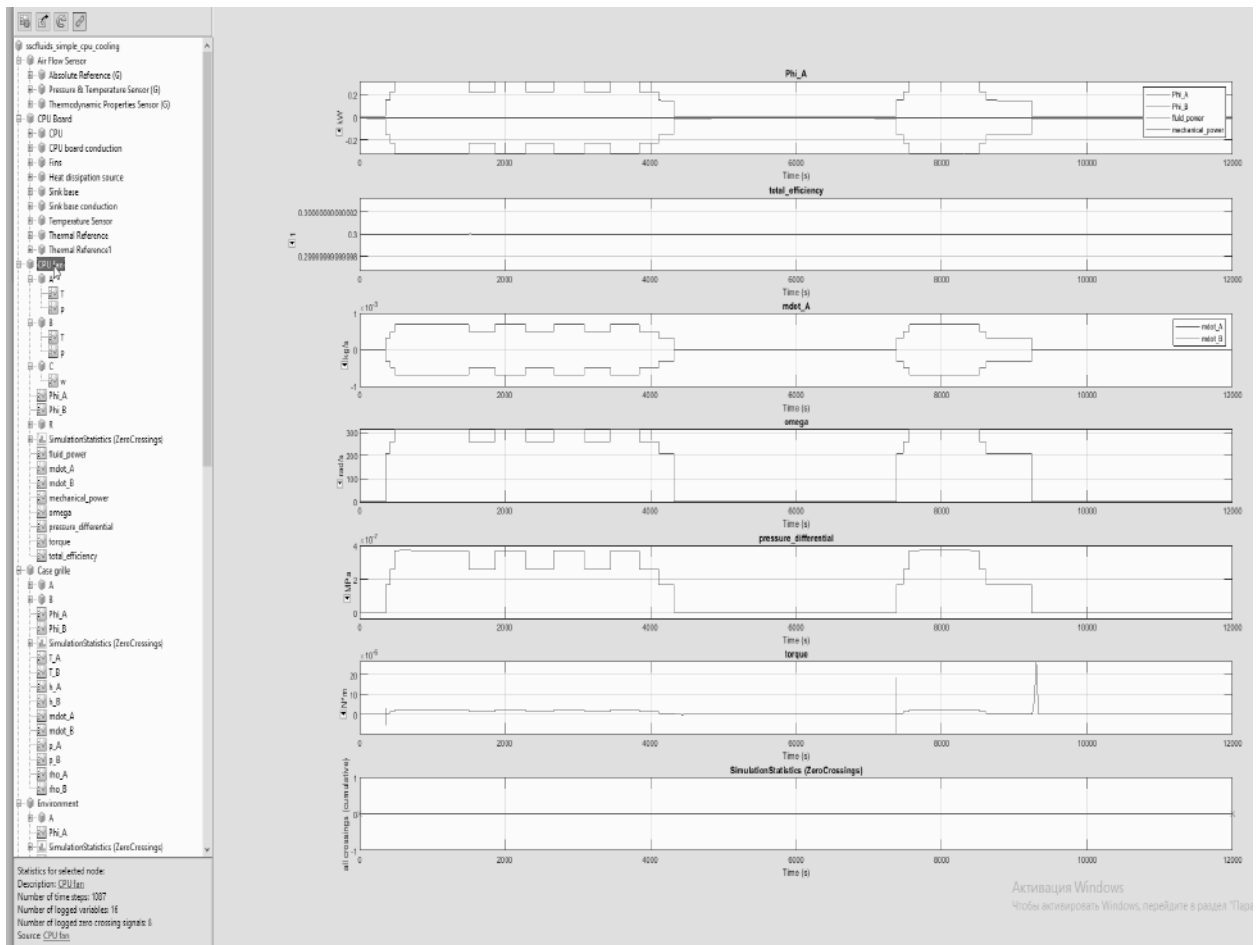
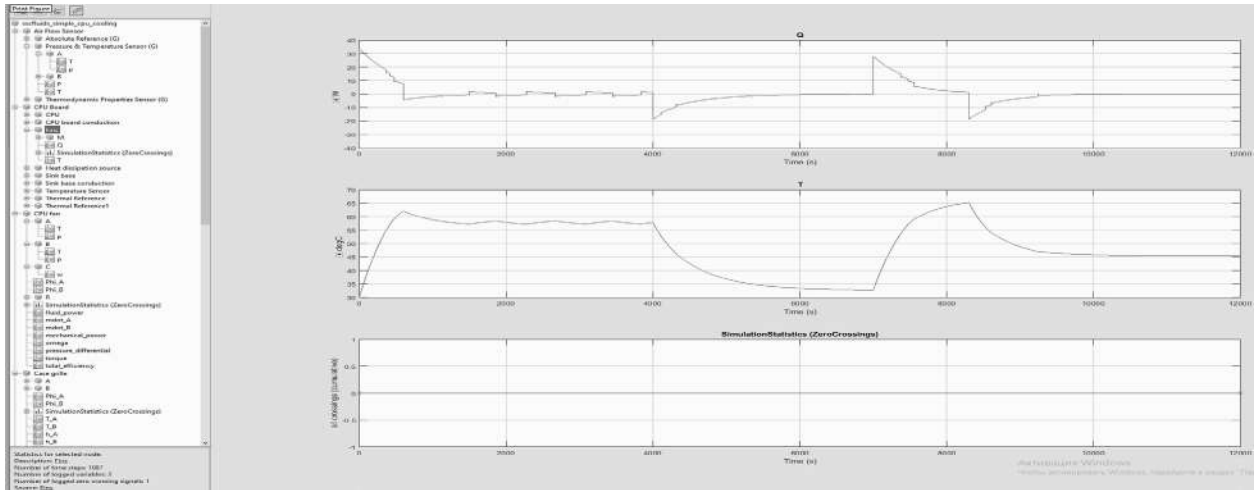
(G)

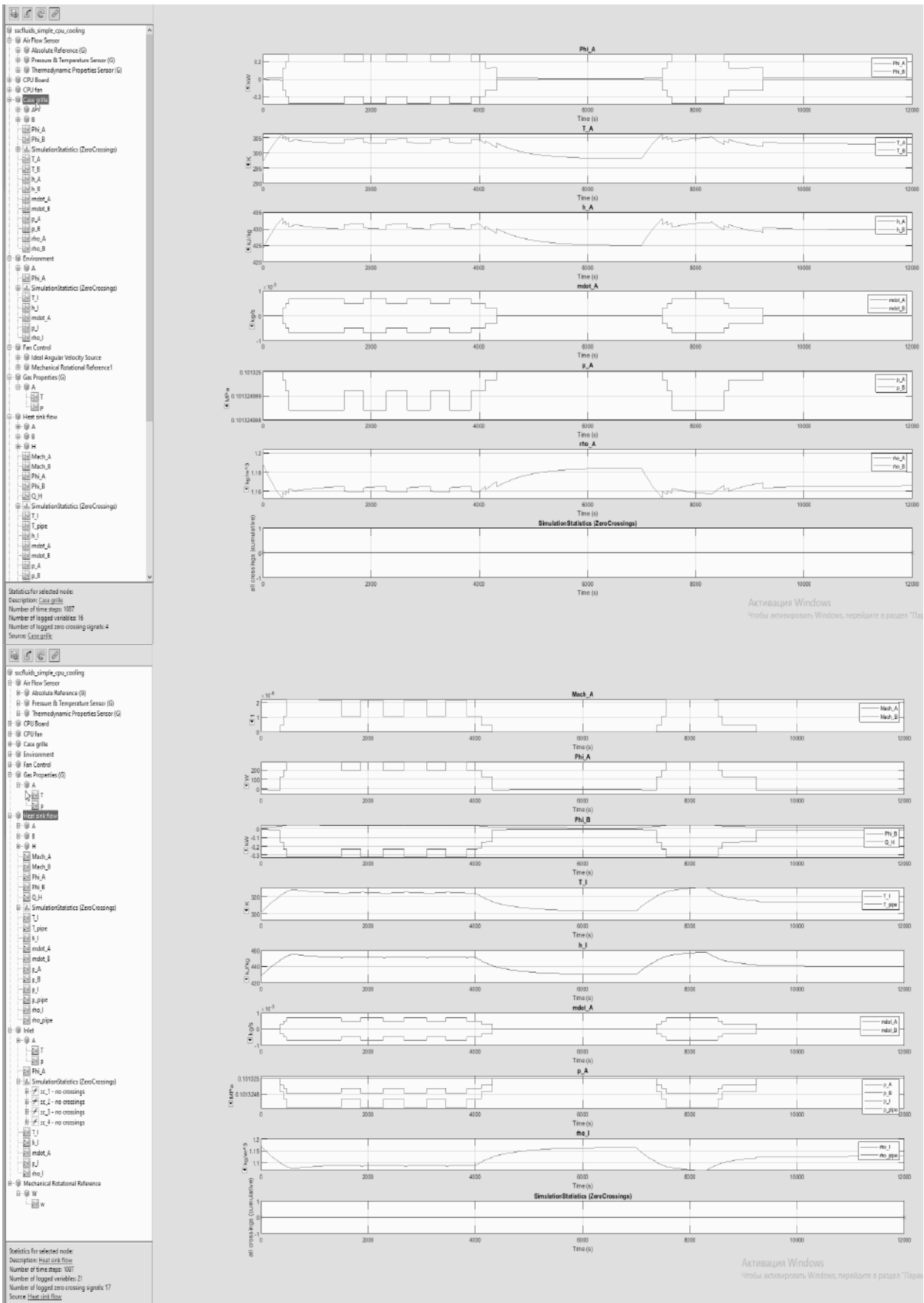
Figure 3. Calculated curves of dynamic processes of the simulation model for the beneficial use of secondary heat of the ITPS elements at various parameters of the air-gas flow of the heat exchanger and various laws of digital control

Figure 4 shows, for example, curves (from top to bottom) of dynamic processes in various elements of the power and, especially, information part, including digital information sensors, digital controllers and other elements of the digital system; the scheme of the simulation model is shown in the figure above. A detailed description of the parameters of each curve is shown in the figure, column on the left. These curves are given here only to illustrate all the possibilities of the above simulation model. A detailed, detailed description of these curves is not given in

the work. However, if necessary, all processes of interest and curves describing them can be easily obtained from this model, including for other, requiring more detailed study of various options of parameters of a particular digitally controlled ITPS technological installation, both traditional and when using smart and RES components.







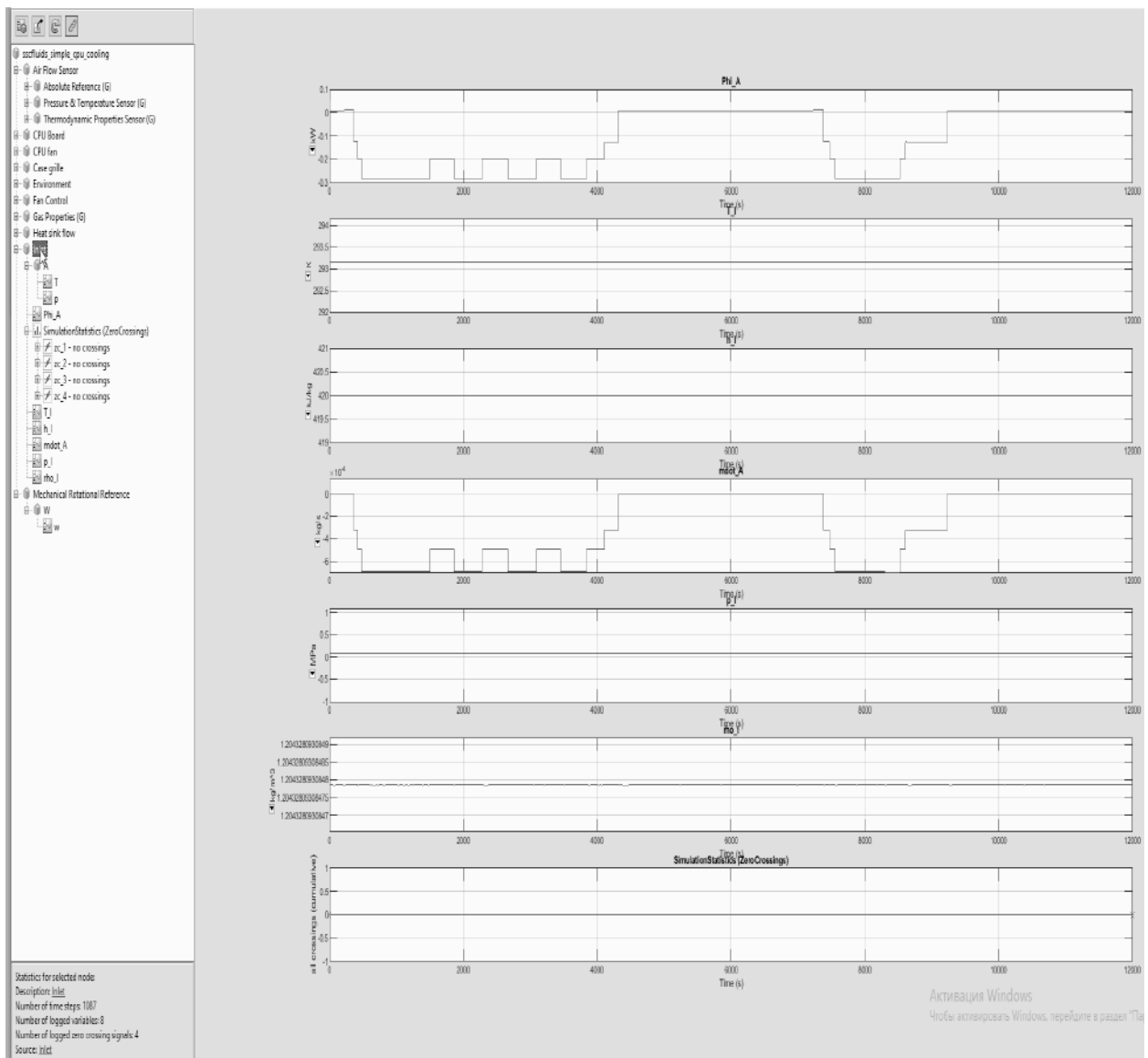
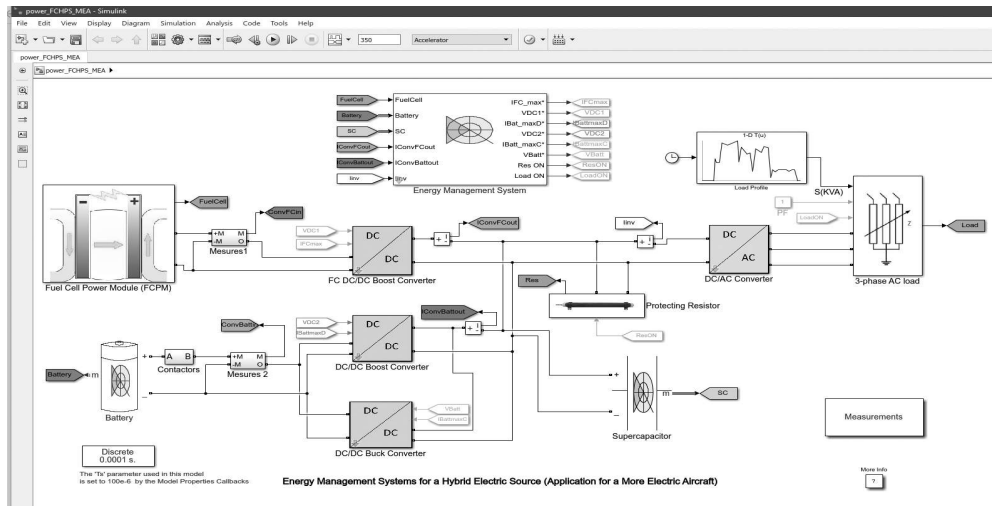
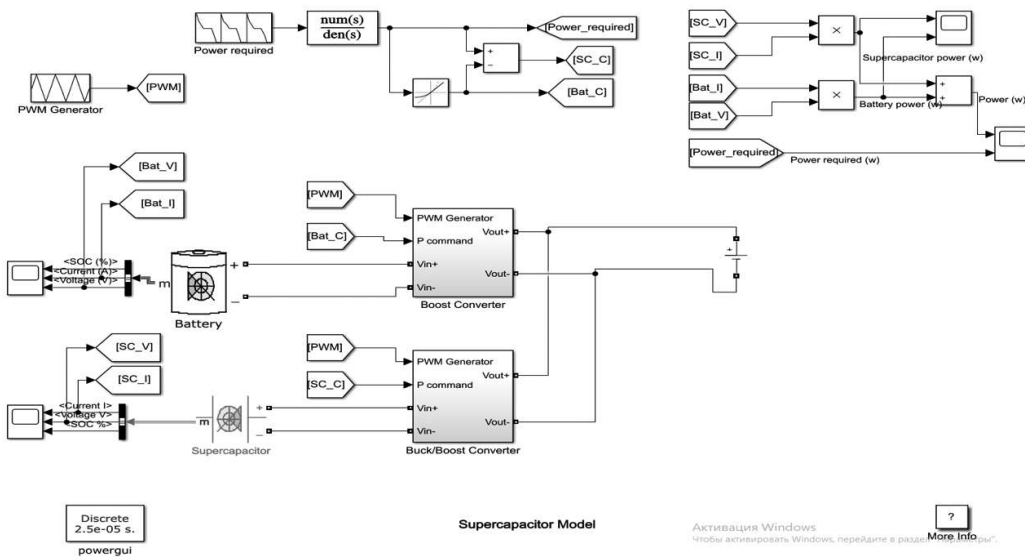


Figure 4. Illustrative calculated values of dynamic parameters

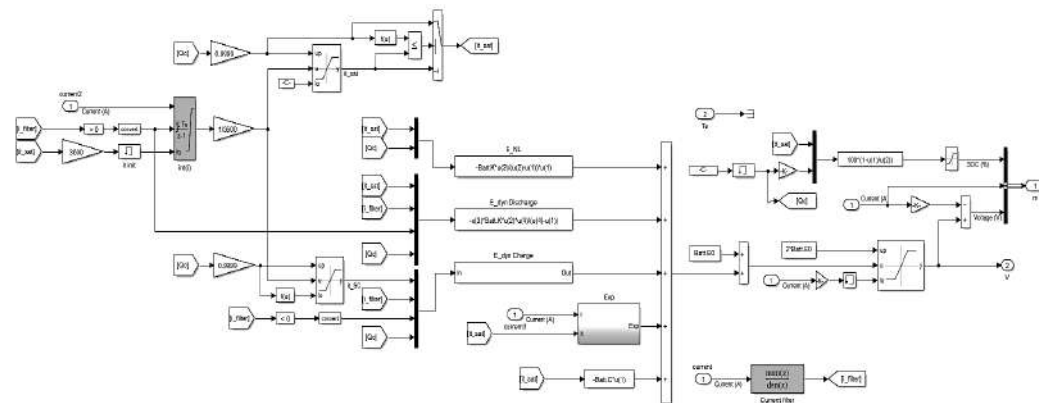
Figure 5 shows the design diagram of the model of digital energy system with fuel cells of energy generation, energy storage and storage systems based on a supercapacitor and battery, digital power semiconductor energy converters, three-phase AC load, simulating own needs of ITPS, and information and control electronic devices that coordinate all subsystems: generation, transmission-distribution, storage and control of load of own needs of ITPS.



(A)



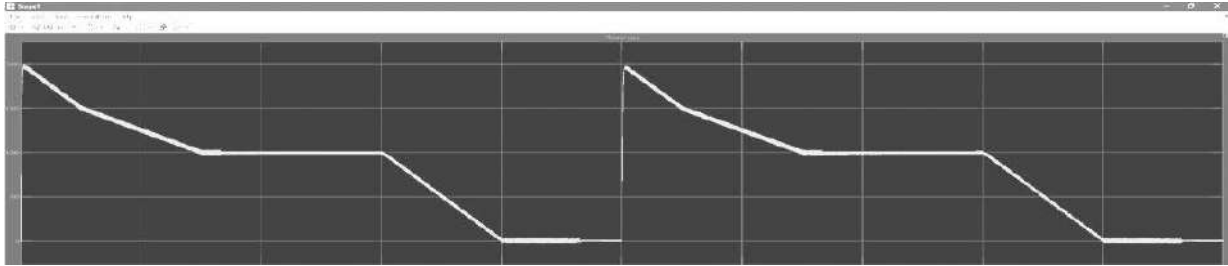
(B)



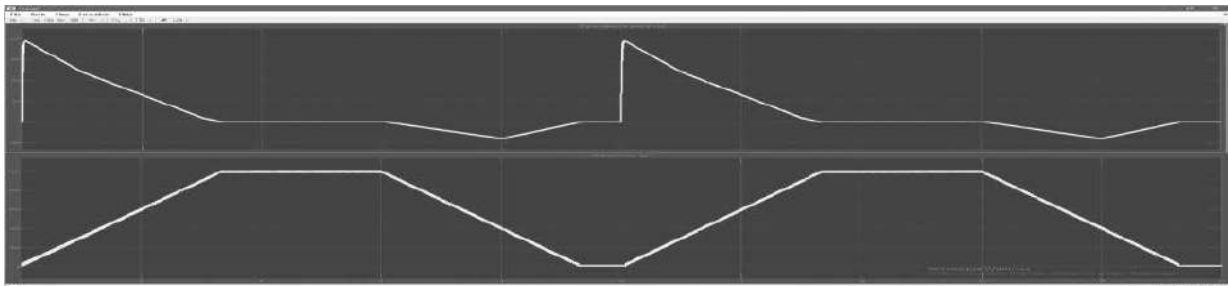
(C)

Figure 5. Model of digital energy system with fuel cells and energy storage systems

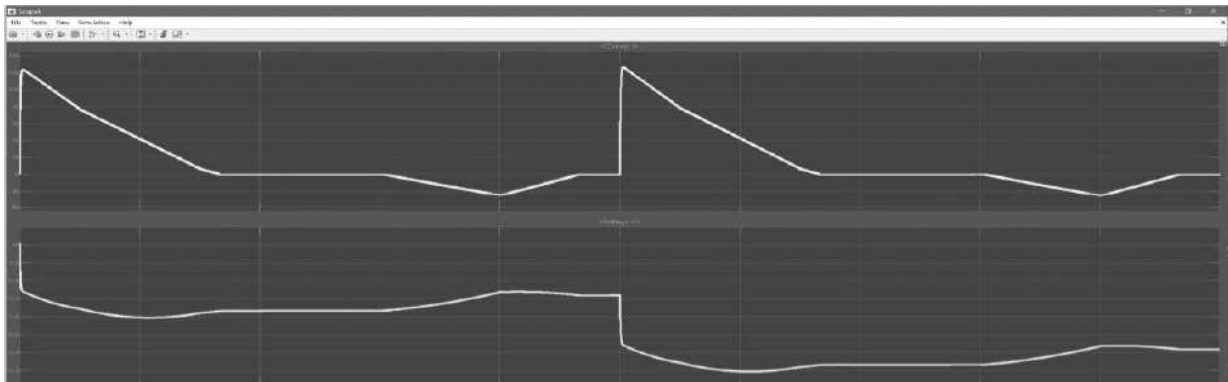
Figure 6 shows from top to bottom screen copies of oscillograms of calculated curves: power (curves A), capacitor power, battery power (curves B), current and voltage (curves C). These curves were obtained for the model of energy storage system with supercapacitor and battery, which is RES, smart and digital component of ITPS. The model of digital energy system with fuel cells and energy storage systems is shown in Figure 5.



(A)



(B)



(C)

Figure 6. Calculated oscillograms of dynamic processes in the energy storage system with a supercapacitor and a storage battery

References

1. Montecucco A, Siviter J, Knox AR. A combined heat and power system for solid-fuel stoves using thermoelectric generators. *Energy Procedia* 2015;75:597–602. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.462>.
2. Codecasa MP, Fanciulli C, Gaddi R, Gomez-Paz F, Passaretti F. Design and development of a TEG cogenerator device integrated into a self-standing natural combustion gas stove. *J Electron Mater* 2015;44:377–83. <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-014-3297-9>.
3. Chen W-H, Wang C-C, Hung C-I, Yang C-C, Juang R-C. Modeling and simulation for the design of thermal-concentrated solar thermoelectric generator. *Energy* 2014;64:287–97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.073>.
4. Remeli MFb, Date A, Orr Bb, Ding LC, Singh B, Affandi NDN, et al. Experimental investigation of combined heat recovery and power generation using a heat pipe assisted thermoelectric generator system. *Energy Convers Manage* 2016;111:147–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j>.
5. Chávez Urbiola EA, Vorobiev Y. Investigation of solar hybrid electric/thermal system with radiation concentrator and thermoelectric generator. *Int J Photoenergy* 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/704087>.
6. Remeli MFb, Date A, Orr Bb, Ding LC, Singh B, Affandi NDN, et al. Experimental investigation of combined heat recovery and power generation using a heat pipe assisted thermoelectric generator system. *Energy Convers Manage* 2016;111:147–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j>.

УДК 621.315

Завьялов Д. В.¹, Кислицин Е. Ю.²

¹ ПАО «Сургутнефтегаз»

² Сургутский государственный университет, г. Сургут

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОТЕРИ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОЙ СЕТИ 0,4 кВ

г. Сургут

Аннотация. В статье проведен анализ влияния несимметрии напряжений на потери электрической энергии в электрической сети 0,4 кВ поселка Сайгатина, выполнены расчеты коэффициентов несимметрии по обратной и нулевой последовательности, предложены мероприятия по устранению несимметрии напряжений.

Ключевые слова: несимметрия напряжений, показатели качества электрической энергии, потери мощности.

Zavyalov D. V.¹, Kislitcin E. Yu.²

¹PJST “Surgutneftegas”

²Surgut State University, Surgut

INFLUENCE OF VOLTAGE ASYMMETRY ON ELECTRICITY LOSSES
IN THE 0.4 kV RURAL NETWORK

Abstract. The article analyzes the effect of voltage asymmetry on the loss of electrical energy in the 0.4 kV electrical network of the village of Saygatina, calculates the asymmetry coefficients for the reverse and zero sequence, and proposes measures to eliminate voltage asymmetry.

Keywords: voltage asymmetry, indicators of the quality of electrical energy, power losses.

В Российской Федерации при современных темпах развития электроэнергетики, промышленности и микроэлектроники в системах электро-

снабжения происходит наращивание количества микропроцессорных устройств, систем автоматизированного контроля и управления, современной микропроцессорной техники, электронно-вычислительных машин (ЭВМ), устройств связи и автоматики. В сельских сетях 0,4 кВ в основном преобладает нагрузка коммунально-бытового характера. Зачастую в этих сетях наблюдаются отклонения от нормируемых показателей качества электрической энергии (ПКЭ).

Для корректной работы системы электроснабжения необходимо соблюдать показатели качества электрической энергии. Низкие ПКЭ приводят к снижению КПД и срока эксплуатации оборудования, повышенному расходу электрической энергии, выходу из строя микропроцессорных устройств, к увеличению потерь активной мощности в системе, различным нарушениям в работе оборудования, ложным срабатываниям устройств релейной защиты и автоматики, снижению эффективной работы системы, надежности электроснабжения, а также ее пропускной способности.

Показатели качества электрической энергии в электрических сетях нормируются ГОСТ 32144-2013.

Одним из критериев показателей качества электрической энергии является несимметрия токов и напряжений, которая наблюдается в трехфазных электрических сетях при наличии в них мощных однофазных потребителей, потребителей с нелинейными характеристиками. Кроме того, несимметрия наблюдается в аварийном режиме работы системы, в случае обрыва фаз или несимметричном замыкании. Состояние электрической сети в случае, когда трехфазное напряжение имеет одинаковую величину и находится в фазном смещении, равном 120° , называют симметричной. Но, как правило, состояние электрической сети с балансом напряжения по фазам является идеальной ситуацией. Это говорит о том, что на сегодняшний день данный вопрос является актуальным.

Минимальные потери активной мощности наблюдаются в случае работы сети в симметричном режиме при неизменной во времени нагрузкой. Однако несимметрия нагрузки приводит к увеличению потерь, что негативно влияет на экономические показатели функционирования системы и состояние оборудования.

При использовании системы электроснабжения с показателями электроэнергии, несоответствующими требованиям ГОСТ 32144-13, в частности

при недопустимых коэффициентах несимметрии, в ней наблюдаются процессы, вызывающие рост стоимости электроэнергии, что приводит к увеличению материальных затрат. Помимо этого, несимметрия напряжений ведет к появлению перетоков мощности, оказывающих термическое воздействие на кабельные и воздушные линии электропередачи, трансформаторы, а также оборудование потребителя, уменьшая при этом их срок службы. Оказывается воздействие на двигатели, приводящие к перегреву и появлению в них дополнительного тормозящего момента.

Важный факт заключается в том, что в случае наличия в системе электроснабжения коэффициента обратной и нулевой последовательности более 30%, потери достигают 45% в сравнении с нормальным режимом работы сети.

Оценка показателей несимметрии напряжения в системе электроснабжения производится согласно ГОСТ 32144-13 путем определения коэффициента несимметрии по обратной и нулевой последовательности.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности определяется по формуле [4]:

$$K_{2U} = \left[\frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \right] \cdot 100\% \quad (1)$$

Из формулы (1):

$U_{2(1)}$ — действующее значение напряжения обратной последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В.

$U_{1(1)}$ — действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности определяется по формуле:

$$K_{0U} = \left[\frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \right] \cdot 100\% \quad (2)$$

Из формулы (2):

$U_{0(1)}$ — действующее значение напряжения нулевой последовательности основной частоты трехфазной системы напряжений, В.

$U_{1(1)}$ — действующее значение напряжения прямой последовательности основной частоты, В.

Нормально и предельно допустимые значения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности K_{2U} , согласно ГОСТ 32144-13, для сетей всех номинальных напряжений не должны превышать в десятиминутном интервале в течение 95% времени ± 2 и $\pm 4\%$ [4].

Для определения действующего значения напряжения по обратной последовательности допускается пользоваться формулой [5]:

$$U_{2(1)i} = 0,62 \cdot (U_{нб(1)i} - U_{нм(1)i}) \quad (3)$$

Из формулы (3):

$U_{нб(1)i}$ — наибольшее действующее значение напряжения междуфазных напряжений i -го измерения, В.

$U_{нм(1)i}$ — наименьшее действующее значение напряжения междуфазных напряжений i -го измерения, В.

Определять коэффициент несимметрии по обратной последовательности допускается по формуле:

$$K_{2Ui} = \frac{U_{2(1)i}}{U_{ном.мф}} \cdot 100 \%. \quad (4)$$

Действующее значение напряжения по обратной последовательности допускается определять по формуле:

$$U_{0(1)i} = 0,62(U_{нб.ф(1)i} - U_{нм.ф(1)i}), \quad (5)$$

Из формулы (5):

$U_{нб.ф(1)i}$ — наибольшее действующее значение напряжения фазных напряжений i -го измерения, В.

$U_{нм.ф(1)i}$ — наименьшее действующее значение напряжения фазных напряжений i -го измерения, В.

Допускается определять коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности по формуле:

$$K_{0Ui} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)i}}{U_{ном.мф}} \cdot 100 \%; \quad (6)$$

Исследования влияния несимметрии напряжения на потери проводились в системе электроснабжения 0,4 кВ деревни Сайгатина Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, обеспечивающей

электрической энергией как частные жилые дома, так и часть различных малых предприятий, связанных с обслуживанием населения и социальных объектов, также объектов ПАО «Сургутнефтегаз».

Были произведены замеры напряжений на КТПН 6/0,4 кВ № 9 с силовым трансформатором марки ТМГ-630/6/0,4. Система заземления данной системы электроснабжения TN-S.

С помощью специализированного сертифицированного оборудования «Энерготестер ПКЭ-А» были измерены и получены действующие значения напряжений на шинах трансформатора КТПН [3].

В результате измерений были получены: осциллограмма линейных напряжений (рис. 1), графики линейных (рис. 2) и фазных (рис. 3) напряжений.

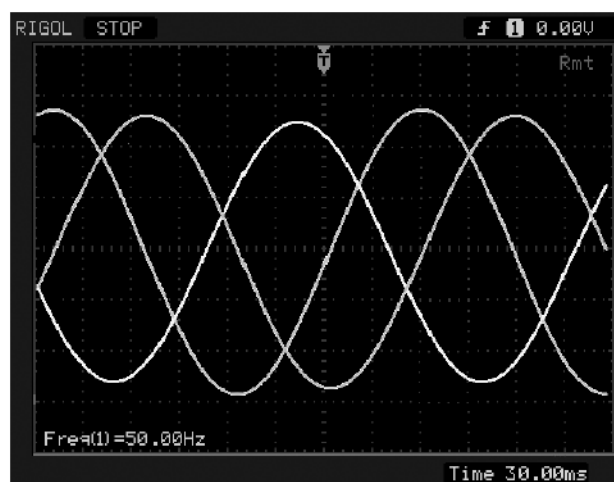


Рис. 1. Осциллограмма линейных напряжений от 18.03.2023 14:21

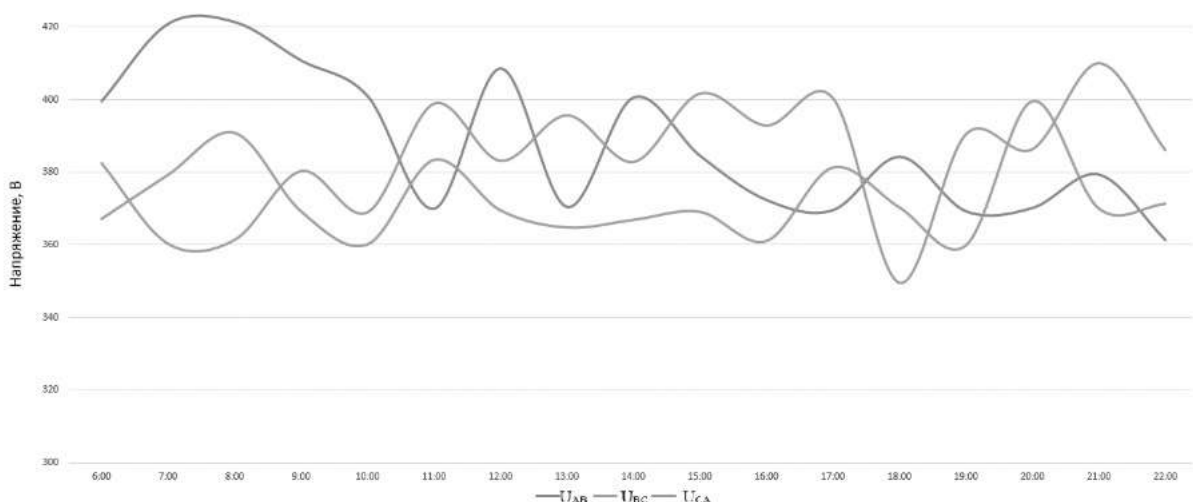


Рис. 2. График линейных напряжений от 18.03.2023

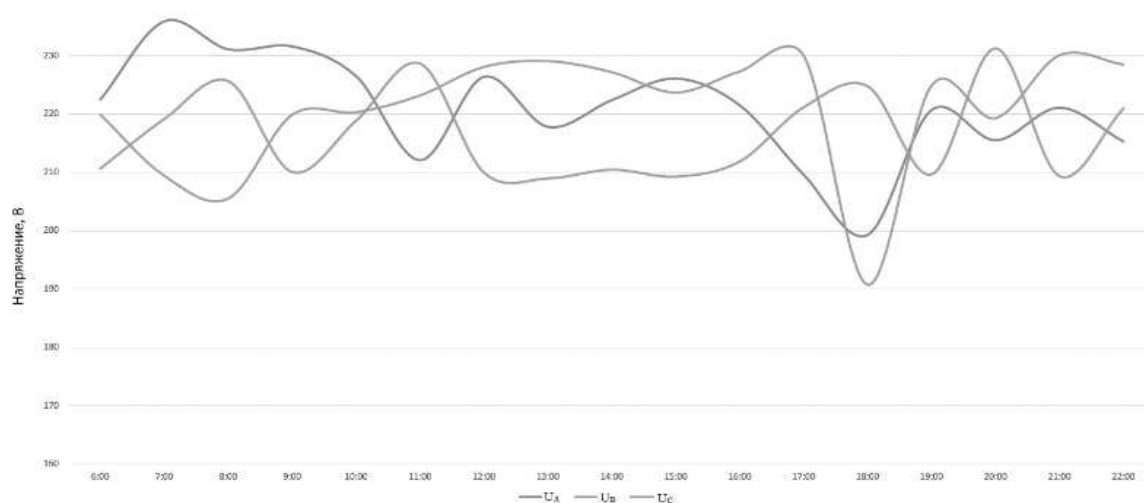


Рис. 3. График фазных напряжений от 18.03.2023

Из анализа осциллограммы и графиков напряжений можно заключить, что на шинах трансформатора наблюдается несимметрия напряжений.

Из результатов измерений было определено действующее напряжение по обратной последовательности i -го измерения по формуле (3):

$$U_{2(1)i} = 0,62 \cdot (399,5 - 367,2)$$

$$U_{2(1)i} = 20 \text{ В}$$

Определен коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности по формуле (5):

$$K_{2Ui} = \frac{20}{380} \cdot 100 \%;$$

$$K_{2Ui} = 5,3\%.$$

Аналогичным образом определен коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности:

$$K_{0Ui} = 3,3\%.$$

Результаты измерений линейных и фазных напряжений, расчеты коэффициентов несимметрии по прямой и обратной последовательности представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Результаты измерений на КТПН 6/0,4 кВ № 9

Дата	Время	U _л , В			U _ф , В			K _{2U} , %	K _{0U} , %
		U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}	U _A	U _B	U _C		
18.03.2023	6:00	399,5	367,2	382,4	222,4	210,6	219,9	5,3	3,3
18.03.2023	7:00	420,8	379,3	360,3	235,8	219,1	209,4	9,9	7,5
18.03.2023	8:00	421,3	390,8	361,4	231	225,6	205,5	9,8	7,2
18.03.2023	9:00	410,7	369,2	380,3	231,5	210	219,9	6,8	6,1
18.03.2023	10:00	400,9	360,2	369	226,4	218,8	220,3	6,6	2,2
18.03.2023	11:00	379,3	370	409,9	221	209,3	230,1	6,5	5,9
18.03.2023	12:00	408,5	369,5	383,1	226,3	209,9	228,1	6,4	5,1
18.03.2023	13:00	384,2	370,3	349,6	199,2	224,7	190,7	5,7	9,6
18.03.2023	14:00	400,5	366,9	382,8	222,3	210,4	227,2	5,5	4,7
18.03.2023	15:00	384,5	369,1	401,6	226	209,2	223,7	5,3	4,7
18.03.2023	16:00	372,3	361,1	392,8	221,4	211,8	227,3	5,2	4,4
18.03.2023	17:00	369,5	381,3	400,3	209,5	221,1	230	5	5,8
18.03.2023	18:00	370,4	364,8	395,6	217,7	208,9	229,1	5	5,7
18.03.2023	19:00	369,2	359,9	390,4	220,6	209,6	224,9	5	4,3
18.03.2023	20:00	370,1	399,5	386,3	215,4	231,2	219,3	4,8	4,5
18.03.2023	21:00	369,9	383,4	398,8	212	228,6	223,2	4,7	4,7
18.03.2023	22:00	361,3	371,3	386	215,2	220,9	228,5	4	3,8

Из представленных расчетов можно сделать вывод, что коэффициенты несимметрии по прямой и обратной последовательностям не удовлетворяют требованиям ГОСТ 32144-2013 и превышают нормируемые 4%. Превышение коэффициентов несимметрии ведет к потерям активной мощности.

Так, например, несимметричный режим работы электрической сети приводит к появлению дополнительных потерь в силовых трансформаторах, которые обусловлены протеканием токов обратной последовательности, приводят не только к потерям, но и дополнительному нагреву в обмотках трансформатора, тем самым снижая срок его службы.

Дополнительные потери активной мощности можно определить по формуле:

$$\Delta P_{\text{тр.н}} = K_{2U}^2 \cdot (\Delta P_{\text{x.x}} + \frac{\Delta P_{\text{к.з}}}{u_{\text{к.з}}^2}); \quad (7)$$

Из формулы (7):

$\Delta P_{x.x}$ — потери холостого хода трансформатора, кВт;

$\Delta P_{к.з}$ — потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

$u_{к.з}$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

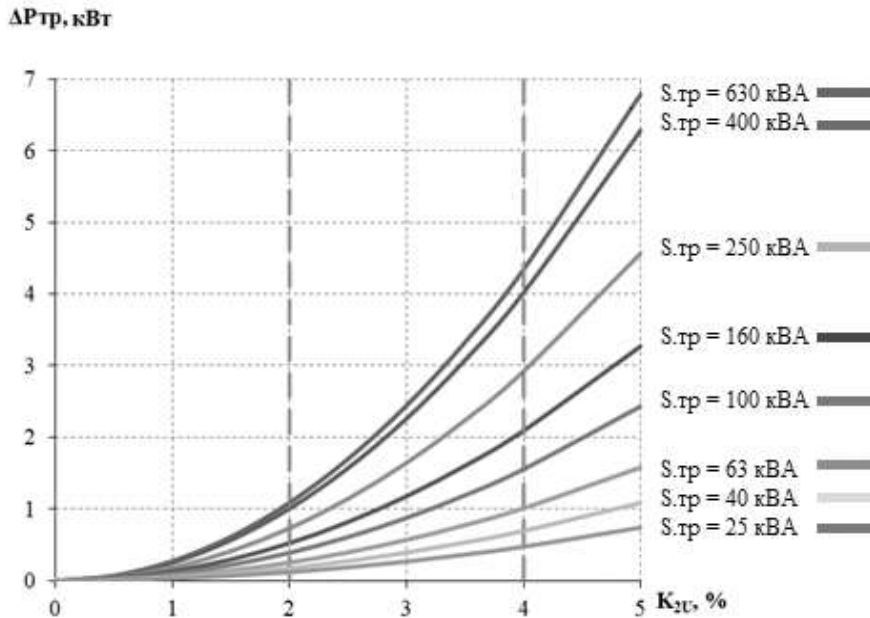


Рис. 3. Зависимость дополнительных потерь трансформатора от коэффициента несимметрии по обратной последовательности

Из рис. 3 видно, что в случае увеличения коэффициента несимметрии по обратной последовательности с 2% до 4% потери увеличиваются в 4 раза.

Для линий электропередачи дополнительные потери мощности из-за несимметричной нагрузки определяются по формуле:

$$\Delta P_{лэп.доп} = \Delta P_{лэп} \cdot K_{н.р}; \quad (8)$$

Из формулы (8):

$K_{н.р}$ — коэффициент неравномерности распределения нагрузки;

$\Delta P_{лэп}$ — основные потери мощности в ЛЭП 0,4 кВ.

Коэффициент неравномерности распределения нагрузки определяется по формуле:

$$K_{н.р} = 3 \cdot \frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{I_a + I_b + I_c} \quad (9)$$

Из формулы (9):

I_a — ток нагрузки фазы А отходящей ЛЭП;

I_b — ток нагрузки фазы В отходящей ЛЭП;

I_c — ток нагрузки фазы С отходящей ЛЭП.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что в электрической сети поселка Сайгатина наблюдаются несоответствие ПКЭ, а именно коэффициентов прямой и обратной последовательности, и явно выраженная несимметрия напряжений, что приводит к появлению дополнительных потерь мощности в трансформаторе и линиях электропередачи. Энергоснабжающей организации необходимо произвести ряд мероприятий, направленных на выявление и устранение первопричин появления несимметрии напряжений, принять действия, направленные на симметричное перераспределение нагрузок потребителя в системе электроснабжения. Также стоит отметить, что для борьбы с несимметрией напряжения можно использовать специальные симметрирующие устройства, так как применение таковых является одним из эффективных и легко реализуемых способов устранения несимметрии.

Список использованной литературы

1. Борисов, А. А. Определение качества электрической энергии в трехфазной сети: методические указания к выполнению лабораторных работ / А. А. Борисов, В. М. Зырянов. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2010. — 57 с.
2. Правила устройства электроустановок. — 7-е издание.
3. Сенигов, П. Н. Качество электрической энергии в трехфазной сети. Руководство по выполнению базовых экспериментов. КЭТ.001 РБЭ (921) / П. Н. Сенигов. — Челябинск : ИПЦ «Учебная техника», 2006. — 51с.
4. Несимметрия напряжений в трехфазных системах как электромагнитная помеха: учебное пособие / сост.: Е. Ю. Кислицин, М. В. Рыжаков, В. Г. Сальников [и др.]; Сургут. гос. ун-т. — Сургут : ИЦ СурГУ, 2020. — 89 с.

УДК 621.315

Иванов Т. А., Камнев В. В., Кочергина М. С., Рогонов В. В., Бигун А. Я.
Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПУТИ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

г. Сургут

Аннотация. Электроэнергетика является одним из факторов, влияющих на экономический рост в стране, так как необходимо удовлетворять потребность в электрической энергии промышленности, народного хозяйства и населения. В статье представлены анализ потребления электрической энергии, перспективы развития электроэнергетической систем, а также приведен вариант модернизации подстанции, питающей бурно развивающийся район в Сибири.

Ключевые слова: электрическая сеть, подстанция, реконструкция, новые технологии.

Ivanov T. A., Kamnev V. V., Kochergina M. S., Rogonov V. V., Bigun A. Ya.
Surgut State University, Surgut

WAYS OF DEVELOPMENT
OF THE ELECTRIC POWER COMPLEX

Surgut

Abstract. The electric power industry is one of the factors influencing economic growth in the country, since it is necessary to meet the demand for electric energy of industry, the national economy and the population. The article presents an analysis of electric energy consumption, prospects for the development of electric power systems, as well as a variant of modernization of a substation feeding a rapidly developing area in Siberia.

Keywords: electrical network, substation, reconstruction, new technologies.

В мире в целом и в России наблюдается повышение спроса на электрическую энергию. Данный факт связан, с ростом производства товаров. Поэтому для обеспечения российских потребителей электроэнергетическим компаниям в ближайшем будущем предстоит выбрать варианты устойчивого развития — строительство большего количества генерирующих мощностей, внедрение мер по энергоэффективности или программ управления спросом [1].

Российская экономика переживает трансформацию, которая характеризуется изменением ее структуры, появлением новых отраслей. На государственном уровне ставятся цели ускорения технологического развития и внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере [2]. Все это ведет к изменению характера и географии потребления электроэнергии, а также повышению требований к качеству электроснабжения.

При развитии системы электроснабжения должны преследоваться следующие задачи: повышение надежности и эффективности, доступность, управляемость и безопасность работы системы. В качестве перспектив развития электроэнергетики России можно назвать децентрализацию, микрогенерацию, цифровизацию, замену силового оборудования на более энергоэффективное [3]. При развитии энергосистем приоритет должен отдаваться отечественному оборудованию. В качестве примера оборудования и материалов, удовлетворяющего вышеизложенные требования, можно привести высокотемпературные провода повышенной пропускной способности, устройства с элегазовой изоляцией, оптические измерительные трансформаторы и др.

Показатели потребления электрической энергии в 2020 году определяются сложившейся динамикой основных показателей социально-экономического развития страны. Территориальное распределение потребления электрической энергии по объединенным энергосистемам (далее — ОЭС), отражающее сложившиеся региональные пропорции российской экономики, характеризуется преобладанием трех крупнейших ОЭС — Центра, Урала и Сибири, суммарная доля которых в 2020 году составляет 67,3% от общего объема потребления электрической энергии ЕЭС России. Объем потребления электрической энергии по ОЭС Сибири в 2020 году составил 209,369 млрд кВт·ч. К 2027 году объем спроса на электрическую энергию в ОЭС Сибири прогнозируется на уровне 237,686 млрд кВт·ч (среднегодовой темп прироста за период — 1,8%) [4]. В 2020 году собственный максимум

потребления мощности зафиксирован на отметке 30 852 МВт. Собственный максимум потребления мощности в 2021 году прогнозировался на уровне 31 509 МВт, а к 2027 году прогнозируется на уровне 34 594 МВт при среднегодовых темпах прироста максимумов потребления мощности за 2021–2027 годы — 1,7%. Преобладающая часть (около 60%) прогнозируемого общего прироста спроса на электрическую энергию в ОЭС Сибири обусловлена ожидаемым увеличением потребления электрической энергии в энергосистемах Иркутской области и Красноярского края [5]. Одной из причин повышения потребления в Красноярском крае является модернизация алюминиевого завода КрАЗ, которая планируется в период 2023–2028 годы. На его территории будут возведены два больших корпуса с электролизерами РА-550, которые потребуют дополнительной электрической мощности. КрАЗ получает электроэнергию от подстанции «Енисей-500», которую необходимо будет модернизировать для увеличения передачи электроэнергии к заводу.

Электрическая подстанция «Енисей» (рис. 1) работает в устойчивом режиме работы, то есть успешно выполняет основные функции по приему, преобразованию, распределению и транзиту электрической энергии. В данный момент времени на ней установлено 6 автотрансформаторов модели АОТДЦН 267000/500/220, но с увеличением производства Красноярского алюминиевого завода (далее — КрАЗ) увеличится спрос на передаваемую электроэнергию и появится острая необходимость по реконструкции подстанции или постройки новой.



Рис. 1. Расположение подстанции «Енисей-500»

Наиболее перспективным является реконструкция данного объекта. В ходе реконструкции предлагаем к замене два открытых распределительных устройства на комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией; провода воздушных линий, ведущих с подстанции «Енисей» к КраЗ, — с провода типа АС на провод типа АСПТ соответствующего сечения; а также замену существующих проводов между Красноярской ГЭС до подстанции «Енисей», от подстанции «Енисей» до подстанции «Красноярская» и от «Красноярской» до подстанции «Камала-1». Помимо вышеизложенного, предполагаем дооснащение подстанции «Енисей» шестью трансформаторами, уже находящимися в эксплуатации.

Предложенный вариант модернизации приведет к повышению безопасности эксплуатации подстанции персоналом, к возможности дальнейшего развития завода без дополнительных капиталовложений в модернизацию питающей сети, повышение устойчивости узла электроэнергетической сети, уменьшению занимаемой рабочей площади.

Для контроля состояния оборудования и наблюдения за работой подстанции предлагаем использовать информационно-техническую платформу «СК-11». Как показывает практика, цифровизация подстанций является одним из лучших способов для повышения надежности и работоспособности последних.

Основываясь на вышеизложенном, видно, что с применением в подстанциях новых технологий при реконструкции можно добиться повышения эффективности оперативно-технического управления во время аварийно-восстановительных работ, поддержки постоянно растущего объема потребляемой энергии потребителей, повышения надежности работы подстанций.

Список использованной литературы

1. Прогноз научно-технологического развития отраслей ТЭК России на период до 2035 г., утвержденный 14 октября 2016 г., актуализированный от 21 декабря 2021 г. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/456026524> (Дата обращения: 05.04.2023)
2. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная указом Президента РФ от 01.12.2016 № 642. — URL: <https://new.ras.ru/upload/iblock/deb/y0hs30v4g40corv1x464r96ijjt32ed6.pdf> (Дата обращения: 05.04.2023)

3. Энергетическая стратегия России до 2035 года от 9 июня 2020 г. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/565068231> (Дата обращения: 05.04.2023)

4. Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2021–2027 годы: Приказ Минэнерго России от 26.02.2021 № 88. — URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/20706/156298> (Дата обращения: 06.04.2023)

5. Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2019–2025 годы: Приказ Минэнерго России от 28.02.2019 № 174. — URL: <https://minenergo.gov.ru/view-pdf/14828/97146> (Дата обращения: 06.04.2023)

УДК: 621.316.94

*Денчик Ю. М.¹, Соседов И. Н.¹, Суварян А. С.¹, Иванова Е. В.¹,
Сальников В. Г.²*

¹Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ СЕТИ 10/0,4 кВ КАК РЕЦЕПТОРА ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

г. Новосибирск

Аннотация. В статье описывается алгоритм вычисления кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи при воздействии гармоник на сети 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью при токе замыкания на землю. Также установлено техническое условие для обеспечения электромагнитной совместимости электрических сетей напряжением 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью как рецептора при воздействии гармоник.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, сети среднего напряжения, гармоники, короткое замыкание, емкостной ток.

*Denchik U. M.¹, Sosedov I. N.¹, Suvaryan A. S.¹, Ivanova E. V.¹,
Salnikov V. G.²*

¹Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

²Surgut State University, Surgut

ENSURING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF THE 10/0,4 kV NETWORK AS A RECEPTOR UNDER HARMONIC INFLUENCE

Novosibirsk

Abstract. This paper describes an algorithm for calculating conductive low-frequency electromagnetic interference under the influence of harmonics on a 10/0,4 kV network with an isolated neutral at a ground fault current. A technical

condition has also been established to ensure electromagnetic compatibility of electrical networks with a voltage of 10/0,4 kV with an isolated neutral as a receptor when exposed to harmonics.

Keywords: *electromagnetic compatibility, medium voltage networks, harmonics, short circuit, technical equipment.*

Нагрузки железнодорожного транспорта на электротяге и промышленных центров с мощными металлургическими производствами имеют нелинейный характер и оказывают отрицательное воздействие на электромагнитную обстановку (ЭМО) в сетях общего назначения. В результате этого могут возникать искажения кривой напряжения в сетях низкого и среднего напряжения, находящиеся даже на большом расстоянии от промышленных объектов. Такие искажения могут превышать допустимые уровни, что оказывает негативное влияние на электроснабжение [1–3].

Среди всех вредных аспектов, оказывающих влияние на технические средства, воздействие гармоник на электрическую сеть 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью является самым опасным и разрушительным. Искажение формы кривой напряжения сети 10/0,4 кВ приводит к увеличению тока замыкания на землю, ухудшает ее надежность и приводит к появлению однофазных замыканий на землю, которые впоследствии могут перейти в двух- и трехфазные короткие замыкания, еще больше ухудшая работу сети [3].

Из-за высокой стоимости, сложности и опасности исследования электромагнитной обстановки в электрических сетях 10–220 кВ всегда стремятся минимизировать количество рассматриваемых характеристик, которые необходимо исследовать, что может привести к неизбежной утере части информации о довольно обширной проблеме воздействия гармоник. Поэтому на данный момент существует ряд вопросов, который еще не был решен в области электромагнитной совместимости (ЭМС) электрических сетей различных классов напряжения.

В особенности одним из таких вопросов является отсутствие технического условия для обеспечения ЭМС по току замыкания на землю в сетях напряжением 10/0,4 кВ при воздействии гармоник. По этой причине в данной статье рассматривается способ решения этой научно-технической задачи.

Влияние несинусоидальности напряжения в сети 10/0,4 кВ на ток замыкания на землю

При воздействии гармоник на сеть 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью ток замыкания на землю (I_3) находится с помощью суммарного коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения (K_u) и емкостного тока замыкания на землю (I_c), рассчитанного при нормальном синусоидальном напряжении. Можно представить задачу определения I_3 при $K_u > 0$ как экстремальную, и использовать метод планирования эксперимента для ее решения. Функциональная схема зависимости тока замыкания I_3 от коэффициента K_u представлена на рис. 1.

На основе полного факторного эксперимента была разработана математическая модель процесса замыкания на землю в системе электроснабжения 10/0,4 кВ в условиях гармонических колебаний. Опираясь на математическую обработку результатов эксперимента, выполненного в соответствии с полной факторной схемой [1]:

$$I_3 = I_c(1 + KM[K_u]), \quad (1)$$

где $M[K_u]$ — математическое ожидание коэффициента K_u , %;

K — коэффициент нелинейной зависимости тока замыкания на землю от степени воздействия гармоник.

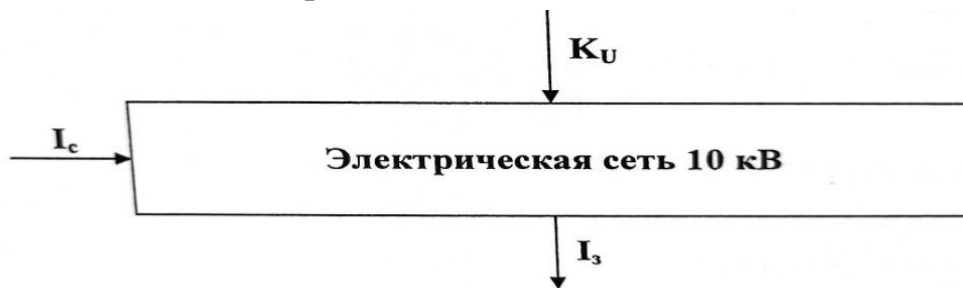


Рис. 1. Функциональная схема зависимости тока замыкания на землю в сети 10/0,4 кВ от суммарного коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения

Эта математическая модель применима для сетей напряжением 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью и емкостным током в пределах $0 < I_c \leq 22$ А. Она также оценивает гармонические искажения синусоидальности кривой напряжения с помощью суммарного коэффициента искажения K_u , который не превышает 9%. При использовании модели (1) для расчета I_3 необходимо

учитывать, что при $0 < I_c \leq 8A$ и следует принимать коэффициент нелинейной зависимости $K = 0,11$, а при $8A < I_c \leq 22A$ – $K = 0,16$. Относительная ошибка при расчете I_3 не превышает $\pm 10\%$, что находится в рамках допустимой погрешности при вычислении суммарного коэффициента K_u в сетях 10/0,4 кВ [2].

Кондуктивная электромагнитная помеха по току замыкания на землю в сети 10/0,4 кВ

Если сеть 10 кВ с изолированной нейтралью, то при замыкании фазы на землю допускается продолжать ее работу до 2 часов, при условии, что емкостной ток ($I_{c,d}$) не превышает 20А, а железобетонные и металлические опоры воздушных линий электропередачи (ЛЭП) отсутствуют, и не превышает 10А, если они присутствуют [2]. Этот двухчасовой период является стандартным нормативным временем, основанным на опыте эксплуатации изоляционных материалов в электротехнической промышленности и достижениях по их совершенствованию. Поэтому этот период должен восприниматься как время поиска и устранения однофазного короткого замыкания на участке электросети.

После проведения практических исследований несинусоидальных режимов напряжения в электрических сетях было установлено, что коэффициент K_u относится к нормальному распределению вероятностей, что свидетельствует о его случайной природе, подчиняющейся нормальному закону теории вероятностей. Это также означает, что величина I_3 является случайной и имеет определенную связь с таблицей вероятностей, которая характеризует поле событий [3]:

$$(I_{31}; I_{32}; I_{33}; \dots; I_{3n} \ P_{31}; P_{32}; P_{33}; \dots; P_{3n}), \quad (2)$$

где $I_{31}, I_{32}, I_{33}, \dots, I_{3i}, \dots, I_{3n}$ — показатели в течение периода измерений тока замыкания фазы на землю, А;

$P_{31}, P_{32}, P_{33}, \dots, P_{3i}, \dots, P_{3n}$ — вероятности появления значений этого тока.

Если ток при замыкании фазы на землю превышает допустимое значение $I_{c,d}$, то возникает кондуктивная низкочастотная ЭМП, которая может оказать влияние на часть поля событий (2) и вызывается превышением тока замыкания фазы на землю при несинусоидальной форме кривой напряжения δI_3 допустимого значения, зависящего от класса напряжения сети [3]:

$$\delta I_3 = \frac{I_3}{I_{c,д}} = \frac{1 + KM[Ku]}{1 + b} > 1,0,$$

где $b = \Delta I_c / I_c$ — относительное значение запаса электрической сети по току замыкания на землю;

$\Delta I_c = (I_3 - I_c)$ — запас электрической сети с изолированной нейтралью по току замыкания на землю, заложенный при построении системы электропитания на синусоидальном напряжении, А.

Для изучения функции $\delta I_3 = f(b, M[K_u])$ использовалась математическая модель (3) с использованием значений аргументов, описывающих ЭМО в реальной сети напряжением 10/0,4 кВ: ($0 < M[K_u] \leq 5,6\%$; $0,3 \leq b \leq 2$).

На рис. 2 представлено геометрическое представление функции, которое показывает, что появление кондуктивной электромагнитной помехи (ЭМП) δI_3 возникает при определенном значении коэффициента искажения $M[K_u, b]$ (прямая ав).

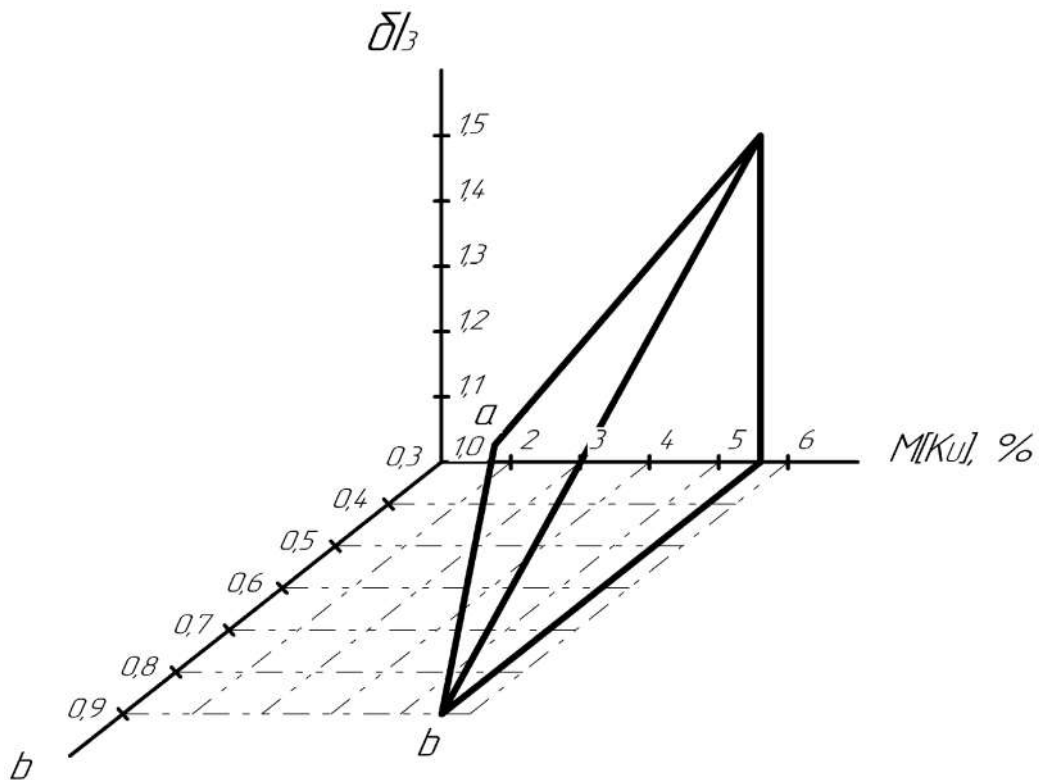


Рис. 2. Геометрическое представление функции $\delta I_3 = f(b, M[K_u])$

По теореме единственности и теореме непрерывности производящих функций можно установить, что вероятность возникновения кондуктивной ЭМП $P(I_3 > I_{c,д})$ при токе, превышающем определенное значение $I_{c,д}$,

соответствует вероятности появления определенного значения K_u на участке, начиная от $M[K_u]$ до бесконечности. Тогда вероятность возникновения величины δI_3 можно установить при помощи математической модели:

$$P(I_3 > I_{c,d}) = P(M[K_{u,b}] < K_u < \infty) = \int_{M[K_{u,b}]}^{\infty} f(K_u, M[K_u], \sigma[K_u]),$$

где $\sigma[K_u]$ — среднеквадратичное отклонение, %.

Данный определенный интеграл вычисляется с применением теории Лапласа, так как функция $f(K_u, M[K_u], \sigma[K_u])$ представляет собой нормальную плотность вероятности распределения K_u в сети 10/0,4 кВ.

Следовательно, для обеспечения электромагнитной совместимости по току замыкания на землю при воздействии гармоник на электрическую сеть 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью требуется соблюсти условие $\delta I_3 \leq 1$, $P(I_3 > I_{c,d}) = 0$, а также техническое условие:

$$V > KM[K_{u,b}]$$

Заключение

1. Предложен метод определения значений кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи, которая возникает при токе замыкания на землю в электросети напряжением 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью при воздействии гармоник.

2. Были разработаны требования для технического обеспечения электромагнитной совместимости электросетей напряжением 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью как рецептора при воздействии гармонического сигнала.

3. Коэффициент нелинейных искажений и ток замыкания на землю определяются таблицей вероятностей и являются случайными величинами, связанными с полем событий.

4. Использование данного метода при расчетах обеспечивает соблюдение технических требований по электромагнитной совместимости сетей 10/0,4 кВ с изолированной нейтралью при воздействии гармоник.

Список использованной литературы

1. 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.

2. Денчик, Ю. М. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Ю. М. Денчик, Г. А. Данилов, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников;

под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. — Новосибирск : НГАВТ, 2013. — 559 с.

3. Иванова, Е. В. Обеспечение электромагнитной совместимости в системах электроснабжения общего назначения мощных электрических нагрузок / Е. В. Иванова // Промышленная энергетика. — М., 2004. — № 11. С. 50–54.

УДК 621.311

Овчаренко М. Е., Заруднев А. А., Антипин Д. П.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MATLAB
И ПРОВЕРКА РЕЗУЛЬТАТОВ В НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

г. Сургут

Аннотация. Рассматриваются несимметричные режимы работы в электрической сети. Создана модель электрической сети в комплексе Matlab. Произведен расчет коэффициентов несимметрии по нулевой и обратной последовательностям по результатам сборки электрической сети в реальных условиях и по результатам моделирования. Полученные коэффициенты сравнены между собой.

Ключевые слова: *несимметрия, Matlab, моделирование электрической сети*

Ovcharenko M. E., Zarudnev A. A., Antipin D. P.

Surgut State University, Surgut

INVESTIGATION OF ASYMMETRIC OPERATION MODES IN THE ELECTRIC
NETWORK IN THE MATLAB SOFTWARE COMPLEX AND VERIFICATION OF
THE RESULTS IN FIELD EXPERIMENTS

Surgut

Abstract. Asymmetric modes of operation in the electrical network are considered. An electrical network model was created in the Matlab complex. The calculation of the coefficients of asymmetry for zero and reverse sequences was carried out based on the results of assembling the electrical network in real conditions and on the basis of simulation results. The obtained coefficients are compared with each other.

Keywords: *unbalance, Matlab, electrical network modeling*

Несимметричные режимы в электрических сетях возникают по следующим причинам: неодинаковые нагрузки в различных фазах, неполная работа линий или других элементов в сети, различные параметры линий в разных фазах. Наиболее часто несимметрия напряжений в электрических сетях 0,4 кВ возникает из-за неравенства нагрузок фаз.

Рассмотрим электрическую сеть с симметричным режимом работы. На рис. 1 представлена собранная установка для снятия показаний напряжения и токов по каждой фазе. Были использованы следующие блоки: трехфазный источник питания, трехфазный трансформатор, измеритель параметров однофазной сети, модель линий электропередач, анализатор качества электроэнергии LPW-305, индуктивная нагрузка и активная нагрузка.

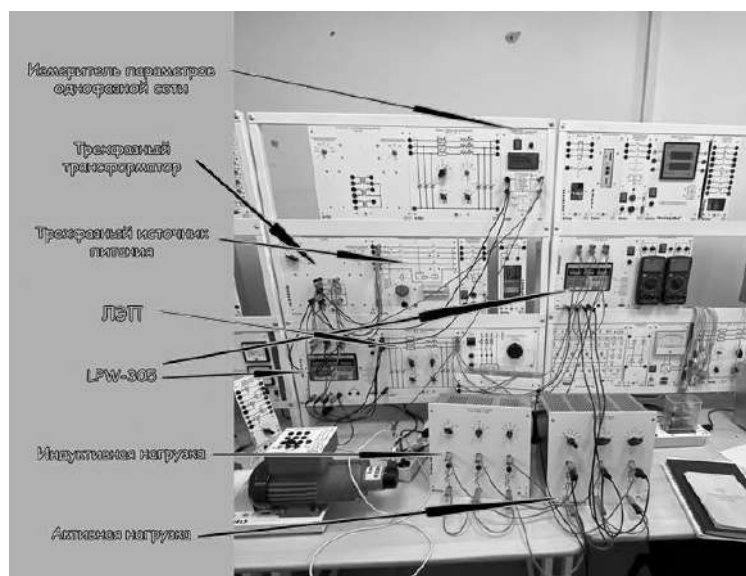


Рис. 1. Электрическая сеть в реальных условиях

В программном комплексе Matlab собрали электрическую сеть (рис. 2). Использовали следующие блоки: Three-Phase Source (Трехфазный источник питания), Three-Phase Transformer Two Windings (Трехфазный трансформатор с 2 обмотками), Three-Phase V-I Measurement (Трехфазный измеритель), Three-Phase Series RLC Branch (Трехфазная нагрузка) в качестве модели линий электропередачи, Three-Phase Parallel RLC Load (Трехфазная параллельная нагрузка RLC), Ground (Земля), Scope (Осциллограф), Powergui, Current Measurement (Амперметр).

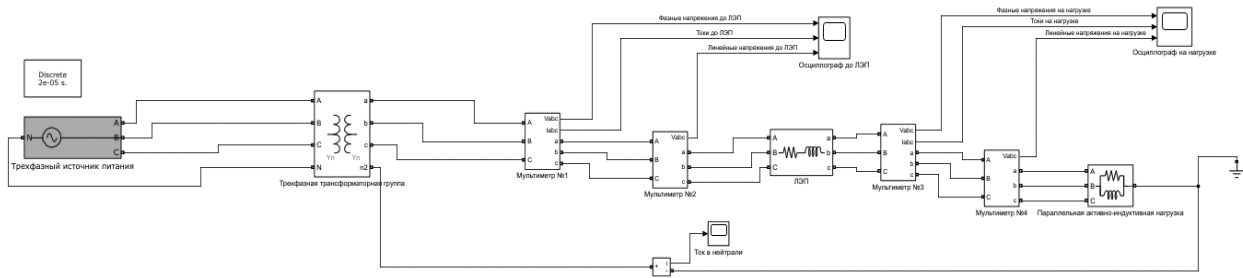


Рис. 2. Модель электрической сети в программном комплексе Matlab

Установили по 30 Вт активной нагрузки и 20 Вар индуктивной нагрузки на каждую фазу. В результате работы в симметричном режиме были получены следующие результаты:

Таблица 1. — Симметричный режим работы

	Натурный эксперимент						Результаты моделирования в Matlab					
	Фазные напряжения U, В			Фазные токи I, А			Фазные напряжения U, В			Фазные токи I, мА		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
P = [30 30 30] Вт Q = [20 20 20] Вар	195,8	196,6	194,2	0,158	0,159	0,157	187,6	187,6	187,6	0,14	0,14	0,14

Рассчитали относительную погрешность по напряжениям и получили, что отклонение составляет 5%. Модель считаем адекватной.

Рассмотрим несимметричные режимы работы с двумя разными нагрузками. В первом опыте уменьшаем активную нагрузку на первой фазе до 6 Вт, а индуктивную отключаем вовсе. На остальных фазах оставляем нагрузку, как в симметричном режиме. Во втором опыте увеличим активную нагрузку на первой фазе до 12 Вт, а индуктивную увеличим до 6 Вар. На остальных фазах оставляем нагрузку, как в симметричном режиме.

Коэффициенты по нулевой и обратной последовательностям считаем по формулам:

$$KU_0 = \frac{0,62 \cdot (U_{\phi max} - U_{\phi min})}{U_{ном}} 100\%, \quad (1)$$

$$KU_2 = \frac{0,62 \cdot (U_{\phi max} - U_{\phi min})}{U_{\phi min}} 100\%, \quad (2)$$

KU_0 — коэффициент по нулевой последовательности;

KU_2 — коэффициент по обратной последовательности.

Отдельно выпишем коэффициенты по нулевой и обратной последовательностям, которые отображает анализатор качества электроэнергии LPW-305. Получаем следующие результаты:

Таблица 2. — Несимметричные режимы работы электрической сети в реальных условиях

	Напряжения U, В			Фазные токи I, А			Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности KU0, %		Коэффициент несимметрии по обратной последовательности KU2, %	
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	LPW-305	Расчет	LPW-305	Расчет
Первый опыт	228,7	200,5	200,5	0,024	0,162	0,161	4,85	7,94	4,95	8,72
Второй опыт	216	200	199	0,076	0,162	0,161	3,07	4,79	3,2	5,3

Таблица 3. — Моделирование несимметричных режимов работы электрической сети в Matlab

	Напряжения U, В			Фазные токи I, А			Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности KU0, %	Коэффициент несимметрии по обратной последовательности KU2, %
	L1	L2	L3	L1	L2	L3		
Первый опыт	212,8	187,94	187,94	0,027	0,14	0,14	7,01	8,2
Второй опыт	202,13	187,94	187,94	0,065	0,14	0,14	4	4,68

Показание LPW-305 отличаются от полученных расчетом значений в $\sqrt{3}$ раза. Связываем это с ошибкой в программе прибора, которая не учитывает коэффициент $\sqrt{3}$ при расчете коэффициентов несимметрии по нулевой и обратной последовательностям.

Для анализа полученных результатов найдем разницу между результатами моделирования и натурального эксперимента. Для первого опыта $\Delta KU_0 = 0,93\%$, $\Delta KU_2 = 0,52\%$. Для второго опыта $\Delta KU_0 = 0,79\%$, $\Delta KU_2 = 0,62\%$.

Таким образом, можно сделать следующие выводы: модель адекватна, результаты моделирования совпадают с результатами натурального эксперимента, отклонение составляет 5%; в приборе LPW-305 расчет коэффициентов несимметрии осуществляется с ошибкой, различие между посчитанными и измеренными прибором составляет в $\sqrt{3}$ раз; результаты модели адекватно описывают несимметрию, что позволяет проводить дальнейшие исследования; разработанная модель позволяет изучить несимметрию при более высоких нагрузках без повреждения оборудования в реальных условиях.

Список использованной литературы

1. Ананичева, С. С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах: учебное пособие / С. С. Ананичева, А. А. Алексеев, А. Л. Мызин.; 3-е изд., испр. — Екатеринбург: УрФУ, 2012. — 93 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: межгосударственный стандарт: дата введения 2014-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Изд. Официально. — Москва : Стандартинформ, 2014.

УДК 621.3

*Кайдар А. Б.¹, Кислов А. П.², Шапкенов Б. К.², Марковский В. П.²,
Уразалимова Д. С.²*

¹КазАТУ им. Сейфуллина

²Торайгыров университет

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ С ВЕТРОКОЛЕСАМИ
С ИЗМЕНЯЕМЫМИ МОМЕНТАМИ ТРОГАНИЯ
ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация. Статья посвящена ветроэнергетике, в частности рациональному и более эффективному использованию кинетической энергии ветра как альтернативного источника энергии. Приведена конструкция ветроколеса ветрогенератора с изменяемым моментом вращения, которая может быть использована в ветродвигателях различного назначения и мощности с осью вращения ротора, совпадающей с направлением ветра. Показано, что новая конструкция, обеспечивающая изменение момента трогания ветроколеса, позволяет регулировать скорость вращения ветроколеса вверх и вниз от значения скорости типовых конструкций. Приведена критика известных решений ветроколес, послуживших в качестве аналога и прототипа. Предложены основные решения по построению систем автономного электроснабжения с ветрогенераторами особой конструкции.

Ключевые слова: ветроколесо, ветрогенератор, система автономного электроснабжения, лопасти, быстроходность, парусность.

Известно ветроколесо с осью вращения, совпадающей с направлением ветра [1], содержащее связанный с осью жесткий каркас с выступающими из него наклоненными вперед, на ветер стержнями, являющимися осями лопастей. Лопасти навешены на оси несимметрично, так что большая часть лопасти расположена с подветренной стороны, массы частей сбалансированы относительно оси. Каждая лопасть связана с каркасом пружиной кручения с возможностью отклонения. Каркас спереди закрыт направленным вершиной вперед конусом. На наружной боковой поверхности конуса укреплены

жесткие лопатки, опоясанные по окружности основания конуса цилиндром с окнами напротив каждой лопатки.

Недостатком ветроколеса является его низкая быстроходность, присущая всем многолопастным ветроколесам, что снижает генерацию электроэнергии, высокая парусность, являющаяся угрозой конструкции генератора при сильных ветрах, невозможность адаптации для характерных для конкретной местности ветровых потенциалов.

Известно устройство, по технической сущности являющееся прототипом [2], где ветроколесо с осью вращения, совпадающей с направлением ветра, содержащее связанный с осью жесткий и закрытый направленным вершиной вперед конусом каркас, с выступающими из него прямыми стержнями с насаженными на них сбалансированными лопастями, связанными пружинами кручения с каркасом, отличающееся тем, что ось вращения ветроколеса закреплена в поворотно-опорном механизме с возможностью вращения, каркас выполнен из изогнутых под прямым углом стержней и навешенными на них посредством трубок криволинейными лопастями по всей площади ометания, при этом криволинейные лопасти снабжены блоками с пропущенными через них тросами, соединенными с грузами, насаженными на прямых стержнях с возможностью перемещения по ним, а пружины кручения установлены на изогнутых стержнях каркаса, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям.

Недостатком этого ветрогенератора является низкая быстроходность, сложность конструкции, высокая парусность, что приводит к выходу из строя ветрогенератора.

В связи с этим поставлена задача разработать ветрогенератор с изменяемым моментом вращения ветроколеса в широком диапазоне скоростей ветра. Техническим результатом является более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра.

Схема подобного устройства [3] приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения:

- 1 — лопасти ветроколеса;
- 2 — шток;
- 3 — зубчатые рейки;
- 4 — регулирующая шестерня;

Ветроколесо содержит лопасти (1), прикрепленные штоками (2) к зубчатым рейкам (3), которые находятся в зацеплении с регулирующей шестерней (4), которая может вращаться посредством ручки (5) поворотного механизма шестерни (6), прикрепленной с возможностью вращения к ступице (7). Ступица (7) ветроколеса присоединена жестко с валом электрогенератора (8). Зубчатые рейки прикреплены к ступице с возможностью перемещения вверх-вниз при вращении шестерни.

Устройство работает следующим образом. При низких скоростях ветра или в период низких скоростей ветров в конкретной местности диаметр ветроколеса уменьшается посредством вращения ручки (5) поворотного механизма шестерни против часовой стрелки. Вращающий момент $M_{вр}$ состоит из нормальной $F_{нор} \cdot h$ (перпендикулярной) и тангенциальной $F_{tg} \cdot h$ составляющей. Вращающий момент $M_{вр}$ за счет увеличения плеча приложения тангенциальной составляющей силы ветра F_{tg} увеличивается пропорционально увеличению длины плеча h от h_{min} до h_{max} (рис. 1):

$$M_{вр} = F_{tg} \cdot h.$$

При применении устройства в районах с сильными ветрами или при длительных периодах высокой ветровой активности длина плеча воздействия на лопасти уменьшается поворотом шестерни по часовой стрелке. Управление шестерни может быть ручное или автоматическое посредством применения логической схемы с исполнительным двигателем типа РД.

Список использованной литературы

1. Диденко Д. И., Дуров Д. С. Ветроколесо. Патент на изобретение Российской Федерации № 2391555, F03D 1/06, опубл. 10.06.2010, б. и. № 16.
2. Дробинский А. В., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. Ветроколесо. Патент Республики Казахстан на изобретение № 26105, F03D 1/06, опубл. 14.09.2012, б. и. № 9.
3. Патент Республики Казахстан на изобретение № 36123 от 07.04.2023 г. Система автономного электроснабжения с управляемым моментом трогания ветроколеса. Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Исенов С. С., Шерьязов С. К., Антипов П. А., Шишкин А. В.

УДК 621.311.12

Князев О. А., Харлампьева С. С.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

О ТРАНСПОРТНОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ НА ОСНОВЕ
МАГНИТНОГО ТЯЖЕНИЯ

г. Новосибирск

Аннотация. В статье представлен альтернативный взгляд на тип привода локомотивов и других транспортных средств в противовес классическим электродвигателям. Представлены математически обоснованные доводы преимущества нетрадиционных электрических машин по сравнению с традиционными электрическими машинами.

Ключевые слова: магнитное тяжение, железная дорога, электровоз, пар, паровоз, паропроизводство, гидрогенератор.

Knyazev O. A., Kharlampyeva S. S.

FSFEI HE “SSUWT”, Novosibirsk

ABOUT THE TRANSPORT ELECTRIC MOTOR BASED ON MAGNETIC TENSION

Novosibirsk

Abstract. The article provides an alternative view on the type of drive of locomotives and other vehicles as opposed to classical electric motors. Mathematically substantiated arguments for the advantages of non-traditional electrical machines over traditional electrical machines are presented.

Keywords: magnetic gravity, railway, electric locomotive, steam, steam locomotive, steam production, hydrogenerator.

Известно, что Российская Федерация занимает второе место в мире по протяженности железных дорог: 85,5 тыс. км [5] против 230 тыс. км

в Соединенных Штатах Америки (США) [4]. В то же время наша страна преобладает по их электрификации. Если у нас охват электротягой составляет 52%, то в США лишь только 0,5%.

Следует отметить, что в первой половине 20 века в США длина электрифицированных линий была существенно выше, а протяженность железных дорог достигла 400 тыс. км. Произшедшие с тех пор изменения в структуре перевозок привели к плановому сокращению длины железных дорог США при улучшении их качества.

В настоящее время в США абсолютно ведущее место в области тяги занимают тепловозы с электрической передачей на постоянном токе [5].

Надо отметить, что по рассмотренным показателям к нашей стране близка Китайская Народная Республика.

Также известно, что до 50–60 годов прошлого столетия на наших железных дорогах лидером перевозок был паровоз типа ФД20, бывший в ряду высших достижений отечественного транспортного машиностроения. Рассмотрим далее технические данные этого паровоза в сравнении с одним из распространенных электровозов Российской железной дороги типа ВЛ10 (таблица 1).

Таблица 1. — Технические данные паровоза ФД20 и электровоза ВЛ10

№	Наименование		Ед. изм.	ФД20	ВЛ10
1	Длина локомотива		м	15,88	32,84
2	Масса		т	134	200
3	Сила тяги	длительно	кГс	21 200	3200
		максимальная		23 300	39 500
4	Мощность	длительно	кВт	2282	4600
		максимальная		2325	5360
5	Конструкционная скорость		км/ч	85	100
6	Число двигателей	паровая машина	шт	2	-
		электродвигатель		-	8
7	Мощность двигателя длительная		кВт	1141	575
8	Масса двигателя		кг	4820	5000
9	Сила тяги на 1 кВт мощности двигателя		кГс/кВт	9,29	6,95
10	Сила тяги на 1 кг массы двигателя		кГс/кг	2,2	0,8
11	Мощность двигателя на 1 кг его массы		кВт/кг	0,2367	0,115
12	КПД	локомотива	%	61-68	-
		двигателя		-	93

Примечание к таблице 1: данные по ФД20 и ВЛ10 представлены [3].

Как видно из таблицы 1, паровая машина ФД20 существенно выигрывает по сравнению с тяговым электродвигателем электровоза ВЛ10:

- по силе тяги на 1 кг массы двигателя — в 2.75 раза;
- по силе тяги на 1 кВт мощности — в 1.336 раза;
- по мощности двигателя на 1 кг его массы в 2,05 раза.

Тяговый двигатель электровоза имеет высокий коэффициент полезного действия (КПД). Однако если учесть потери энергии в электрооборудовании электровоза, в контактной сети, на подстанциях тяги, в высоковольтных линиях электропередач (ЛЭП), обслуживающих железные дороги, в оборудовании электростанций, то результирующий КПД электротяги может существенно уменьшиться. Кроме того, капитальные затраты и эксплуатационные расходы на электрохозяйство, вероятно, соизмеримы с аналогичными расходами на рельсовый путь.

Конечно, вопрос не стоит так, что надо немедленно вернуться к паровой тяге. Но, вероятно, он может быть рассмотрен с учетом современных достижений в технике и технологии паропроизводства.

В настоящей работе рассмотрены предпосылки создания электродвигателя для транспортного средства на основе магнитного тяжения.

В основу взята синхронная явнополюсная электрическая машина, а именно гидрогенератор для Газалкентской гидроэлектростанции (ГЭС), в проектировании которого непосредственное участие принимал один из авторов.

Гидрогенератор имеет следующие технические данные:

тип	СВ 808/130-44
мощность, кВт	40000
напряжение линейное, кВ	10,5
ток линейный, А	2590
частота вращения, об/мин	136,4
частота, Гц	50
КПД, %	97,7
В обозначении типа	
808 — внешний диаметр сердечника статора, см	
130 — полная длина сердечника статора, см	
44 — число полюсов ротора	
Основные размеры и параметры активной зоны гидрогенератора	
диаметр расточки статора	$D_t = 7500$ мм,
дина сердечника статора	$l_t = 1300$ мм

воздушный зазор между статором и ротором	$\delta = 15$ мм,
ширина полюсного наконечника	$b_{\rho} = 375$ мм,
индукция магнитного поля в воздушном зазоре	$B_{\delta} = 0,7213$ Тл.

Гидрогенератор — преобразователь подводимой от турбины механической энергии в электрическую. Количественные показатели преобразования — мощность, момент, тяговое усиление в касательном направлении с единицы площади поверхности статора по диаметру его расточки D_i . В гидрогенераторе СВ 808/130-44 последний равен

$$F_{\text{Эмп}} = 2,4355 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \quad (1)$$

Для сравнения в асинхронном двигателе 4A180M2Y3 [1] мощностью 30 кВт

$$F_{\text{Эмп}} = 1,458 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \quad (2)$$

В линейных асинхронных двигателях по данным [2]

$$(0,3 - 0/6) \cdot 10 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

В гидрогенераторе СВ 808/130-44 при моменте на валу $M = 2,8 \cdot 10^6$, Н/м, касательное тяговое усилие на 1 полюс составляет:

$$f_{\tau} = \frac{M \cdot 2}{2p \cdot D_i} = \frac{2,8 \cdot 10^6}{44 \cdot 7500 \cdot 10^{-3}} = 1,697 \cdot 10^4, \text{ Н.} \quad (3)$$

Работа, выполняемая с этим усилием на пути, пройденном ротором вдоль его окружности, равным воздушному зазору $\delta = 15$ мм:

$$A_{\tau} = f_{\tau} \cdot \delta = 1,697 \cdot 10^4 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 254,6, \text{ Н} \cdot \text{м.} \quad (4)$$

Время выполнения этой работы при окружной скорости ротора на диаметре воздушного зазора $V_{\text{окр}} = 53,56 \frac{\text{м}}{\text{с}}$:

$$t_{p\tau} = \frac{\delta}{V_{\text{окр}}} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{53,56} = 2,8 \cdot 10^{-4}, \text{ с,} \quad (5)$$

и мощность работы (преобразуемая мощность) на 1 полюс равна:

$$P_{\tau} = \frac{A_{\tau}}{t_{p\tau}} = \frac{254,6}{2,8 \cdot 10^{-4}} = 90,93 \cdot 10^4, \text{ Вт (909 кВт; } 909 \cdot 44 = 40000 \text{ кВт)} \quad (6)$$

Аналогичные энергетические показатели в случае перемещения полюса на то же расстояние $\delta = 15$ мм в радиальном направлении под действием силы магнитного тяжения одного полюса при площади полюсного наконечника, обращенной к воздушному зазору $Q_\delta = 0.4748$ м² составляют:

Сила тяги:

$$f_m = 0.4 \cdot B_\delta^2 \cdot Q_\delta \cdot 10^6 = 0.4 \cdot 0.7213^2 \cdot 0.4748 \cdot 10^6 = 0.0988 \cdot 10^6, \text{ Н} \quad (7)$$

Работа на пути $\delta = 15$ мм в радиальном направлении:

$$A_p = f_m \cdot \delta \cdot 10^{-3} = 0.0988 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 1482 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (8)$$

Примем, что движение полюса под действием f_m будет равноускоренным. Тогда при массе полюса $m_p = 952$ кг ускорение составит:

$$a = \frac{f_m}{m_p} = \frac{0.0988 \cdot 10^6}{952} = 103.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad (9)$$

И время движения на пути $\delta = 15$ мм будет равно:

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot \delta \cdot 10^{-3}}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{103.8}} = 0.017 \text{ с.} \quad (10)$$

Таким образом работа A_p на пути δ в радиальном направлении совершится с мощностью:

$$P_p = \frac{A_p}{t_p} = \frac{1482}{0.017} = 87176 \text{ Вт; } 87,2 \text{ кВт} \quad (11)$$

Затраты мощности от стороннего источника для выполнения работы A_p сводятся к потерям, выделяемым в обмотке возбуждения (ОВ), которые в гидрогенераторе CD808/130-44 при сопротивлении ОВ на полюс:

$r = 4.159 \cdot 10^{-3}$ Ом ($t = 75^\circ\text{C}$) и токе возбуждения при $B_\delta = 0.7213$ Тл, равном $I_{\text{ОВ}} = 580$ А составят:

$$P_{\text{ОВ}} = I_{\text{ОВ}}^2 \cdot r_{\text{ОВ}} = 4.159 \cdot 580^2 \cdot 10^{-3} = 1400 \text{ Вт (1.4 кВт)} \quad (12)$$

Примечание: в данном примере допущено, что при движении полюса величины B_δ и $I_{\text{ОВ}}$ постоянны. В действительности:

- при $I_{\text{ОВ}} = \text{const}$ увеличиваются B_{δ} и f_m ;
- при $B_{\delta} = \text{const}$ снижаются $I_{\text{ОВ}}$ и $P_{\text{ОВ}}$;

Выводы:

1. Представленные результаты указывают на энергетическое преимущество электромагнитных устройств над электромеханическими преобразователями в виде традиционной электрической машины.
2. Безусловно, должна быть проведена опытная проверка изложенного, например, на двигателе возвратно-поступательного движения.

Список использованной литературы

1. Кравчик, А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А Справочник / А. Э. Кравчик [и др.] — Москва : Энергоиздат, 1982. — 504 с.
2. Веселовский, О. Н. Линейные асинхронные двигатели / О. Н. Весселовский [и др.] — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 256 с.
3. Железные дороги России. — URL: <https://ru.Wikipedia.org/wik> (Дата обращения: 10.03.2023)
4. Железные дороги Соединенных Штатов Америки. — URL: <https://wikirail.ru> (Дата обращения: 10.03.2023)
5. RAILWAYPUBLISH. Stock up your brain with marvelous information. URL: <http://railway-publisch.com> (Дата обращения: 10.03.2023)

УДК 620.92

Вербовенко Н. И., Кислицин Е. Ю.
ООО «СургутЭнергоСвет», г. Сургут

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕНЕРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВЭС ПРИ ПОМОЩИ
НЕЙРОСЕТЕЙ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассматривается применение нейросетей для оптимизации генерации электроэнергии ветровыми электростанциями (ВЭС). Рассматриваются возможности использования нейросетей для улучшения точности прогнозирования погодных условий и спроса на электроэнергию, а также для оптимизации работы ВЭС. Обсуждаются преимущества и ограничения использования нейросетей в этой области, а также необходимость проведения дополнительных исследований и разработок.

Ключевые слова: *нейросети, генерация электроэнергии, ветровые электростанции, оптимизация, прогнозирование, погодные условия, спрос на электроэнергию.*

Verbovenko N. I., Kislitsin E. Yu.
ООО “SurgutEnergoSvet”, Surgut

OPTIMIZING WIND POWER GENERATION
WITH NEURAL NETWORKS

Surgut

Abstract. This article explores the use of neural networks to optimize wind power generation. The possibilities of using neural networks to improve the accuracy of weather and electricity demand forecasting, as well as to optimize the operation of wind power plants, are discussed. The advantages and limitations of using neural networks in this area are also discussed, as well as the need for further research and development.

Keywords: *neural networks, power generation, wind power plants, optimization, forecasting, weather conditions, electricity demand.*

Ветроэнергетика — один из наиболее быстроразвивающихся секторов в энергетической индустрии. Ветровые электростанции (ВЭС) привлекают внимание из-за своей экологической чистоты и низкой стоимости производства электроэнергии. Однако в генерации электроэнергии с помощью ВЭС существуют некоторые проблемы, которые затрудняют их эффективную эксплуатацию.

Одним из главных вызовов, связанных с генерацией электроэнергии ВЭС, является нестабильность производства. Колебания скорости ветра могут значительно влиять на производительность ВЭС и, следовательно, на количество произведенной электроэнергии. Это означает, что электроэнергия, производимая ВЭС, не может быть предсказана с высокой точностью, что затрудняет интеграцию ВЭС в общую сеть электропитания.

Одним из решений этой проблемы является использование нейросетей для оптимизации генерации электроэнергии ВЭС. В этой статье мы рассмотрим, как нейросети могут помочь в решении проблем, связанных с генерацией электроэнергии ВЭС, а также проанализируем результаты существующих исследований в этой области.

Помимо нестабильности производства, другой вызов, с которым сталкиваются ВЭС, связан с обнаружением и диагностированием неисправностей в станции. Неисправности, такие как повреждение лопастей, могут привести к снижению эффективности ВЭС и увеличению времени простоя. В связи с этим быстрое обнаружение и диагностирование неисправностей являются ключевыми факторами для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации ВЭС.

Недавние исследования показывают, что нейросети также могут быть использованы для обнаружения и диагностирования неисправностей ВЭС. С помощью обучения нейросетей на основе данных мониторинга ВЭС можно создать модели, которые могут автоматически обнаруживать и классифицировать различные типы неисправностей. Такой подход может значительно сократить время обслуживания и увеличить эффективность обнаружения неисправностей.

Кроме того, нейросети могут использоваться для прогнозирования потребления электроэнергии и оптимизации производства электроэнергии

ВЭС в зависимости от прогноза. Это позволяет операторам ВЭС оптимизировать производство и снизить затраты на производство электроэнергии.

В целом использование нейросетей может значительно улучшить эффективность и надежность генерации электроэнергии ВЭС. Однако необходимо проводить дальнейшие исследования и разработки, чтобы улучшить эффективность алгоритмов обучения и расширить область применения нейросетей в этой области.

Еще один вызов, связанный с генерацией электроэнергии ВЭС, — это необходимость поддержания баланса между производством энергии и потреблением. Наиболее распространенным методом решения этой проблемы является хранение избыточной энергии в батареях или других устройствах хранения энергии. Однако существует другой подход, который может быть более эффективным — использование нейросетей для предсказания колебаний спроса на энергию и оптимизации производства электроэнергии в реальном времени.

С помощью нейросетей можно создать модели, которые могут предсказывать будущее потребление энергии на основе данных о погоде, времени суток, днях недели и других факторах. Эти модели могут быть использованы для определения оптимального времени для производства энергии, что позволяет эффективно управлять режимом работы ВЭС и снизить затраты на производство электроэнергии.

Кроме того, нейросети могут использоваться для прогнозирования колебаний погоды, таких как ветер, что позволяет операторам ВЭС оптимизировать производство электроэнергии на основе прогноза. Это также позволяет предотвратить потери энергии, связанные с избыточной генерацией, когда погода не соответствует ожиданиям.

В целом использование нейросетей для оптимизации производства электроэнергии ВЭС является мощным инструментом, который может существенно улучшить эффективность и надежность генерации электроэнергии. Однако необходимо проводить дополнительные исследования и разработки для оптимизации и расширения применения нейросетей в этой области.

В данной статье мы рассмотрели, как использование нейросетей может повысить эффективность генерации электроэнергии ВЭС. Нейросети могут помочь в оптимизации работы ВЭС, улучшении точности прогнозирования погодных условий и прогнозирования спроса на энергию. Это позволяет

сократить затраты на производство электроэнергии и уменьшить потери энергии, связанные с неэффективным использованием ресурсов.

Однако необходимо понимать, что использование нейросетей в этой области требует дополнительных исследований и разработок. Например, необходимо определить оптимальную архитектуру нейросети, а также уточнить точность прогнозирования на основе различных параметров. Кроме того, важно учитывать экологические последствия генерации электроэнергии ВЭС и следить за тем, чтобы использование нейросетей не ухудшало экологическую ситуацию.

В целом использование нейросетей в генерации электроэнергии ВЭС может иметь большой потенциал для улучшения эффективности, надежности и экономичности процесса производства энергии. Но для этого необходимо продолжать исследования и совершенствование технологий в этой области.

Список использованной литературы

1. Paluszek, M. (2018). Нейросетевой подход к краткосрочному прогнозированию энергии ветра // Энергии, 11(12), 3327.
2. Jiang, Z., Yang, Y., & Li, Y. (2019). Обзор моделей прогнозирования энергии ветра на основе искусственного интеллекта // Примененная энергетика, 239, 1045–1064.
3. Kusiak, A., Song, Z., & Wei, X. (2019). Оптимизация генерации энергии с использованием нейронной сети. Примененная энергетика, 240, 161–168.
4. Zhang, Q., Wang, G., Sun, H., & Wang, Z. (2021). Обзор техник оптимизации генерации энергии ветра. Обновляемые и устойчивые источники энергии: обзоры, 138, 110670.
5. Huang, B., Wu, F., & Chen, Y. (2020). Диагностика неисправностей ветрогенератора на основе нейронных сетей глубокого обучения. IEEE Access, 8, 13247–13255.

УДК 621

Алгасанов Д. М., Абдуллина А. И., Рыцев А. Э., Агомурзаев И. С.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ОЭС СИБИРИ

г. Сургут

Аннотация. На основании данных ПАО «Россети Сибири» и АО «Системный оператор Единой энергетической системы» был проведен анализ ОЭС Сибири. Статья посвящена изучению перспективы развития ОЭС Сибири с применением отечественных инновационных технологий в период 2023–2030 года. В материале рассмотрены вопросы проектирования подстанции 220 кВ Туманная, расположенной в Республике Тыва, которая будет обеспечивать Горно-обогатительный комбинат.

Ключевые слова: *инновационные технологии, цифровая подстанция, ОЭС Сибири, комплектная трансформаторная подстанция блочного типа.*

Algasanov D. M., Abdullina A. I., Ritsev A. E., Agamirzoev I. S.

Surgut State University, Surgut

PROSPECT OF DEVELOPMENT OF THE ECO OF SIBERIA

Surgut

Abstract. Based on the data of PJSC Rosseti Siberia and JSC System Operator of the Unified Energy System, an analysis of the Siberian ECO was carried out. The article is devoted to the study of the prospects for the development of the Siberian ECO with the use of domestic innovative technologies in the period 2023–2030. The article discusses the issues of designing a 220 kV Tumannaya substation located in the Republic of Tyva, which will provide a Mining and processing plant.

Keywords: *innovative technologies, digital substation, Siberian ECO, complete transformer substation of block type.*

Объединенная энергетическая система Сибири располагается на территории Сибирского Федерального округа и частично — Дальневосточного, охватывает 12 субъектов Российской Федерации. Площадь территории ОЭС Сибири — 4944,3 тыс. кв. км, в городах и населенных пунктах, расположенных на ней, проживает более 19 млн человек. Электроэнергетический комплекс объединения образуют 120 электростанций суммарной установленной мощностью 52 229,5 МВт (по данным на 01.01.2023). Основная электрическая сеть ОЭС Сибири сформирована линиями электропередачи в габаритах класса напряжения 110, 220, 500 и 1150 кВ. Общая протяженность линий составляет 102 807 км (по данным на 01.01.2023). Среднее потребление электроэнергии 2022 год — 16 565,9 млн кВт·ч [1].

На основании ПРИКАЗА МИНЭНЕРГО РОССИИ ОТ 28.02.2022 № 146 можно заметить, что наибольший темп прироста потребления электрической энергии прогнозируется в Республике Тыва и составляет 14,8%, что превышает средние приросты по ОЭС Сибири. Наиболее высокие темпы прогнозируются в 2022–2024 годах, что связано с ожидаемым строительством горно-обогатительного комбината ООО «Голевская ГРК» на базе крупнейшего Ак-Сугского медно-порфинового месторождения [2,3]. Сведения о нагрузках представлены в таблице 1.

В дальнейшем планируется строительство ПС Туманая 220/35 кВ для обеспечения электроснабжения объекта и сторонних потребителей. Сведения о нагрузках, планируемых к вводу представлена в таблице 1.

Таблица 1. — Сведения о нагрузках, планируемых к вводу, в соответствии с реестром инвестиционных проектов

Наименование инвестиционного проекта	Наименование заявителя	Ранее присоединенная мощность	Увеличение/ввод новой мощности, МВт	Напряжение, В	Год ввода	Центр питания
Ак-Сугский ГОК (ПС 220 кВ Туманная)	ООО «Голевская ГРК»	0,0	161,0	220	2024	ПС 220 кВ Туманная

Прогноз потребления электрической энергии энергосистемы на территории Республики Тыва и годовые темпы прироста на период 2023–2028 годов представлен на рис. 1.

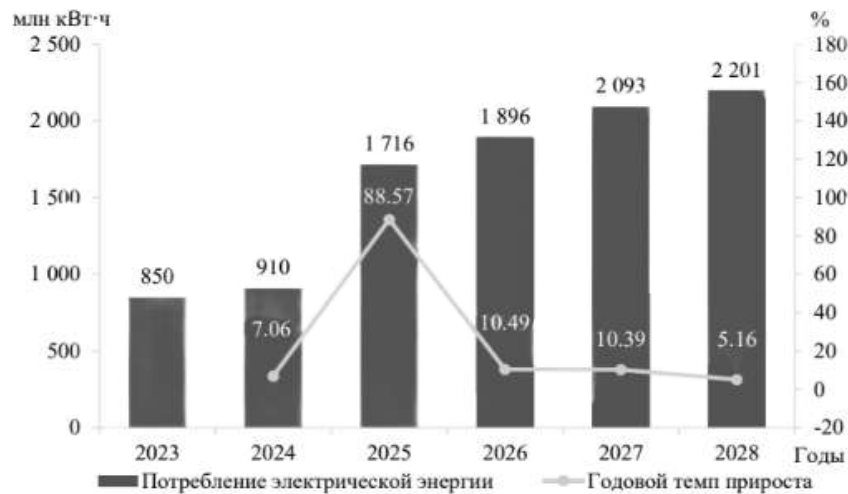


Рис. 1. Прогноз потребления электроэнергии энергосистемы на территории Республики Тыва и годовые темпы прироста на период 2023–2028 годов

На рис. 2 представлена карта-схема размещения линий электропередачи и подстанций напряжением 220 кВ и выше с учетом планов развития на период 2022–2028 годы. Головным источником питания выбрана ПС 220 кВ Туран, от данной подстанции планируется строительство новой воздушной линии 220 кВ до ПС Туманная с отпайкой на ПС Ырбан. Протяженность трассы линии составляет 370 км.

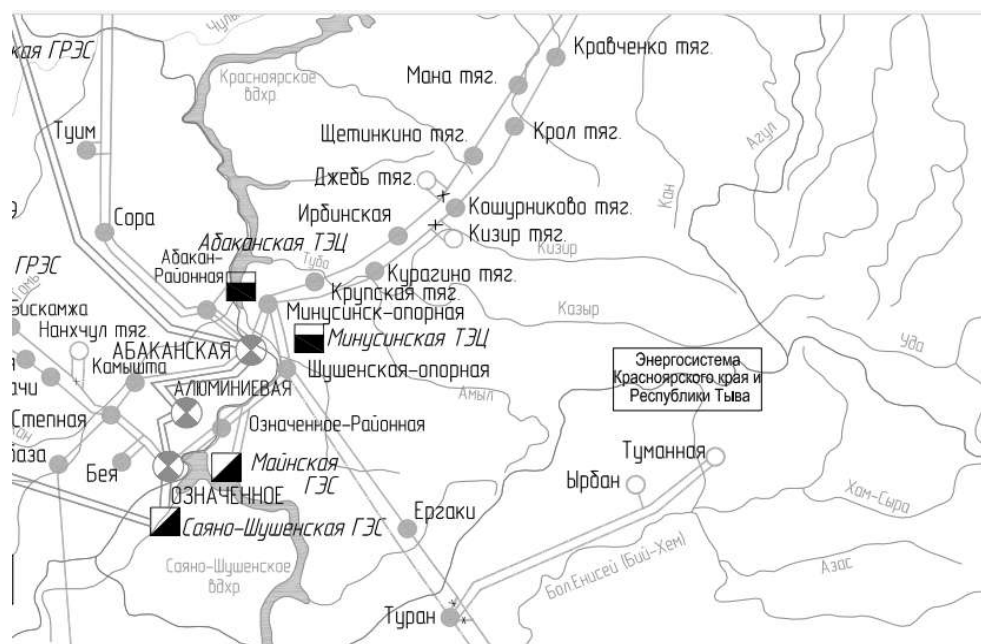


Рис. 2. Карта-схема размещения линий электропередачи и подстанций напряжением 220 кВ и выше

Схема распределительного устройства (РУ) ПС 220/35 кВ «Туманная» является типовой 4Н с установленной мощностью силовых трансформаторов 320 МВА. Кроме этого, на ПС должна быть предусмотрена установка БСК и УШР, которые позволят реализовать управление перетоками реактивной мощности и регулировать напряжение в узле нагрузки. Устройство FACTS первого поколения позволяет регулировать режим работы по напряжению и реактивной мощности. На стороне 35 кВ должно быть предусмотрено резистивное заземление нейтрали, что снижает уровень перенапряжений и повреждаемость электрооборудования. Ниже на рис. 3 представлена схема 4Н РУ ПС 220/35 кВ.

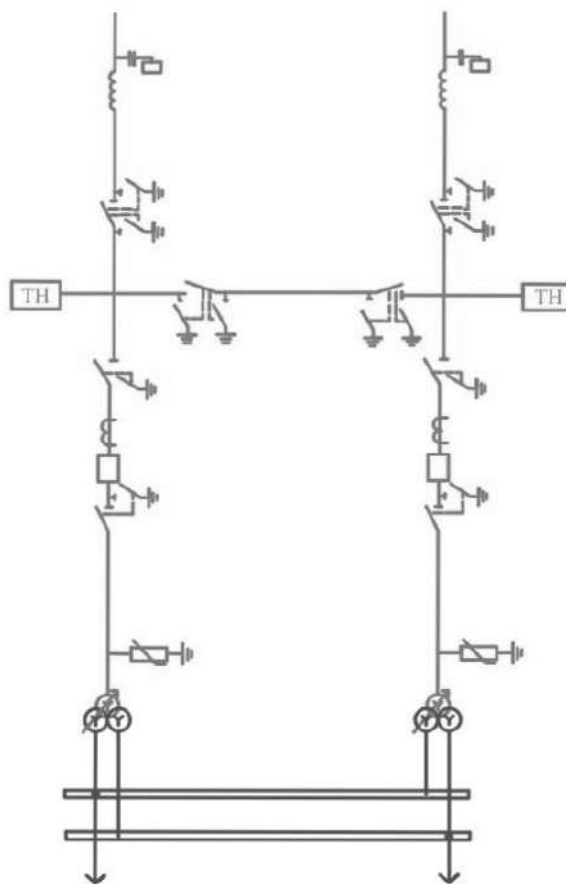


Рис. 3. Схема распределительного устройства

В качестве технического решения и внедрения современных технических решений предлагается строительство данной подстанции с применением комплектная трансформаторную подстанцию блочного типа (КТПБ). На рис. 4 представлена примерная структура КТПБ. Кроме этого, предпо-

лагается использование элементов цифровой подстанции для повышения надежности работы создания автоматизированных систем и контроля защиты и управления с передачей данных в цифровом формате.

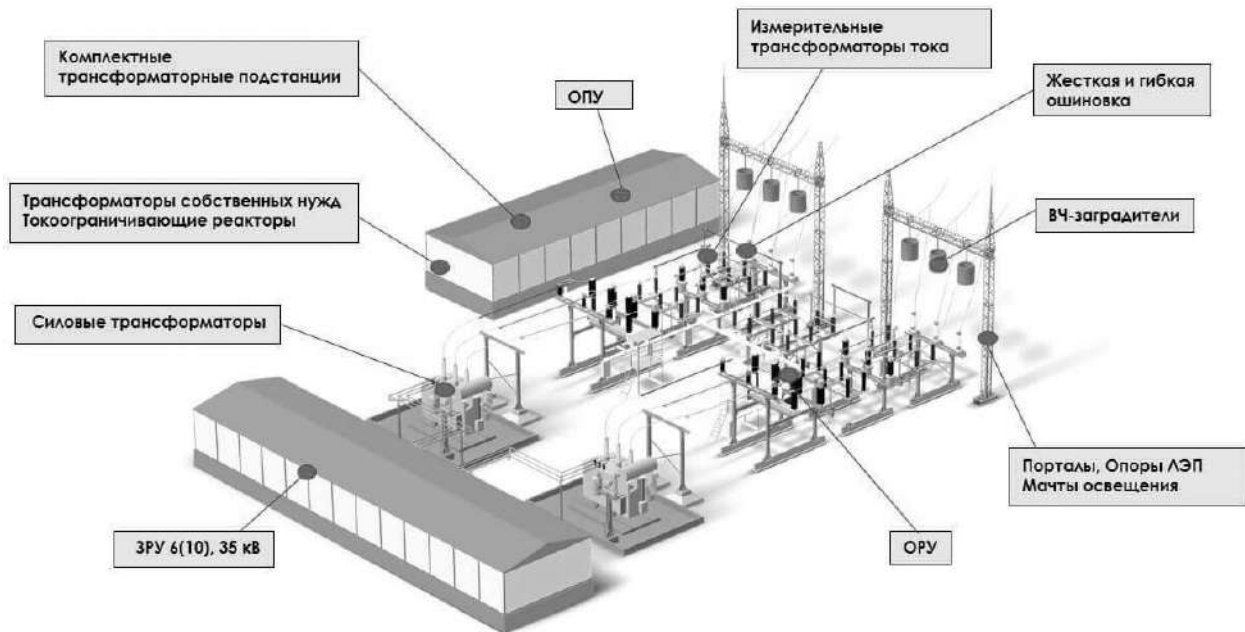


Рис. 4. Структура КТПБ

Технические параметры КТПБ-ТЭ-220 кВ производства ООО «Т-Энергия» (г. Екатеринбург) представлены в таблице 2 [3].

Таблица 2. — Технические параметры КТПБ-ТЭ-220-9 кВ УХЛ1

Номинальное напряжение, кВ	220
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	252
Номинальная мощность, кВА	до 125 000
Номинальный ток главных цепей, А	1000, 2000, 3150
Номинальный ток сборных шин, А	1000, 1600, 2000, 2500, 3150
Ток электродинамической стойкости ошиновки, кА*	81, 102, 128
Ток термической стойкости в течение 3с, кА	31,5; 40; 50
Исполнение ввода/вывода	Воздушный
Климатическое исполнение и категория размещения (ГОСТ 15 150)	У1, УХЛ1 (ХЛ1)

Применение КТПБ позволяет снизить сроки строительства энергетических объектов, удобно для реализации типовых схем распределительных устройств повышает унификацию оборудования.

Для цифровизации ПС 220 кВ «Туманная» предлагается внедрение программно-технического комплекса автоматизированной системы защиты и управления (ПТК АСЗУ) с использованием отечественных поставщиков. Состав ПТК АСЗУ представлен на рис. 5.

Наименование подсистемы	Реализуется в iSAS
РЗА	Полностью
РАС	Полностью
АСУТП	В объеме контроллеров присоединений
ПА	Полностью
АИИСКУЭ	Требуется метрологическая аттестация



Рис. 5. Перечень функций, реализуемых в ПТК АСЗУ

Можно сделать вывод, что в результате внедрения цифрового энергообъекта будут получены следующие результаты:

- Строительство ПС Туманная обеспечит расширение электросетевого комплекса Республики Тыва и позволит обеспечить электроснабжение вновь вводимых объектов.
- Предусмотрено использование силового и вторичного оборудования отечественного производства.
- Внедрение цифровых технологий, а также устройств регулирования соответствует стратегии инновационного развития применяемых технологий ПАО «Россети».

Список использованной литературы

1. Системный оператор единой энергетической системы // ОЭС Сибири. — URL: https://www.so-ups.ru/index.php?id=oes_siberia (Дата обращения: 15.03.2023)

2. Компания Интергео // О проекте Ак-Суг. — URL: <https://www.mmcintergeo.ru/ac-sug/> (Дата обращения: 14.03.2023)

3. ООО Т-Энергия // ПС Туманная для нового горно-обогатительного комбината в Республике Тыва. — URL: <https://t-energy.info/11-1-22-пс-«туманная»-для-нового-горно-обогатительного-комбината-в-республике-тыва> (Дата обращения: 16.03.2023)

УДК 621.315

Кочуров Н. А.¹, Кислицин Е. Ю.²

¹ПАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 10 кВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ОПОР

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются условия применения и экономическая эффективность внедрения композитных опор воздушной линии электропередачи напряжением 10 кВ для повышения их надежности как элемента электроэнергетической системы.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, повышение надежности, композитные материалы, система электроснабжения, электроэнергетическая система, экономическая эффективность.

Kochurov N. A.¹, Kislitsin E. Yu.²

¹“Surgutneftegas”, Surgut

²Surgut State University, Surgut

INCREASING THE RELIABILITY OF 10 kV OVERHEAD POWER LINES
BY INTRODUCING COMPOSITE SUPPORTS

Surgut

Abstract. The article discusses the conditions for the use and economic efficiency of the introduction of composite supports of an overhead power line with a voltage of 10 kV to increase their reliability as an element of the electric power system.

Keywords: overhead power line, reliability improvement, composite materials, power supply system, electric power system, economic efficiency.

Воздушные линии электропередачи среднего напряжения являются основным способом распределения электроэнергии потребителям. Однако из-за территориального размещения и воздействия внешних факторов окружающей среды линии электропередачи являются наиболее подверженными повреждениям элементами системы электроснабжения. До 80% аварий и плановых отключений происходят из-за повреждений линий и оборудования, которые могут быть вызваны внешними нагрузками, эксплуатацией элементов и недостатком ресурсов для проведения профилактических мероприятий.

Уровень повреждаемости элементов воздушной линии определяется как свойствами конструкций, так и условиями их эксплуатации. По данным [1] наблюдается примерно следующее число отказов (на 100 км/год): опоры стальные — 0,027; опоры железобетонные — 0,028; опоры деревянные — 0,370; изоляторы — 0,180; арматура — 0,018; провода — 0,250.

Причин выхода из строя опор множество. Некоторые из распространенных причин включают отклонение от вертикального положения, смещение от оси воздушной линии, удары молнии и воспламенение от контакта с проводами или наземных пожаров. Прямые удары молнии могут вызвать полное разрушение опор. Во время использования и некачественной замены деревянные опоры очень подвержены повреждениям из-за гниения. Предупреждение этого процесса во многом зависит от качества пропитки древесины антисептическими составами. Высокое содержание влаги в древесине приводит к быстрому развитию гниения. Кроме того, так как опоры деревянные, их изоляция может загрязняться и намокать, что приводит к току утечки и нагреву, что может привести к пожару.

Разрушение железобетонных опор может происходить по разным причинам, таким как выкрашивание бетона и трещины, ослабление внутренних ветровых связей, рыхлое залегание грунта, коррозия арматуры, особенно в подземной части опор и траверсов. Однако стоит отметить, что опоры с цилиндрическими и коническими центрифужными колоннами могут оставаться прочными даже после десятилетий эксплуатации. Трещины в стеллажах могут возникать из-за нарушений правил перевозки, и это не зависит от производителя или расположения трассы воздушной линии. Эти нарушения могут быть существенным фактором выхода из строя железобетонных опор [1].

Металлические опоры выходят из строя из-за процессов коррозии и старения. Зачастую коррозия металла происходит быстрее в горизонтальных элементах и соединениях, где скапливается влага, а сушка занимает длительный промежуток времени. Развитие коррозии металла приводит к снижению несущей способности опоры воздушной линии и в конечном счете может способствовать приведению опоры воздушной линии к ненадлежащему к дальнейшей эксплуатации состоянию.

В настоящее время на замену опор воздушных линий из традиционных материалов внедряются композитные опоры, которые представляют собой новые строительные конструкции, использующие стеклопластик в качестве основного материала. Стеклопластик — это пластичный материал, который состоит из стекловолокна и связующего вещества. Внешний вид композитных опор представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид композитной опоры отечественного производителя

Опоры воздушных линий, изготовленные из композитных материалов, имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными материалами, такими как дерево, сталь и бетон.

Во-первых, композитные легкие, но прочные, что снижает общий вес опорных конструкций и позволяет увеличить пролеты между опорами воздушной линии электропередачи. Это уменьшает количество опор, необходимых вдоль линии электропередачи, снижает риск механического отказа и повышает общую надежность, приводит к экономии затрат на материалы и строительство, а также к уменьшению воздействия на окружающую среду.

Во-вторых, композитные материалы устойчивы к коррозии и не требуют регулярного ухода, в отличие от стали и дерева. Коррозия может ослабить опорные конструкции и увеличить риск отказа, но композиты могут выдерживать воздействие суровых условий и со временем требуют меньше обслуживания. Это снижает потребность в постоянном осмотре и ремонте, что опять же приводит к экономии средств с течением времени.

Также положительным моментом является то, что композиты часто легче и долговечнее традиционных материалов, что может привести к снижению расхода топлива и выбросов при транспортировке. Кроме того, композитные материалы могут быть предназначены для вторичной переработки или биоразложения, что может уменьшить количество отходов и воздействие на окружающую среду.

Наконец, опоры из композитных материалов не проводят ток, что исключает риск поражения электрическим током и повышает безопасность для рабочего персонала и населения. Они также устойчивы к ударам молнии, что снижает риск повреждения линий электропередачи и оборудования.

В целом применение композитных опор позволяет повысить надежность и безопасность воздушной линии, снизить риск простоев и повысить общую эффективность системы электропередачи, что делает их привлекательным выбором для современной инфраструктуры электропередачи. Хотя опоры воздушной линии, изготовленные из композитных материалов, обладают рядом преимуществ, следует учитывать и некоторые потенциальные недостатки.

Одним из недостатков является то, что композиты могут быть более дорогими, чем традиционные материалы, такие как дерево или сталь.

Это может увеличить первоначальные затраты на строительство и монтаж. Однако более высокая стоимость компенсируется довольно низкими издержками при эксплуатации воздушной линии за счет отсутствия необходимости ухода за механической частью опоры, а обслуживания исключительно трассы воздушной линии. Переход к подобной схеме развития энергетической системы может быть произведен поэтапно, заменяя повреждаемые опоры из традиционных материалов на композитные опоры.

Состояние фундаментов опор воздушных линий, расположенных на территориях северных районов Российской Федерации, в большей степени определяется состоянием грунта вдоль трассы воздушной линии. Грунты отличаются наличием многолетнемерзлых составляющих, которые характеризуются оттаиванием верхнего слоя в теплое время года, ведущим к потере несущей способности; увеличением объема грунта при промерзании; просадкой; монотонной деформацией при неизменной нагрузке. Перечисленные особенности грунтов северных районов способствуют выталкиванию из земной поверхности фундаментов опор воздушных линий. Применение композитных опор в данных условиях является наиболее перспективным, так как, помимо прочих вышеперечисленных преимуществ, композитные материалы обладают стойкостью к циклам замораживания и размораживания, меньшим весом, как следствие — меньшим воздействием на грунты, что в целом способствует снижению выталкивания опор воздушных линий из композитных материалов.

Для создания условий, определяющих интерес к развитию и применению композитных материалов в энергетической сфере, разработана нормативно-правовая база. Так, согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р высокотехнологичные материалы (композитные материалы) относятся к перечню технологического оборудования, востребованного организациями топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, создание или локализация производства которого необходимы на территории Российской Федерации до 2035 года. Также ГОСТ Р 58021-2017 «Опоры композитные полимерные для воздушных линий электропередачи напряжением 6–20 кВ. Общие технические условия» устанавливает требования как непосредственно к опорам, так и к материалам, из которых они изготовлены, и методы испытаний опор воздушных линий электропередачи.

Использование композитных опор может привести к существенному экономическому эффекту. Во-первых, композитные опоры имеют более длительный срок службы, чем традиционные материалы, что позволяет уменьшить затраты на их замену. Во-вторых, они обладают высокой устойчивостью к коррозии, что позволяет снизить затраты на техническое обслуживание. В-третьих, композитные опоры более легкие, что позволяет снизить затраты на их транспортировку и монтаж. Техничко-экономические показатели для линии 10 кВ, сооруженной с применением композитных опор, а также для аналогичной линии, сооруженной с применением традиционных железобетонных опор протяженностью 35 км, приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1. — Техничко-экономические сравнение

Показатель	Ед. изм	Железобетонные опоры	Композитные опоры
Капитальные затраты	тыс. руб.	11 463,8	26 795,9
Затраты на сооружение	тыс. руб.	5595,6	3635,5
Ежегодные издержки	тыс. руб.	375,8	485,9
Приведенные затраты	тыс. руб.	3241,8	7190,3
ЧДД	тыс. руб.	986,4	393,8
Рентабельность	-	1,107	1,0183
Средний показатель себестоимости	тыс. руб./ год	69,22	16,54
Продолжительность строительства	дни	177	115

Любой из рассмотренных вариантов строительства электрической сети является финансово обоснованным, имеет благоприятный коэффициент рентабельности и чистую текущую стоимость. Тем не менее использование железобетонных опор работает несколько лучше, так как целесообразно быстрее «окупить» линию. Однако в долгосрочной перспективе композитные опоры оказываются более выгодными, поскольку они имеют более длительный срок службы и требуют меньших затрат на техническое обслуживание. Так, если ввести средний показатель себестоимости эксплуатации воздушной линии электропередачи на базе композитных материалов с учетом срока службы композитных опор и опор из традиционных материалов, то экономический эффект оказывается значительным: 16,54 тыс. руб./год в случае композитных опор против 69,22 тыс. руб./год для железобетонных опор.

В данной работе были рассмотрены условия применения и экономическая эффективность внедрения композитных опор воздушной линии электропередачи напряжением 10 кВ для повышения их надежности как элемента электроэнергетической системы. Использование композитных материалов является одним из способов повышения устойчивости сетей электропередачи. Композитные опоры обладают рядом преимуществ перед традиционными материалами, такими как высокая устойчивость к коррозии и механическим нагрузкам, что позволяет повысить надежность и устойчивость системы. Построение энергетической системы с воздушными линиями на базе композитных материалов наиболее перспективно в северных районах Российской Федерации, в местностях, отличающихся многолетнемерзлыми грунтами. Несмотря на большие капиталовложения в сравнении с опорами из традиционных материалов, в долгосрочной перспективе применение композитных опор способствует значительной экономии ресурсов за счет снижения затрат на техническое обслуживание. Также стоит отметить, что внедрение композитных опор воздушных линий электропередачи имеет положительный эффект на окружающую среду. Они более экологически чистые, чем опоры из традиционных материалов, так как они могут быть переработаны и использованы повторно. Кроме того, композитные опоры обладают меньшим весом и размером, что снижает воздействие на окружающую среду при их транспортировке и установке.

Список использованной литературы

1. Литвак, В. В. Обследование высоковольтных электрических сетей Сибири / В. В. Литвак, Е. П. Богданов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2013. — № 1. — С. 308–310.
2. Герасименко, А. А. Передача и распределение электрической энергии / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. — 2-е изд. — Ростов н/Д : Феникс, 2008. — 715 с.
3. Фурсанов, М. И. Анализ эффективности применения композитных опор в электрических сетях Республики Беларусь / М. И. Фурсанов, П. А. Сазонов // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. — 2019. — Т. 62, № 1. — С. 15–23. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-1-15-23>

4. Надежность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса : учеб. пособие / Т. В. Алферова, О. Ю. Пухальская, А. А. Алферов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. — Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. — 112 с.

5. Бочаров, Ю. Н. К вопросу о композитных опорах воздушных линий / Ю. Н. Бочаров, В. В. Жук // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. — 2012. — Вып. 4–1. — С. 78–85.

УДК 621.311

Владимиров Л. В., Попков Н. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ
С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

г. Сургут

Аннотация. В настоящее время на объектах нефтедобывающей отрасли отсутствует направленная защита от однофазных замыканий на землю, что приводит к нерациональным затратам, а также к созданию различных аварийных ситуаций во время строительства нефтяных и газовых скважин. В данной работе рассмотрены преимущества и недостатки направленных защит от однофазных замыканий на землю, схемы данных защит и методы их реализации, расчет тока однофазного замыкания на землю и уставок защит на примере кустовой площадки.

Ключевые слова: электрические системы, защита от замыкания на землю, микропроцессорные устройства релейной защиты.

Vladimirov L. V., Popkov N. A.

Surgut State University, Surgut

IMPROVEMENT OF RELAY PROTECTION AGAINST SINGLE-PHASE EARTH
FAULT IN NETWORKS WITH ISOLATED NEUTRAL

Surgut

Abstract. At present, there is no directional protection against single-phase ground faults at the oil industry facilities, which leads to wasteful costs, as well as to the creation of various emergency situations during the construction of oil and gas wells. This paper discusses the advantages and disadvantages of directional protection against single-phase earth faults, schemes of these protections and

methods for their implementation, calculation of the single-phase earth fault current and protection settings using the example of a well pad.

Keywords: *electrical systems, earth fault protection, microprocessor relay protection devices.*

Один из важнейших и актуальных вопросов — обеспечение надежности работы электрических сетей. В целях улучшения энергоснабжения потребителей было решено перейти на режим работы 6–35 кВ с изолированной нейтралью, что стали применять на практике несколько десятков лет назад. В единой энергетической системе (ЕЭС) давно используется режим изолированной нейтрали, который применяется в большинстве электрических сетей с напряжением 6–35 кВ.

Обычно обмотки трансформаторов, находящихся на стороне 6–10 кВ, соединены в треугольник без нейтральной точки. Однако в случае сетей, работающих на напряжении 35 кВ и имеющих изолированную нейтраль, нейтральная точка присутствует. Это связано с тем, что обмотки силовых трансформаторов, которые используются в таких сетях, соединяются в звезду и выводятся на крышку бака трансформатора через проходной изолятор. В настоящее время большинство повреждений, связанных с сетями, работающими на напряжении от 6 до 35 кВ с изолированной нейтралью, обуславливаются однофазными замыканиями на землю (ОЗЗ). В связи с этим важным фактором является селективность работы релейной защиты при возникновении ОЗЗ.

На объектах нефтегазодобывающей отрасли используется неселективная защита, которая контролирует изоляцию сети на землю и реагирует на замыкания в сети при появлении напряжения нулевой последовательности (далее НП) $3U_0$. Для фильтрации указанного напряжения часто используется измерительный трансформатор напряжения TV. Данный трансформатор оснащен двумя вторичными обмотками, одна из которых соединена в разомкнутый треугольник. Это и создает фильтр напряжения нулевой последовательности (ФННП).

Данное устройство включает в себя три вольтметра PV1–PV3, включенные на фазные напряжения, и максимальное реле напряжения KV1, включенное на напряжение $3U_0$. При возникновении замыкания в сети появляется напряжение $3U_0$ и срабатывает реле KV1. Недостатками данной

защиты являются неселективность и надежность (к примеру, перегорание предохранителя приводит к ложному срабатыванию защиты от однофазных замыканий на землю).

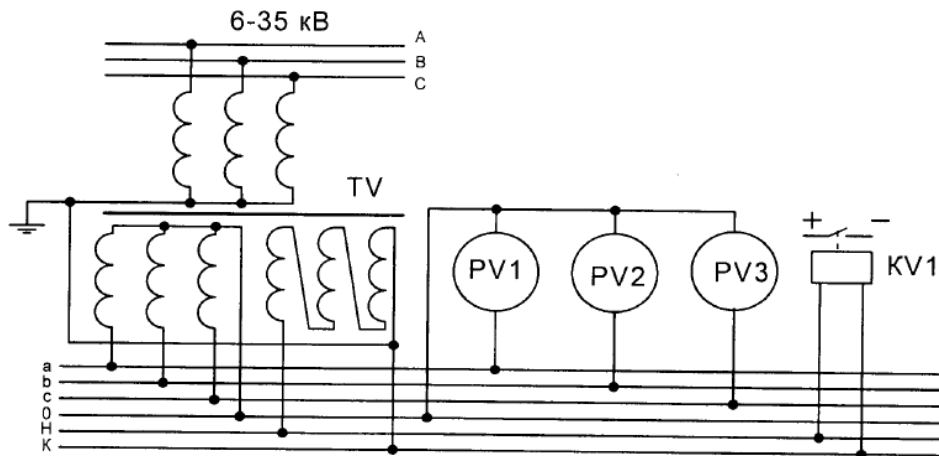


Рис. 1. Принципиальная схема устройства контроля изоляции сети 6–35 кВ

В качестве замены данного типа защиты от однофазных замыканий предлагается рассмотреть следующие варианты: токовые защиты нулевой последовательности и направленную защиту от однофазных замыканий на землю.

Принципиальные схемы защит представлены на рис. 2.

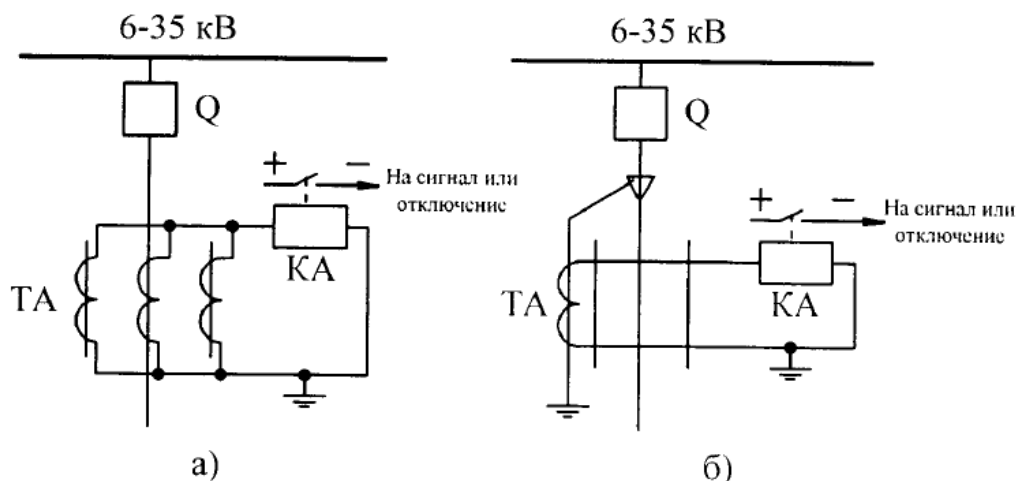


Рис. 2. Схемы токовых защит нулевой последовательности:
а — с трехтрансформаторным ФТН; б — специальный ТТНП

Измерительный орган защиты подключается к фильтру тока НП (ФТНП). ФТНП бывают трехтрансформаторного типа (рис. 2, а) и специальные трансформаторы тока нулевой последовательности ТТНП (рис. 2, б).

Трехтрансформаторный фильтр напряжения нулевой последовательности имеет несколько недостатков. В режимах без замыкания, таких как работа, пуск или самозапуск электродвигателей, а также при внешних и междуфазных коротких замыканиях возникает большой ток небаланса. Проблема заключается в неидентичности характеристик намагничивания фазных трансформаторов тока и часто недостаточном значении первичного тока срабатывания $I_{0с.з.}$, который необходим для обеспечения требуемой чувствительности токовой защиты от однофазных замыканий на землю. Особенно сильные токи небаланса возникают при переходных процессах в первичной цепи. Из-за указанных причин трехтрансформаторный ФТНП может применяться только для защиты от ОЗЗ в сетях с напряжением 6 (10) кВ, работающих с низкоомным заземлением нейтрали. В нашем же случае, помимо упомянутых недостатков, сеть имеет изолированную нейтраль, что не позволяет использовать этот вид защиты.

Для получения тока нулевой последовательности существует второй способ (рис. 2, б), который основан на использовании специального трансформатора тока нулевой последовательности. Этот трансформатор образован замкнутым магнитопроводом, на который намотана вторичная обмотка. В свою очередь первичной обмоткой являются три фазы кабеля, проходящих через окно магнитопровода. Специальные ТТНП обеспечивают большую чувствительность при подключении к ним защиты и сигнализации ОЗЗ и имеют небольшие токи небаланса.

Также для совершенствования имеющейся защиты от ОЗЗ предлагается направленная защита от однофазных замыканий на землю. Данный вид защиты подразумевает собой установку датчика тока трансформаторного нулевой последовательности типа ТЗЛВ-СЭЩ-10, внешний вид датчика и его габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса представлены на рис. 3.

Датчик необходимо разместить в ячейке «Ввод» как можно ближе к проходным изоляторам. Выводы вторичной обмотки датчика подключаются к аналоговому входу микропроцессорного устройства $3I_0$.

При возникновении однофазного замыкания на землю на линии после датчика тока во вторичных обмотках измерительных трансформаторов возникают ток и напряжение нулевой последовательности, сигналы о которых обрабатывает и сравнивает с уставкой микропроцессор терминала. Если значения превышают уставку и терминал распознает направление замыкания в сторону потребителя, то происходит отключение выключателя. При возникновении короткого замыкания до датчика тока терминал выдает только сигнал о наличии замыкания на линии.

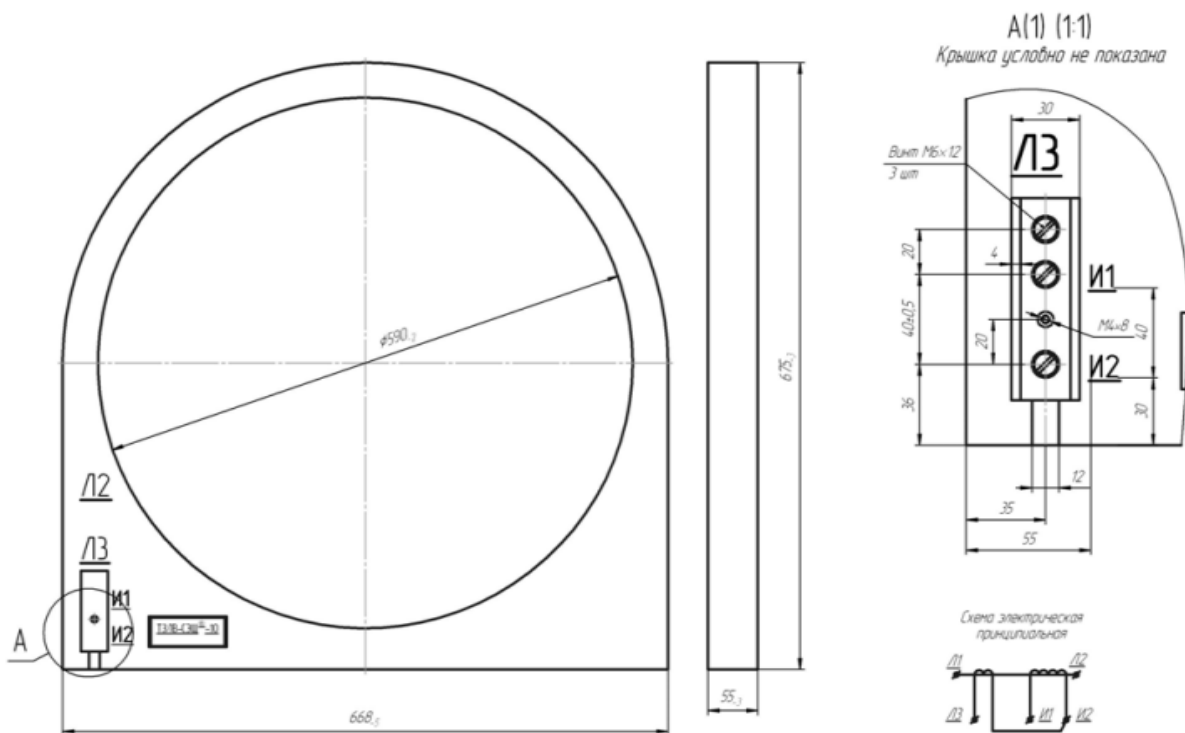


Рис. 3. Габаритные, установочные, присоединительные размеры и масса ТЗЛВ-СЭЦ-10

Для данного типа защиты от однофазных замыканий на землю произведем расчет первичного тока однофазного замыкания на землю в сети и ток уставки для МПУ. Однолинейная схема сети представлена на рис. 4.

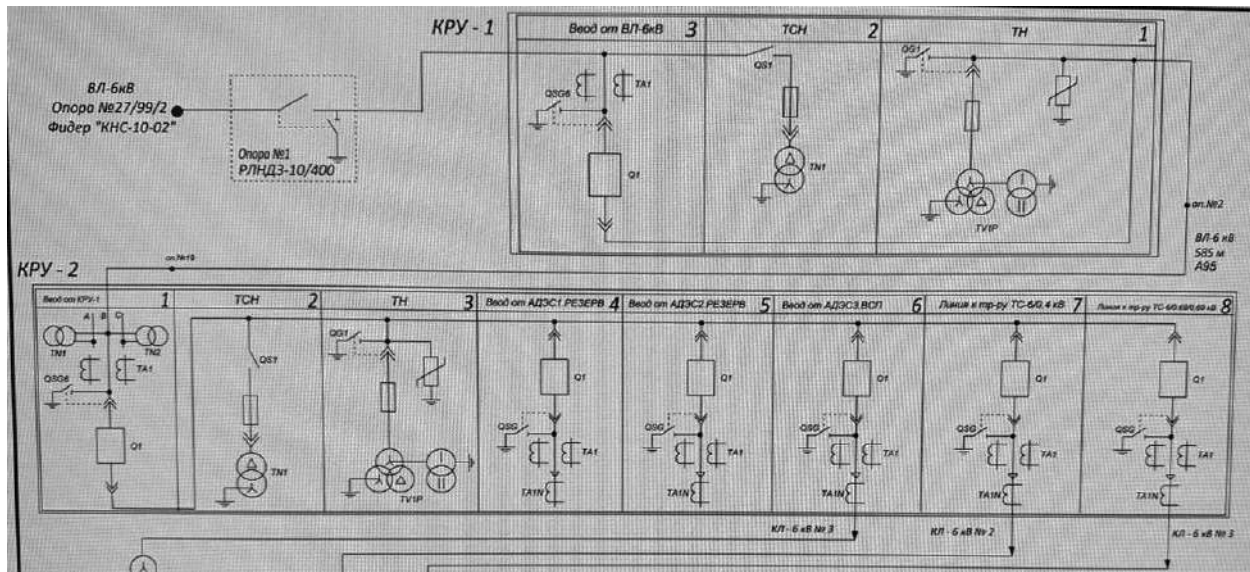


Рис. 4. Однолинейная схема рассматриваемой сети

Рассчитаем первичный ток при замыкании одной фазы на землю, для этого необходимо рассчитать ток воздушных и кабельных линий по упрощенным формулам:

$$I_{зВЛ}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} \quad \text{— для воздушных линий;}$$

$$I_{зКЛ}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{10} \quad \text{— для кабельных линий,}$$

где U — линейное напряжение, кВ; L — длина электрически связанной сети, км.

$$I_{зВЛ1}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 8}{350} = 0,137 \text{ A;}$$

$$I_{зВЛ2}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 0,585}{350} = 0,010 \text{ A;}$$

$$I_{зКЛ1}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{10} = \frac{6 \cdot 0,03}{10} = 0,018 \text{ A;}$$

$$I_{зКЛ2}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{10} = \frac{6 \cdot 0,03}{10} = 0,018 \text{ A;}$$

$$I_{зКЛ3}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{10} = \frac{6 \cdot 0,03}{10} = 0,018 \text{ A}$$

$$I_{\text{зпотреб.}}^{(1)} = I_{\text{зВЛ1}}^{(1)} + I_{\text{зВЛ2}}^{(1)} + I_{\text{зКЛ1}}^{(1)} + I_{\text{зКЛ2}}^{(1)} + I_{\text{зКЛ3}}^{(1)} = \\ = 0,137 + 0,010 + 0,018 + 0,018 + 0,018 = 0,201 \text{ А.}$$

Также для расчета необходимо учитывать еще емкости воздушных линий отходящих присоединений, которые находятся на одной секции шин подстанции с нашей сетью в нормальном режиме, а также все остальные отходящие линии в послеаварийном режиме, поскольку питающая подстанция выполнена по схеме «мостик».

Нормальный режим

$$I_{\text{зВЛ}\phi 1}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 7}{350} = 0,12 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 2}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 7,650}{350} = 0,131 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 3}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 9,580}{350} = 0,164 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 4}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 8,735}{350} = 0,15 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зНР}}^{(1)} = I_{\text{зпотреб.}}^{(1)} + I_{\text{зВЛ}\phi 1}^{(1)} + I_{\text{зВЛ}\phi 2}^{(1)} + I_{\text{зВЛ}\phi 3}^{(1)} + I_{\text{зВЛ}\phi 4}^{(1)} = \\ = 0,201 + 0,12 + 0,131 + 0,164 + 0,15 = 0,766 \text{ А.}$$

Послеаварийный режим

$$I_{\text{зВЛ}\phi 6}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 6,650}{350} = 0,114 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 7}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 9,370}{350} = 0,161 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 8}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 8,210}{350} = 0,141 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 9}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 9}{350} = 0,154 \text{ А;}$$

$$I_{\text{зВЛ}\phi 10}^{(1)} = \frac{U \cdot L}{350} = \frac{6 \cdot 6,960}{350} = 0,12 \text{ А;}$$

$$I_{зПР}^{(1)} = I_{зНР}^{(1)} + I_{зВЛф6}^{(1)} + I_{зВЛф7}^{(1)} + I_{зВЛф8}^{(1)} + I_{зВЛф9}^{(1)} + I_{зВЛф10}^{(1)} = \\ = 0,766 + 0,114 + 0,161 + 0,141 + 0,154 + 0,12 = 1,456 \text{ А.}$$

Рассчитываем ток срабатывания защиты, при этом отстраиваемся от собственного тока ОЗЗ.

$$I_{с.з.} = K_n \cdot K_{бр} \cdot I_{зпотреб.}^{(1)} = 1,2 \cdot 1 \cdot 0,201 = 0,2412 \text{ А,}$$

где K_n — коэффициент надежности (принимается равным 1,2); $K_{бр}$ — коэффициент броска, который учитывает бросок емкостного тока в тот момент, когда возникает ОЗЗ; $I_{зпотреб.}^{(1)}$ — ток ОЗЗ защищаемого фидера. При использовании для защиты от ОЗЗ современных цифровых реле можно принимать значения $K_{бр} = 1 - 1,5$ (данный коэффициент лучше уточнить у фирмы-изготовителя). Для Сириус-2-МЛ рекомендуется принимать $K_{бр} = 1$.

Проверяем чувствительность защиты с учетом нормального и послеаварийного режимов работы, когда будут учитываться только фидеры, находящиеся на одной секции шин, и тогда, когда секционный выключатель будет включен и учитываться будут все отходящие линии питающей подстанции.

$$K_{ч} = \frac{I_{зПР}^{(1)} - I_{зпотреб.}^{(1)}}{I_{с.з.}} \geq 1,5 - 2,0$$

$$2,34 \geq 1,5 - 2,0$$

$$K_{ч} = \frac{I_{зПР}^{(1)} - I_{зпотреб.}^{(1)}}{I_{с.з.}} \geq 1,5 - 2,0$$

$$K_{ч} = 5,2 \geq 1,5 - 2,0$$

Вывод

Значение коэффициента чувствительности в нормальном и послеаварийном режиме соответствует ПУЭ, согласно которому коэффициент чувствительности должен быть больше или равняться 1,5–2. Исходя из всех рассмотренных вариантов защит и расчета для применения направленной защиты от однофазных замыканий на землю, вариант направленной защиты от однофазных замыканий на землю для объектов нефтегазодобывающей отрасли может быть использован.

УДК 621.316.925

Смыков Ю. Н.

Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск

РОЛЬ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ «БЕРЕГ–СУДНО» ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПЛАНОВ
УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ СУДНА

г. Новосибирск

Аннотация. Статья посвящена поиску путей обеспечения электромагнитной совместимости при электроснабжении судовой электроэнергетической системы от берегового источника электрической энергии. Рассматривается роль повышения качества функционирования данной электропередачи как аспект управления энергоэффективностью судна. Анализируются результаты исследования кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по провалу напряжения. Предложен ряд технических мероприятий, обеспечивающих снижение воздействия ЭМП помехи.

Ключевые слова: *кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха; электромагнитная совместимость.*

Smykov Yu. N.

Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education “Siberian State University of Water Transport”
Russian Federation, Novosibirsk

THE ROLE OF IMPROVING THE QUALITY OF FUNCTIONING
OF THE SHORE-SHIP POWER TRANSMISSION IN THE DEVELOPMENT
OF SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PLANS

Novosibirsk

Abstract. The article is devoted to the search for ways to ensure electromagnetic compatibility in the power supply of the ship's electric power system

from an onshore source of electric energy. The role of improving the quality of functioning of this power transmission is considered as an aspect of managing the energy efficiency of the vessel. The results of the study of conductive low-frequency electromagnetic interference by voltage drop are analyzed. A number of technical measures are proposed to reduce the impact of conductive low-frequency electromagnetic interference on voltage failure.

Keywords: *conductive low-frequency electromagnetic disturbance; electromagnetic compatibility; electricity system; technical means for interference suppression.*

Актуальность.

Международное сообщество уделяет значительное внимание вопросам снижения уровня загрязнения окружающей среды. Одним из элементов решения данной задачи является всесторонняя проработка мероприятий по снижению количества вредных выбросов в окружающую среду при эксплуатации плавучих инженерных сооружений. Конкретизация данных подходов и принципов тесно связана с энергетической эффективностью. Так, электромашиностроение оказало значительную роль в повышении энергоэффективности, в том числе и судовой электроэнергетической системы, однако рост энерговооруженности судов, автоматизация и требования к качеству электрической энергии свидетельствуют о востребованности и дополнительной проработке путей повышения энергоэффективности.

Следствием этого является общепринятая практика применения нормативно технических документов, в том числе затрагивающих вопросы энергоснабжения объектов водного транспорта.

Требование о разработке планов управления энергоэффективностью судна (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP). Этот план представляет собой документ, разрабатываемый в соответствии с требованиями и рекомендациями ИМО и предусматривающий пути и способы повышения энергоэффективности эксплуатации судов.

Рассмотрим более подробно составляющие коэффициента энергоэффективности конструкции судна (Energy Efficiency Design Index, EEDI).

$$\begin{aligned}
 EEDI = & \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j\right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FMEi} \cdot SFC_{MEi}\right) + P_{AE} \cdot C_{FAEi} \cdot SFC_{AE}^*}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} + \\
 & + \frac{\prod_{j=1}^M f_j \left(\left(\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} P_{AEeff}\right) \cdot C_{FAEi} \cdot SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff} \cdot P_{eff} \cdot C_{eff} \cdot SFC_{MEi}\right)\right)}{f_i \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w}
 \end{aligned} \quad (1)$$

Входящие в уравнение (1) данные объединяются в четыре члена в числителе и один в знаменателе: выбросы от главного двигателя; выбросы от вспомогательного двигателя; выбросы от работы валогенератора/электромотора (обратимого валогенератора РТО/РТИ); технологии эффективности и работа по транспортировке грузов соответственно. [2]

Таким образом осуществляется учет энергоэффективности и количества вредных выбросов, учитывается количество перевезенного груза. Однако стоянка в порту может занимать значительную часть времени по разным причинам, например: забастовки, задержка груза, технические и технологические ограничения, сложности в оформлении и т. д. Исходя из этого, время стоянки может составлять от нескольких дней до месяца или (реже) нескольких месяцев.

Соответственно, перевозка груза не осуществляется, при этом расход топлива и, следовательно, загрязнение окружающей среды происходит. Именно в это время, при длительных стоянках, наиболее эффективно использовать электроснабжение судна с берега для значительного снижения количества вредных выбросов в акватории порта.

Использование берегового электроснабжения во время стоянки судна даже на первый взгляд выглядит перспективно и экономически обоснованно. Так, экономическая целесообразность, а именно экономия эксплуатационных расходов, определяется по формуле:

$$\Delta \mathcal{E} = (\mathcal{C}_c - \mathcal{C}_6) W - P_a K_\Sigma \quad (2)$$

где \mathcal{C}_c — себестоимость электроэнергии судовой электростанции, руб/кВт·ч;

\mathcal{C}_6 — стоимость потребленной электроэнергии от береговой сети, при электроснабжении судна с берега, руб/кВт·ч;

$K_\Sigma = K_6 + K_c$ — суммарные капитальные вложения по берегу (ТС) и судну (K), руб.

Рассмотрим подробнее себестоимость электроэнергии судовой электростанции. Это особенно интересно с той точки зрения, что сюда отно-

ся не только затраты на горюче-смазочные материалы и обслуживание, но и расход моторесурса электростанции. Проведение капитального ремонта или замены электростанции требует квалифицированного персонала, времени, учета удаленности многих ремонтно-эксплуатационных баз флота, а также сложность работ. Все это еще раз подчеркивает актуальность развития, упрощения и широкого применения электроснабжения судна с берега.

Однако в связи с тяжелой обстановкой, сложившейся в сетях низкого напряжения, необходимо учитывать ущерб, который может быть нанесен при ухудшении качества электроэнергии. Аспекты данного влияния требуют дополнительных исследований и технических и технологических решений [1]. Сложность заключается в том, что, как правило, колонка берегового питания представляет собой рубильник или автоматический воздушный выключатель, имеющий большой износ, контроль качества и количества электроэнергии, полученной судном, отсутствует. Вопросы повышения качества функционирования электропередачи «берег–судно» находят малое отражение в нормативно-технической документации и научных исследованиях. В условиях перехода на электродвижение и активное развитие Арктики это может привести к дополнительным потерям времени и ресурсов. Нормативно-техническая база не подразумевает единообразия и взаимозаменяемости колонок берегового питания, кроме того, нуждается в доработке и особой концентрации внимания к вопросам электроснабжения судов с берега.

Исходя из этого, становится возможным возникновение большого экономического ущерба от снижения качества электроэнергии и недостаточного обеспечения электромагнитной совместимости при электроснабжении судна с берега от автономных систем электроснабжения.

При этом провал напряжения является кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехой, а значит, будет оказывать негативное влияние непосредственно на потребитель, на систему электроснабжения и на смежные потребители, вызывая тем самым технические технологические сбои, лавину напряжения, выход из строя электрооборудования, поэтому данная тема является актуальной.

Исходя из этого, рассмотрим технические мероприятия и средства подавления данной помехи, а именно:

1. Использование двойного питания с учетом разделения на ответственные и неответственные потребители и принципа востребованности

повышенных показателей качества электрической энергии (ППКЭЭ) Связано это с тем, что необходимые условия и предпосылки созданы, а именно — судовая автоматизированная электроэнергетическая система имеет сложную структуру, направленную на обеспечение электроснабжения ответственных потребителей, что особо учитывается при проектировании данной системы. Однако данный принцип распространяется для ходового, маневрового и других режимов судна, а в стояночном режиме используется одна кабельная линия, что резко снижает возможности диверсификации рисков и обеспечения помехоподавления и нивелирует сложность внутренней иерархии распределения электрической энергии. Необходимо обеспечить подключение по двум кабельным линиям с учетом разной степени ответственности потребителей. Обеспечить ППКЭЭ по кондуктивной ЭМП по провалу напряжения для кабельной линии, обеспечивающей электроснабжение ответственных потребителей. Таким образом существенно снижается гарантированная мощность, с одновременным повышением качества электрической энергии. Появляется возможность дифференцированного подхода к ограничению электроснабжения, в том числе в целях повышения помехоподавляющих способностей, снижению времени помехи, повышению динамической устойчивости и т. д. С практической точки зрения прослеживаются следующие аспекты:

- обеспечиваются более корректные условия работы автоматики — например, по автоматическому вводу резерва вследствие того, что данная помеха является задающим воздействием;
- повышается надежность, срок службы и безотказность дорогостоящего оборудования (стоимость составляет от нескольких миллионов до нескольких десятков миллионов рублей) за счет выделенной кабельной линии (1-я линия) с ППКЭЭ относительно кондуктивной низкочастотной ЭМП по провалу напряжения;
- обеспечивается одновременное подключение посредством 2-й кабельной линии потребителей (нагреватели, вентиляторы и т. д.) с отсутствующими требованиями ППКЭЭ;
- потенциальная возможность кратковременного отключения кабельной линии 2 в целях обеспечения качественного функционирования электроснабжения по кабельной линии 1.

2. Установка технических средств в целях подавления указанной помехи при электроснабжении по кабельной линии 1 может включать в себя:

А. Маховик.

В. Статический компенсатор.

С. Активный фильтр.

Д. Комплекс устройств быстродействующего АВР.

Е. Активный регулятор напряжения.

Ф. Современные микропроцессорные устройства релейной защиты.

Г. Статические источники бесперебойного питания.

Н. Синхронный электродвигатель, работающий в режиме синхронного компенсатора.

Возможно комбинирование нескольких видов — например, синхронная электрическая машина с большим моментом инерции вращающейся части является аналогом маховика, обеспечивая при этом возможность плавного регулирования вырабатываемой реактивной мощности. Таким образом происходит подавление помех малой мощности. Для подавления помех большей мощности необходим дополнительный источник энергии, например аккумуляторные батареи. При отсутствии помехи происходит заряд от электрической сети, при появлении помехи обеспечивается передача энергии, например, за счет электродвигателя, продолжает приводиться во вращение синхронная машина, указанная выше. Так как указанная выше помеха ограничена во времени 1 минутой, то емкость аккумуляторных батарей сравнительно небольшая.

3. При ресурсосберегающей технологии для испытания судовых генераторных агрегатов также повышается вероятность появления кондуктивной электромагнитной помехи по провалу напряжения, что подчеркивает необходимость разделения электропередачи на две составляющие. Безусловно, существуют два варианта развития подобной технологии. В первую очередь это установка системы бесперебойного берегового питания для ответственных потребителей, что представляет интерес для крупных ремонтно-эксплуатационных баз флота, а во вторую очередь более дорогой вариант — установка на каждое судно системы, обеспечивающей повышение качества электрической энергии, в том числе относительно указанной выше помехи. Однако в этом случае отсутствует возможность регулирования за счет изменения схемы подключения и количества подключенных судовых потребителей

с низкими требованиями к качеству электрической энергии и не оказывающими существенного влияния на технологические процессы.

Заключение.

1. В условиях постоянного изменения количества потребителей, мощности потребителей, графика потребления и коэффициента мощности, что, безусловно, обосновано постоянными переключениями и временем стоянки судов, возникает необходимость принятия всего комплекса мероприятий, направленного на классификацию ЭМП по провалу напряжения и последующего помехоподавления.

2. Практическая значимость данной работы заключается в обосновании роли сравнительного анализа текущих значений относительно кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по провалу напряжения с теоретическими. Например, существенное изменение длительности или количества провалов напряжения могут свидетельствовать о ненадлежащем состоянии электрооборудования, а также являться предпосылкой для предиктивного анализа технического состояния автоматизированной электроэнергетической системы плавучего инженерного сооружения. Произвести подобный анализ представляется возможным при помощи ПЛК.

3. Предложен способ деления электропередачи «берег–судно» на две составляющие, а именно с требованиями ППКЭЭ и, соответственно, без данных требований. Решение обладает технической новизной и при сравнительно малых затратах позволяет существенно повысить качество функционирования электропередачи «берег–судно».

4. Исследования аспектов повышения показателей качества электрической энергии относительно кондуктивной низкочастотной ЭМП по провалу напряжения при электроснабжении судов с берега позволили разработать быстроразъемный электрический соединитель для обеспечения качественного и быстрого подключения мощной судовой нагрузки к береговой сети.

Список использованной литературы

1. Ананьина, Т. В. Зависимость коэффициента диэлектрических потерь от температурного коэффициента в сетях с низкой интегральной характеристикой / Т. В. Ананьина, Е. В. Иванова, М. Е. Переладов, В. Г. Сальников //

Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России. Сборник научных трудов III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва, 2022. — С. 20–28.

2. Медведев, В. В. Разработка и оптимизация программы для вычисления конструктивного коэффициента энергетической эффективности e_{ed1} / В. В. Медведев, С. Н. Киселёв // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития. Материалы международной научно-технической конференции: в 2-х частях. Ответственный за выпуск О. А. Белов. — 2019. — С. 23–27.

УДК 621.3:656.56

Ипполитов В. А., Романов Л. Р., Крюков О. В.

ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АРКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДОБЫЧИ
И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

г. Сургут

Аннотация. Рассмотрен подход к проектированию и созданию цифровых трансформаторных подстанций полной заводской готовности для надежного и энергоэффективного электроснабжения для арктических объектов добычи, транспорта и переработки углеводородов. Представлены основные технические требования к блочно-модульным энергообъектам Крайнего Севера, функциональные возможности их реализации на базе принципов малолюдных технологий и алгоритмы безаварийной работы всех систем цифровых КТП. Приведены примеры практической реализации на арктических объектах.

Ключевые слова: арктические объекты; электроснабжение; комплектная трансформаторная подстанция, концентратор данных, малолюдные технологии; автоматический ввод резерва, мониторинг, энергоэффективность.

Ippolitov V. A., Romanov L. R., Kryukov O. V.

TCN-electro LLC, Nizhny Novgorod

ENERGY SUPPLY OF ARCTIC HYDROCARBON PRODUCTION AND
PROCESSING FACILITIES

Surgut

Abstract. An approach to the design and creation of digital transformer substations of full factory readiness for reliable and energy-efficient power supply for Arctic hydrocarbon production, transport and processing facilities is considered. The main technical requirements for block-modular power facilities of the Far North, the

functionality of their implementation based on the principles of sparsely populated technologies and algorithms for trouble-free operation of all digital CTP systems are presented. Examples of practical implementation at Arctic facilities are given.

Keywords: *Arctic facilities; power supply; complete transformer substation, data concentrator, sparsely populated technologies; automatic reserve input, monitoring, energy efficiency.*

Введение.

Успешное освоение территорий и богатейших ресурсов Крайнего Севера РФ неразрывно связано с надежным и энергоэффективным электро-снабжением производственных и социальных объектов инфраструктуры [3; 9]. В России накоплен положительный опыт комплексного проектирования и строительства «под ключ» трансформаторных подстанций КТП-10/0,4 кВ в блочно-модульном исполнении полной заводской готовности для объектов Арктики (рис. 1) [2; 6]. При этом трансформаторные подстанции КТП-10/0,4 кВ представляют собой блочно-модульные здания отечественного производства, состоящие не более чем из трех модулей. Все технические решения, принятые при проектировании и изготовлении блочных зданий, электрооборудования и систем АСУЭ соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории Российской Федерации, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей его эксплуатацию при соблюдении нормативно-технической документации (НТД) [5; 7; 10].



Рис. 1. Общий вид комплектной трансформаторной подстанции проекта «Арктик СПГ 2» с функциями цифровой подстанции

Основные технические требования к энергообъектам Арктики.

Уникальные климатические условия арктических территорий размещения КТП характеризуются как очень суровые с диапазоном температур воздуха от минус 52 °С и до плюс 30 °С при среднегодовой влажности 84%. Большое влияние имеет многолетняя мерзлота, обилие болот и рек, климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 – ХЛ1.

В связи со сложными инженерно-геологическими и климатическими условиями, недостаточно развитой инфраструктурой региона строительства, блочно-модульные КТП-10/0,4 кВ поставляются на объект установки максимально комплектными для минимизации объема строительно-монтажных (СМР) и пуско-наладочных работ (ПНР) (рис. 2) и с максимальным спектром функциональных возможностей превентивного прогнозирования состояния [4; 11; 12] на уровне цифровых подстанций в соответствии с принципами малолюдных технологий [1; 8]. В блочно-модульных КТП полностью установлено современное оборудование для освещения, отопления, вентиляции и систем сигнализации. Категория надежности электроснабжения по ПУЭ — 1, электропитание САУ обеспечивается по 1-й категории особой группы электроснабжения.



Рис. 2. Комплектное распределительное устройство РУНН «Каскад» цифровой подстанции

Кроме типового унифицированного электрооборудования в КТП арктического исполнения устанавливаются специализированные системы автоматизации и мониторинга в каждом модуле:

- распределительное устройство низкого напряжения (РУНН-0,4 кВ) с приборами учета электроэнергии для передачи в систему АСУЭ и выводом на верхний уровень;
- шкаф собственных нужд 0,4 кВ с ИБП для питания потребителей собственных нужд и независимыми расцепителями для отключения при пожаре на базе УК-ВК/04;
- установки компенсации реактивной мощности (УКРМ) с конденсаторными установками и антирезонансными фильтрами гармоник для стабилизации коэффициента мощности на уровне 0,95, обеспечивающие микропроцессорное регулирование мощности и цифровой интерфейс RS-485 с выходом в АСУЭ.

Особенности реализации функций автоматического управления цифровой КТП.

Архитектура построения АСУЭ в составе шкафа РУНН, шкафа гарантированного электропитания и щитов станций управления КРУ базируется на централизованном устройстве сбора данных — Концентраторе данных РУНН, который контролирует работу АВР, расцепителей, счетчиков, УКРМ, модулей ввода-вывода. Подключение УВН выполнено напрямую по протоколу Ethernet 100 BASE TX / МЭК 61850.

Блок управления автоматическим вводом резерва (АВР) выполнен на базе программируемого контроллера и сенсорной панели оператора. Контроллер предназначен для автоматического ввода резерва, реализации функции возврата к нормальному режиму работы, контроля выполнения команд управления, контроля контактной группы силовых выключателей, автоматической блокировки подачи напряжения на аварийную секцию шин. Дополнительно контроллер выполняет функции сбора и передачи информации на верхний уровень по цифровому протоколу обмена в соответствии с концепцией цифровой КТП.

Сенсорная панель оператора выполняет функции отображения динамической мнемосхемы распределительного устройства, просмотра журнала событий и списка не квитированных неисправностей, а также для отображения и изменения настроек режимов работы блока АВР. Причем основные настройки указываются соответствующими переключателями на панели шкафа управления, а доступ к расширенным настройкам осуществляется через экран панели оператора после авторизации пользователя.

Основные функции управления АВР следующие:

- блок АВР разрешает управление силовыми выключателями с помощью ключей управления (кнопок), расположенных на панели управления;
- блок АВР обеспечивает автоматическое включение резерва, если переключатель режима работы установлен в положение «автоматический»;
- блок АВР обеспечивает управление силовыми выключателями по командам дистанционного управления;
- средствами программно-технического комплекса (ПТК) обеспечивается возможность изменения параметров электроустановки (выдержки времени и режимы АВР);
- все действия оперативного персонала по управлению фиксируются в журнале событий с указанием метки времени;
- предусмотрено разграничение доступа пользователей по доступу к настройкам;
- отсутствие подтверждения выполнения управляющих команд регистрируется в журнале событий и сопровождается соответствующей сигнализацией.

Контроллером АВР и панелью оператора в составе блока АВР обеспечивается:

- предупредительная сигнализация при действии АВР, при неисправностях технических средств ПТК, при перебоях в оперативном питании;
- аварийная сигнализация при срабатывании защит и действии блокировок, при отключении измерителя напряжения на вводе или секции шин, при аварийном отключении автоматических выключателей;
- квитирование сигнализации доступно со шкафа управления с индикацией неисправности до момента устранения причины ее появления (предупредительная сигнализация) или устранения причины ее появления и квитирования на щите (аварийная);
- появление и пропадание вышеуказанных событий подлежит регистрации в журнале событий с присвоением метки времени.

Описание интерфейсов панели оператора.

На рис. 3 представлен интерфейс панели оператора в режиме «Мнемосхема».

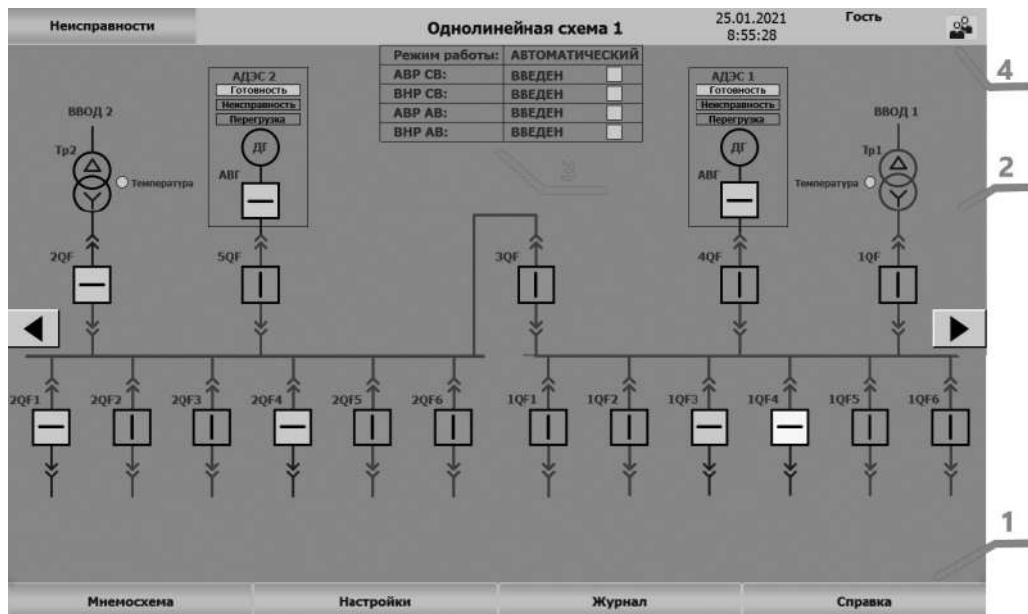


Рис. 3. Интерфейс панели оператора

Рамками выделены основные элементы интерфейса: функциональные кнопки (1), область видеокadra (2), поле отображения режимов АВР (3), заголовков окна (4). Функциональные кнопки используются для перехода между основными экранами. Назначение функциональных кнопок показано соответствующими поясняющими надписями на экране. Назначение функциональных кнопок одинаковое на всех экранных формах.

С помощью поля отображения режимов АВР отображаются режимы работы РУНН и режимы работы АВР. Режимы АВР СВ, АВР АВ устанавливаются с помощью переключателей на панели управления РУНН, а ВНР СВ, ВНР АВ устанавливаются с помощью программных переключателей на экранах «Выдержки времени, режимы АВР АВ».

На однолинейной схеме (рис. 3) в режиме реального времени динамически отображается следующая информация: наличие напряжения на сборных шинах и вводах; состояние вводных выключателей, секционного выключателя; состояние выключателей аварийных вводов и выключателей генераторов АДЭС; состояние перегрузки и неисправности АДЭС; режимы работы распределительного устройства; режимы АВР и ВНР.

Для перехода на экран «Справка» необходимо нажать соответствующую кнопку, экран «Справка» представлен на рис. 4, где дано отображение состояний и положений выключателей, цветовая индикация наличия или отсутствия исправного напряжения.

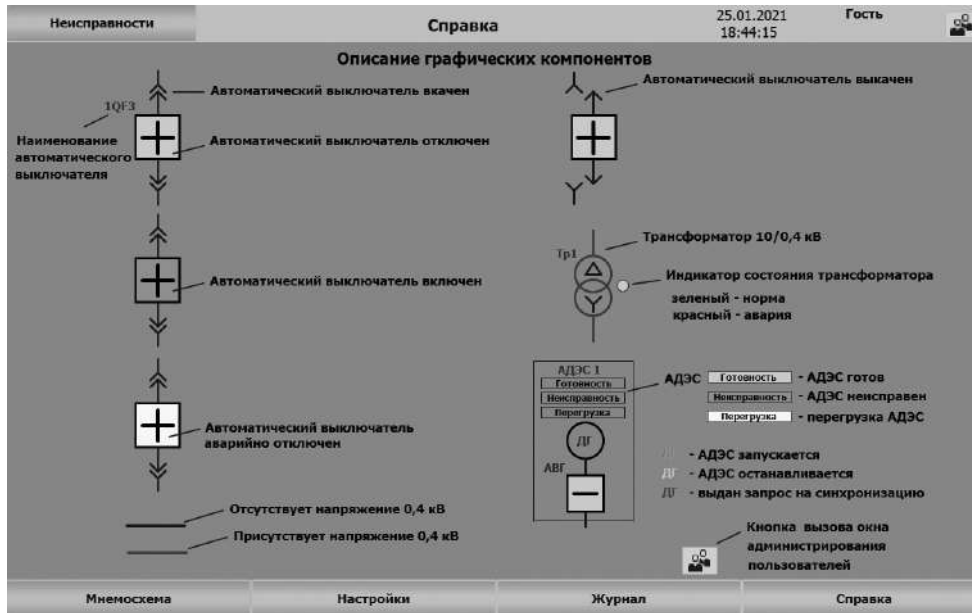


Рис. 4. Окно «Справка»

Переход к экрану «Журнал» (рис. 5) производится нажатием кнопки «Журнал». Информация журнала событий находится в памяти контроллера. Панель оператора служит средством просмотра записей журнала. В журнал записываются все основные события в хронологическом порядке с указанием даты и времени. Емкость журнала 1000 записей. В фоновом режиме журнал обновляется автоматически. Чтобы обновить список событий, отображаемый в окне «Журнал», необходимо нажать кнопку «Журнал».



Рис. 5. «Журнал событий»

События в журнале имеют цветовую окраску в зависимости от класса, к которому относится данное сообщение:

- аварийные сообщения с квитированием — красный цвет;
- предупредительные сообщения с квитированием — оранжевый;
- команды управления — черный текст на белом фоне;
- телесигнализация — зеленый цвет;
- сигналы с двумя состояниями без квитирования — синий цвет;
- недостоверные сигналы — фиолетовый цвет.

Описание алгоритма.

Входными переменными для логики АВР являются дискретные сигналы о состоянии и положении силовых выключателей, дискретные сигналы от реле контроля напряжения на вводах и секциях шин, дискретные сигналы из схемы АДЭС, значения программных уставок режимов и таймеров.

Логика функционирования АВР и дистанционное управление по Modbus блокируются в случаях обнаружения недостоверных сигналов о состоянии силового выключателя или отключения оперативных цепей силового выключателя или сигнализации (24VDC).

Автоматический ввод резерва происходит при выполнении следующих условий:

- установлен режим работы «автоматический»;
- неисправный ввод отключен;
- секция шин, на которую подается питание, без напряжения и не заблокирована;
- переключатель АВР СВ в положении введен.

Ввод считается неисправным, если:

- отсутствует сигнал о наличии исправного напряжения на вводе в течение времени, превышающего выдержку на запуск АВР;
- выключатель ввода не выполнил команду на включение;
- обнаружена неисправность силовых контактов выключателя ввода (в уставках панели оператора в пункте «контроль контактной группы» указано «отключение неисправного выключателя» или «блокировка секции шин»);
- неисправен силовой трансформатор (авария по температуре или давлению масла и т. д.) или сработала защита от ОЗЗ (однофазного замыкания на землю).

Для правильной работы функции контроля контактной группы выключателя необходимо, чтобы уставка минимального напряжения реле на секции шин была ниже, чем уставка минимального напряжения реле на вводе. Если есть контроль повышенного напряжения, то уставка повышенного напряжения реле на секции шин должна быть выше, чем уставка максимального напряжения реле на вводе.

Выводы.

Длительная энергоэффективная и безаварийная работа всех систем цифровых КТП в арктическом исполнении производства ООО «ТСН-электро» подтвердила корректность реализации заложенных при проектировании принципов малолюдных технологий и алгоритмов АСУЭ с полным набором всех основных функций мониторинга позволяет говорить о перспективности дальнейшего совершенствования электрооборудования КРУ «Каскад» и IT-технологий КТП для арктических объектов нефтегазового сектора.

Список использованной литературы

1. Васенин, А. Б. АСУ систем электроснабжения на принципах SMART GRID для объектов магистральных газопроводов / А. Б. Васенин, О. В. Крюков, А. В. Серебряков // Автоматизация в промышленности. — 2012. — № 4. — С. 36–38.
2. Васенин, А. Б., Крюков О. В., Серебряков А. В. Энергетический комплекс // Патент на полезную модель RU 113085 U1, 27.01.2012. Заявка № 2011140276/07 от 04.10.2011.
3. Воронков, В. И. Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей магистральных газопроводов / В. И. Воронков, И. Е. Рубцова, О. В. Крюков // Газовая промышленность. — 2010. — № 3 (643). — С. 32–37.
4. Груздев, В. В. Методологический подход к прогнозированию технического состояния трансформаторов распределительных устройств / В. В. Груздев, А. С. Волков, О. В. Крюков // Автоматизация и IT в энергетике. — 2021. — № 1 (138). — С. 14–19.
5. Захаров, П. А. Системы автоматизации технологических установок для эффективного транспорта газа / П. А. Захаров, Н. В. Киянов, О. В. Крюков // Автоматизация в промышленности. — 2008. — № 6. — С. 6–10.
6. Кононенко, А. Б. Расширение функциональных возможностей автоматизации и мониторинга распределительных устройств КТП «Каскад» /

А. Б. Кононенко, А. А. Косоротов, О. В. Крюков // Автоматизация и IT в энергетике. — 2020. — № 12. — С. 26–31.

7. Крюков, О. В. Оценка эксплуатационных факторов энергообъектов по нормативным требованиям мониторинга / О. В. Крюков // Контроль. Диагностика. — 2018. — № 10. — С. 50–57.

8. Крюков, О. В. Принципы малолюдных технологий в организации работы электроприводных компрессорных станций / О. В. Крюков // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2014. — № 4. — С. 10–13.

9. Крюков, О. В. Экологические направления электроснабжения при реконструкции объектов ПАО «Газпром» / О. В. Крюков, А. В. Серебряков // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2015. — № 8. — С. 23–33.

10. Пужайло, А. Ф. Энергосбережение в агрегатах компрессорных станций средствами электроэнергетики / А. Ф. Пужайло, О. В. Крюков, И. Е. Рубцова // Наука и техника в газовой промышленности. — 2012. — № 2. — С. 98–106.

11. Серебряков, А. В. Интеллектуальные энергетические установки для автономных систем электроснабжения / А. В. Серебряков, О. В. Крюков. — Нижний Новгород : НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2014.

12. Kadin S. N., Kazachenko A. P., Kryukov O. V. Questions related to the development of metrological assurance in the design of Gazprom facilities // Measurement Techniques. 2011. T. 54. № 8. P. 944–952.

УДК 621.3:656.56

Васенин А. Б.¹, Степанов С. Е.¹, Крюков О. В.²

¹ООО «Газпром проектирование», г. Нижний Новгород,

²ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДВОДНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ КИРИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрено современное состояние развития подводных добычных комплексов углеводородного сырья. Представлен анализ работы автоматизированных электроприводов технологического оборудования подводных компрессорных станций и инновационные методологии обеспечения высокой надежности, энергетической эффективности и снижения вредных выбросов в окружающую среду. Приведены примеры реализации пилотных решений для реализации Киринского газоконденсатного месторождения.

Ключевые слова: *подводный добычной комплекс, дожимная компрессорная станция, энергоэффективность; автоматизированный электропривод; газоперекачивающий агрегат.*

Vasenin A. B.¹, Stepanov S. E.¹, Kryukov O. V.²

¹ООО Gazprom Design, Nizhny Novgorod,

²ООО “TSN-electro”, Nizhny Novgorod

AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF UNDERWATER COMPRESSOR STATIONS OF THE KIRINSKY GAS CONDENSATE FIELD

Abstract. The current state of development of underwater production complexes of hydrocarbon raw materials is considered. The paper presents an analysis of the operation of automated electric drives of technological equipment of underwater compressor stations and innovative methodologies for ensuring high reliability, energy efficiency and reducing harmful emissions into the environment. Examples of the implementation of pilot solutions for the implementation of the Kirinsky gas condensate field are given.

Keywords: *underwater mining complex, booster compressor station, energy efficiency; automated electric drive; gas pumping unit.*

Введение.

Для поступательного развития электроэнергетики Российской Федерации необходим инновационный переход от традиционных методов добычи ископаемых ресурсов нефти и газа на материке к энергосберегающим технологиям разработки шельфовых месторождений в акваториях северных морей [3; 5; 11]. Ресурсный потенциал нефтегазовых месторождений шельфа Северного Ледовитого океана огромный, однако он сдерживается сложностями освоения из-за природных, технологических и экономических факторов [6; 7; 12].

Несмотря на то, что современные технологии освоения месторождений углеводородов (УВ) в мировой практике уже имеются, промышленное освоение в России арктического и дальневосточного шельфа связано с привлечением значительных капитальных вложений из-за экстремальных природно-климатических условий (низкие температуры воздуха, сильные ветра, ледяной покров акваторий морей). Это также связано с тем, что открытые и планируемые к вводу в разработку шельфовые газоконденсатные месторождения (Кириновское, Южно-Кириновское, Штокмановское, Ленинградское, Русановское и др.) являются, по существу, уникальными и целью их освоения является обеспечение проектного уровня добычи в течение длительного срока эксплуатации в экстремальных природно-географических условиях арктического и субарктического регионов. Для положительного решения данных задач требуется четкая реализация планов, и главными этапами из них можно отметить следующие:

- выбор по технико-экономическим критериям конструкций и способов реализации режимных технологий функционирования скважин, которые обеспечивают энергоэффективность добычных показателей;
- электроэнергетическая база надежного электроснабжения всех технологических установок [4; 9];
- оптимизация комплексной схемы обустройства месторождений от скважин для магистрального газопровода [1; 10].

Технический прорыв последних лет позволил выйти на принципиально новые схемы обустройства шельфовых месторождений с использованием

подводного комплекса оборудования, позволяющего осуществлять подводную добычу на глубинах более сотен метров, подготовку и транспорт газа. Причем одной из основных тенденций современного развития систем подводного добычного комплекса (ПДК) газа в последнее время является создание подводных дожимных компрессорных станций для перекачки газа, позволяющих повысить коэффициент извлечения газа и продлить пик максимальной добычи газа.

Мировая история реализации ПДК.

2015-й год вошел в историю газодобычи на морском континентальном шельфе как год начала промышленной эксплуатации первых двух уникальных подводных компрессорных станций мощностью 10 и 23 МВт на шельфах Норвежского и Северного морей. Как показал практический опыт, себестоимость добычи природного газа с помощью различных морских платформ или с использованием технологий наклонного бурения является более затратным по капитальным затратам и эксплуатационным расходам, чем при использовании ПДК:

- более экологичное и надежное построение систем на основе резервирования узлов;
- отсутствует воздействие природных факторов: льдов, айсбергов, ураганов;
- снижение рисков аварий и ущерба для сооружений и безопасности персонала;
- отсутствуют вредные выбросы при использовании электропривода ГПА;
- снижаются затраты на строительство установок охлаждения газа и обслуживание.

Использование подводных ПДК является единственной возможностью эффективной добычи углеводородного сырья с глубин более 500 м в условиях Крайнего Севера, на шельфе Северного Ледовитого океана при наличии айсбергов или сплошного ледового покрова значительной части года.

Проекты использования ПДК в настоящее время разрабатываются для месторождений Бразилии, Мексики, США, Африки, Австралии, Баренцева моря и т. п. Признанным родоначальником в использовании технологий ПДК для добычи природного газа является фирма Statoil, которая

уже длительно и успешно проводит реализацию всех технологий освоения шельфовых месторождений в незамерзающих акваториях Норвежского моря.

В настоящее время в промышленной эксплуатации находятся подводные блоки компримирования на месторождениях Асгард и Гуллфакс. Причем на месторождении Асгард применены электроприводные газоперекачивающие агрегаты (дожимные центробежные нагнетатели) в моноблочном исполнении [2; 8], с инновационной конструкцией роторов электродвигателя и нагнетателя на электромагнитных подшипниках в едином вертикальном корпусе при отсутствии мультипликатора, маслосистемы и искусственного внешнего охлаждения.

Опытно-конструкторские работы ряда ведущих мировых фирм по освоению производства подводных электроприводных компрессоров включают новые комплектные подводные компрессорные станции с активными магнитными подшипниками, газоохладителями, полупроводниковыми преобразователями частоты и безнасосным нагнетанием жидкой фазы сепаратора в поток сжатого газа для совместной транспортировки.

Проекты освоения Киринского блока ГКМ.

Шельф Северо-Восточного Сахалина на сегодняшний день с точки зрения локализации месторождений адекватно исследован в результате систематических геолого-географических исследований и сейсмических работ 2D и 3D, которые начинались еще в 1957–1958 годах и привели к открытию крупнейших нефтегазоконденсатных месторождений. В этом плане на участке шельфа Сахалин-3 можно отдельно выделить Киринский блок (рис. 1), где зафиксированы основные области добычи — Киринская, Южно-Киринская и Мынгинская с доказанными запасами углеводородного (УВ) сырья 180 млн. т условного топлива и ресурсной базой по природному газу порядка 750 млрд м³.

В Российской Федерации Киринское ГКМ является первым проектом, который основан на подводных объектах обустройства. Поэтому оно рассматривается в качестве опытного полигона для применения технологий подводной подготовки и компримирования.

Подход к промышленному обустройству пилотного Киринского газоконденсатного месторождения (ГКМ) требует анализа главных факторов (рис. 2): преимущественно ледовый режим моря, отсутствие возможности

добычи газа с платформ и большая длина силового кабеля электроснабжения и газопровода до установки комплексной подготовки.

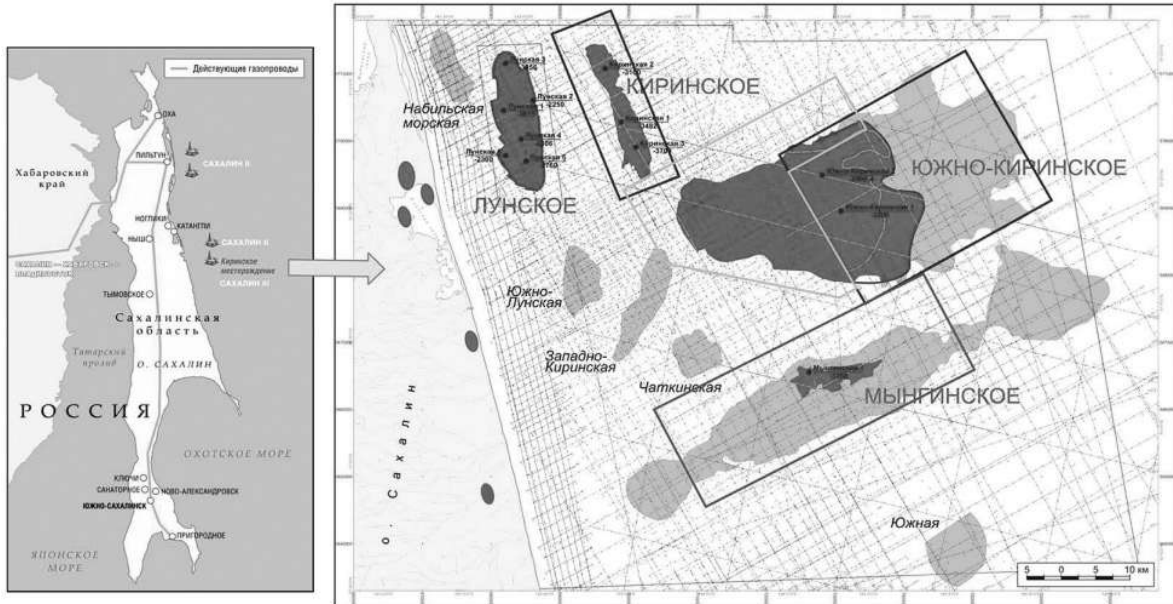


Рис. 1. Схема расположения Кириновского блока месторождений углеводородного сырья

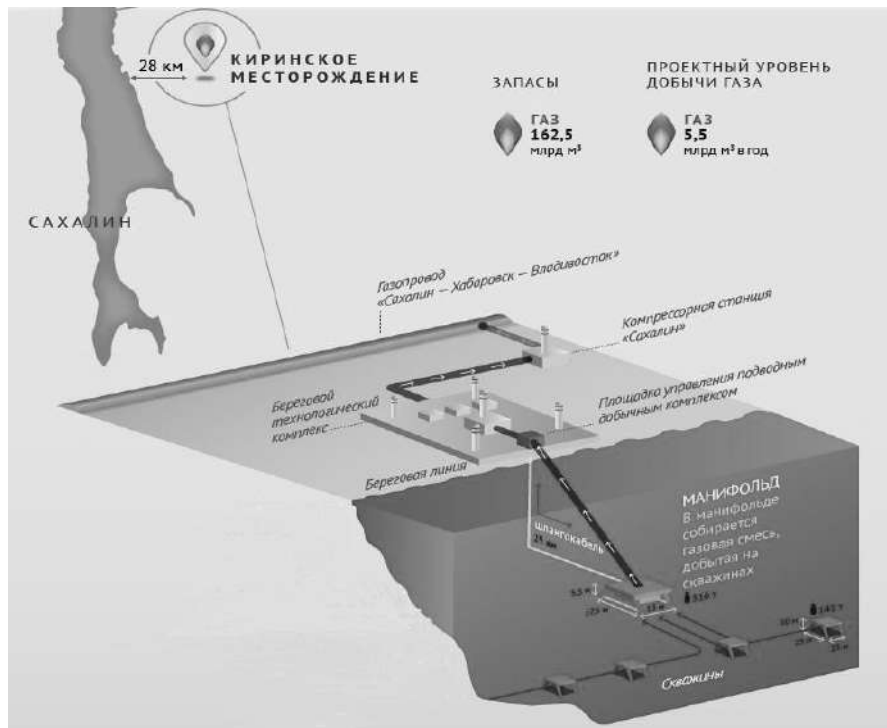


Рис. 2. Технологическая схема обустройства ПДК Кириновского ГКМ

Требования к электрооборудованию подводного добычного комплекса.

Основными требованиями к проекту ПДК являются:

- длительная эксплуатация при минимальном техническом обслуживании в соответствии с принципами малолюдных и безлюдных технологий;
- мониторинг с превентивным прогнозированием состояния с берегового пункта;
- дублирование критических энергетических систем по принципам резервирования;
- автоматическое выполнение аварийного останова с берегового пункта;
- возможность модульной замены агрегатов с помощью дистанционно управляемых подводных аппаратов в ледовый период;
- запуск/прием диагностических роботов в трубопровод в районе его выхода на берег;
- возможность проведения внутрискважинных работ в период открытой воды с плавучих средств для доступа к устью скважин через блок фонтанной арматуры;
- возможность встраивания в ПДК нового энергетического оборудования на стадиях эксплуатации и его подключения к системе дистанционного управления;
- наличие перспектив наращивания производительности ПДК.

В настоящее время современный уровень подводных технологий разработки месторождений углеводородного сырья способен удовлетворить большинство приведенных требований. В этой связи пилотный проект ПДК Киринского ГКМ является первым в российской практике высокотехнологическим подводным объектом, развивающим успехи освоения нефтегазовых промыслов РФ в Арктических регионах с зонами «неблагоприятных» и «абсолютно неблагоприятных» природных условий для жизни.

Проект освоения Киринского ГКМ реализуется по этапам с параметрами:

- расчетная производительность — 5,5 млрд м³/год;
- бурение основных 7 скважин производится ПБУ «Полярная звезда»;
- средний ориентировочный дебит одной скважины — 2,2 млн м³/сутки;

- ресурс оборудования для круглогодичной добычи газа — 12 лет;
- коммерческий объем максимальной добычи — 77 млрд м³.

Планом строительства Киринского ГКМ (рис. 3) намечено создание:

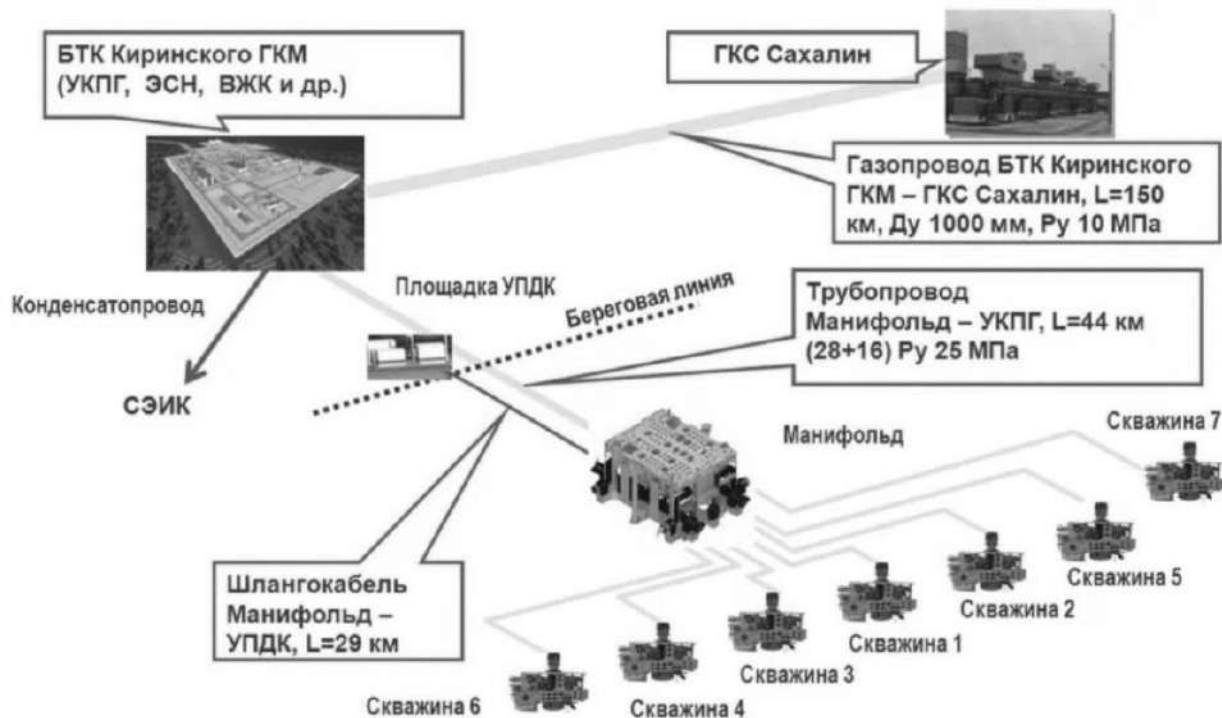


Рис. 3. Схема обустройства Киринского ГКМ

- подводного добычного комплекса на месторождении, включая автономные модули основных энергетических агрегатов (манifold, силовые кабели и трубопроводы), межскважинные и коммуникационные системы сбора, узлы интерфейсного обмена с центральным постом управления АСУ ТП;
- берегового технологического комплекса (УКПГ, промбаза, вахтовый комплекс, ЭСН, водопроводно-канализационного хозяйства);
- интегрированного сборного коллектора от manifold до УКПГ (44 км) и до МГ «Сахалин–Хабаровск–Владивосток» (2,1 км), а также вспомогательного конденсатопровода.

Проекты применения автоматизированного электропривода для ПДК.

Проведенные технологические расчеты по определению режимов работы станций позволили обосновать оптимальный состав и параметры основного технологического оборудования, а также режимы работы компрес-

сорного, теплообменного, сепарационного и насосного оборудования. Согласно расчетам, парадигма создания ПДК на Киринском ГКМ включает строительство одной рабочей и одной резервной линий с газоперекачивающими агрегатами, имеющими приводные асинхронные электродвигатели (ПАЭД) на мощность 5 МВт. Для функционирования основных ПАЭД имеются модули силового высоковольтного трансформатора и модули преобразователя частоты шкафного защищенного исполнения для ПАЭД насоса отсепарированной жидкости.

Аналогичная парадигма ПДК на Южно-Киринском ГКМ включает строительство четырех рабочих и двух резервных линий дожимных компрессоров с ПАЭД мощностью 12,5 МВт. Электропитание последних осуществляется через модули распределительного устройства и бесперебойного электроснабжения с понижающим трансформатором, и высоковольтного частотного преобразователя ПАЭД. В рамках стратегии импортозамещения необходимо поэтапно осваивать создание ключевых видов оборудования ПДК силами отечественных предприятий.

На первом этапе проекта ПДК Киринского ГКМ предлагается разработка наиболее критичного элемента — подводного герметичного ЭГПА на магнитном подвесе номинальной мощностью 5 МВт, проведения его испытаний на заводе-изготовителе и в бассейне. Далее проектируется высоковольтный многоуровневый преобразователь частоты ПАЭД особой топологии, источников бесперебойного питания и моноблока электронасоса. В завершении проекта разрабатываются вспомогательные агрегаты (сепараторы, теплообменники, система автоматического управления), а также интегрированные технические системы ПДК в целом, в том числе интерфейсные модули.

Аналогичные этапы реализации проекта ПДК Южно-Киринского ГКМ с электроприводным герметичным компрессором номинальной мощностью 12,5 МВт.

Технико-технологические решения, реализованные в проектах Киринского и Южно-Киринского месторождений, впоследствии будут использованы для проектов освоения других перспективных шельфовых месторождений акваторий Арктики и Дальнего Востока. Они могут быть применены при освоении Ленинградского и Русановского месторождений и перспективных структур Карского моря, а также при освоении Штокмановского, Ледового и Лудловского месторождений Баренцева моря.

Показатели ESG.

Новые проекты ПДК для месторождений углеводородного сырья для нужд Российской Федерации включают в себя комплект технологических агрегатов и систем электроснабжения для добычи природного газа. Инновационный модульный принцип организации систем и основного технологического оборудования позволяет реализовать установку и монтаж ПДК в кратчайшие сроки, ограниченные погодными условиями и ледовой обстановкой на море. Для выпускаемых ПДК разработана стандартизованная линейка номенклатуры инструментария для монтажа, ПНР и технологического обслуживания оборудования под водой с помощью дистанционно управляемых роботов.

В ближайшей перспективе впервые в России добыча природного газа будет реализована на основе ПДК с использованием природоохранных технологий, что дает уникальную возможность производить народно-хозяйственную деятельность с минимальным негативным воздействием на экологическую систему региона. Основное оборудование выполнено сертифицированными в России и в ПАО «Газпром» ведущими отечественными предприятиями. При этом неукоснительно контролируется использование нормативно-технической документации в области охраны труда, промышленной и экологической безопасности (стандарты ISO 14001, OHSAS 18001), в том числе ПАО «Газпром».

Таким образом, можно констатировать:

1. Мировой опыт освоения глубоководных месторождений нефти и газа в акваториях морей позволяет инициировать проектные и сейсморазведочные работы на шельфе северных и восточных морей России, обеспечивая ресурсной базой инновационные ПДК для освоения уникальных и крупных ГКМ.

2. Для пилотного проекта Киринского блока создает синергетический эффект:

- имеет системообразующую тенденцию по реализации «Программы создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения»;
- полученные в результате добычи объемы газа с блока «Сахалин-3» станут основной ресурсной базой для МГ «Сахалин-Хабаровск-Владивосток»;

- обуславливает совершенствование компрессорной техники на отечественных предприятиях, стимулирует развитие автоматизированного электропривода, электрических машин, трансформаторов, КТП, КРУ, ЭГПА и местных предприятий, привлечение к обучению и переподготовке молодых специалистов.

Список использованной литературы

1. Васенин, А. Б. АСУ систем электроснабжения на принципах SMART GRID для объектов магистральных газопроводов / А. Б. Васенин, О. В. Крюков, А. В. Серебряков // Автоматизация в промышленности. — 2012. — № 4. — С. 36–38.
2. Васенин, А. Б. Реализация капсулированных электроприводных ГПА на объектах ПАО «Газпром» / А. Б. Васенин, С. Е. Степанов, О. В. Крюков // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. — 2020. — Т. 63. № 1. — С. 31–37.
3. Велихов, Е. П. Энергообеспечение подводно-подледных технологий добычи углеводородов на арктическом шельфе / Е. П. Велихов, В. П. Кузнецов, В. А. Кравченко // Газовая промышленность. — 2011. — № S 661. — С. 60–62.
4. Воронков, В. И. Электроснабжение и электрооборудование линейных потребителей магистральных газопроводов / В. И. Воронков, И. Е. Рубцова, О. В. Крюков // Газовая промышленность. — 2010. — № 3 (643). — С. 32–37.
5. Кириллов, Д. Грамотная актуализация. «Газпром» корректирует свои приоритеты на шельфе / Д. Кириллов // Газпром. — 2014. — № 4. — С. 6–9.
6. Кононенко, А. Б. Расширение функциональных возможностей автоматизации и мониторинга распределительных устройств КТП «Каскад» / А. Б. Кононенко, А. А. Косоротов, О. В. Крюков // Автоматизация и IT в энергетике. — 2020. — № 12. — С. 26–31.
7. Крюков, О. В. Оценка эксплуатационных факторов энергообъектов по нормативным требованиям мониторинга / О. В. Крюков // Контроль. Диагностика. — 2018. — № 10. — С. 50–57.
8. Крюков, О. В. Принципы малолюдных технологий в организации работы электроприводных компрессорных станций / О. В. Крюков // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2014. — № 4. — С. 10–13.

9. Крюков, О. В. Экологические направления электроснабжения при реконструкции объектов ПАО «Газпром» / О. В. Крюков, А. В. Серебряков // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2015. — № 8. — С. 23–33.
10. Мещеряков, В. Н. Научные основы и энергосберегающие технологии обеспечения подводных добычных комплексов / В. Н. Мещеряков, О. В. Крюков // Газотранспортные системы: настоящее и будущее (GTS-2019). Тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции. — М. : «Газпром ВНИИГАЗ», 2019. — С. 41.
11. Пужайло, А. Ф., Крюков О. В., Рубцова И. Е. Энергосбережение в агрегатах компрессорных станций средствами электроэнергетики / А. Ф. Пужайло, О. В. Крюков, И. Е. Рубцова // Наука и техника в газовой промышленности. — 2012. — № 2. — С. 98–106.
12. Kadin S. N., Kazachenko A. P., Kryukov O. V. Questions related to the development of metrological assurance in the design of Gazprom facilities // Measurement Techniques. 2011. T. 54. № 8. P. 944–952.

УДК 621.311

Кондранин М. С.¹, Кислицин Е. Ю.²

¹ ООО «РН-Юганскнефтегаз», ЦЭЭО № 3, г. Пыть-Ях

² Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли, расположенных на большом отдалении от централизованной системы электроснабжения. Рассматривается возможность применения автономных источников питания для энергоснабжения месторождений, использование попутного нефтяного газа в качестве топлива для автономных электростанций.

Ключевые слова: автономные источники питания, газовые электростанции, попутный нефтяной газ.

Kondranin M. S.¹, Kislitsyn E. Yu.²

¹“RN-Yuganskneftegaz”, CEEO № 3, Pyt-Yakh

²Surgut State University, Surgut

APPLICATION OF AUTONOMOUS POWER SOURCES FOR POWER
SUPPLY OF REMOTE OBJECTS

Surgut

Abstract. The article deals with the problems of power supply of oil and gas industry facilities located at a great distance from the centralized power supply system. The possibility of using autonomous power sources for the energy supply of fields, the use of associated petroleum gas as fuel for autonomous power plants is being considered.

Keywords: *autonomous power sources, gas power plants, associated petroleum gas.*

В России исторически сформировалась тенденция к применению централизованного энергоснабжения для нефтегазовой промышленности. В этом случае для централизованного электроснабжения необходимо строительство длинных линий электропередачи.

Но истощение нефтяных месторождений вынуждает предприятия переносить производство в отдаленные, труднодоступные районы. Следовательно, новые объекты строительства нефтедобычи начинают размещаться все дальше на Севере, в районе арктических зон, где отсутствует централизованное электроснабжение во многих неразработанных нефтяных районах (рис. 1).

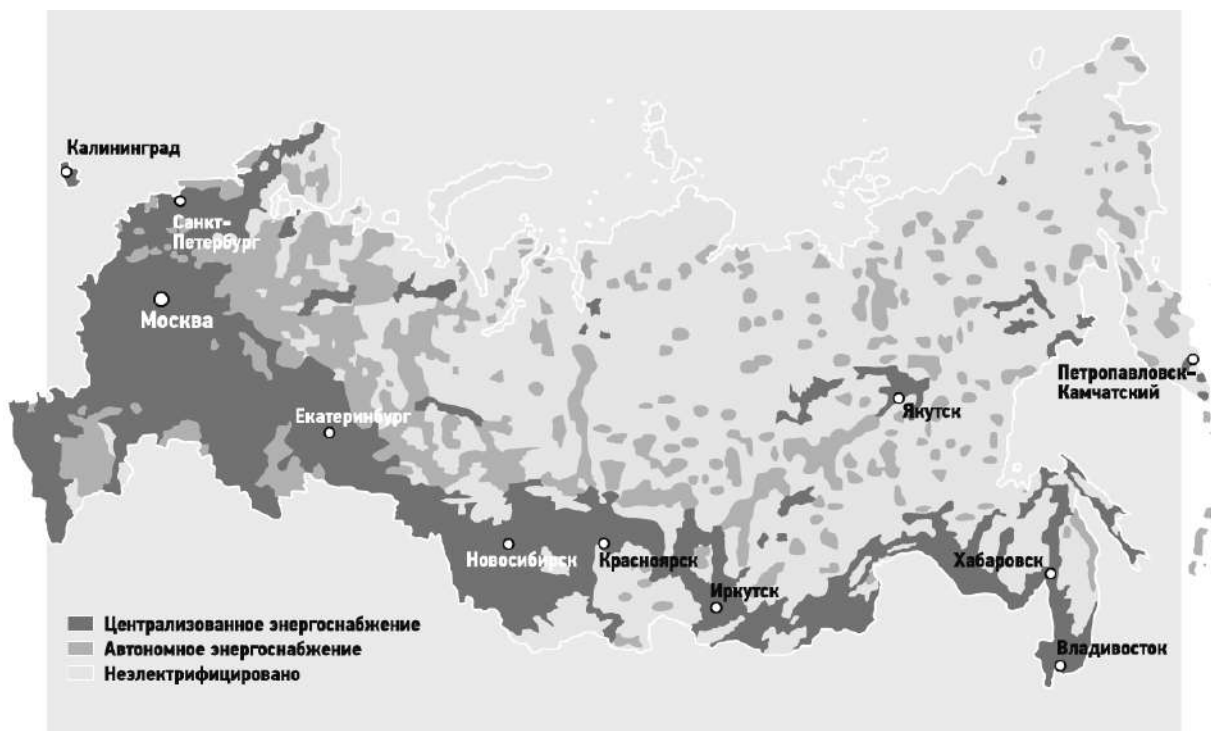


Рис. 1. Централизованные и автономные системы электроснабжения

При удалении от источника питания качество и надежность электроэнергии будет хуже, особенно в суровых климатических условиях. Стоит отметить еще несколько основных недостатков централизованного электроснабжения отдаленных объектов [2]:

1. Высокие затраты на строительство и подключение к сети. Подключение удаленных объектов к централизованной сети может быть крайне

дорогостоящим. В некоторых случаях это может потребовать строительства новой линии электропередачи, что может быть финансово дорогостояще для малых объектов или объектов в труднодоступных местах.

2. Необходимость регулярного технического обслуживания сети. Централизованная система электроснабжения требует постоянного технического обслуживания и ремонта. Устаревание и износ оборудования во многих отраслях достигает 70%, что приводит к сбоям, отказам в работе и нарушениям систем электроснабжения потребителей. В случае, если объект находится в удаленном месте, обслуживание может быть затруднено, что может привести к сбоям и простоям в работе.

3. Уязвимость системы к отключениям. Если происходит отключение электроэнергии в центральном источнике, то все объекты, подключенные к этой сети, также теряют электричество. Нефтегазовая промышленность выделяется высокой энергоемкостью, расходы на энергоносители в стоимости продукции для всей вертикали нефтяной промышленности зачастую составляют более половины от расходов. Электрооборудование, питающее месторождение, должно обеспечивать беспереывное электроснабжение электроэнергией заданного качества. Например, согласно исследованиям, у погружных электродвигателей при напряжении ниже 70% от номинального возможны сбои в работе и падение производительности двигателя. Как следствие, аварийные остановки и повторное включение насосного оборудования негативно влияют на срок его эксплуатации. В некоторых случаях бесконтрольный запуск приводит к поломке оборудования.

4. Уязвимость системы к авариям. Централизованная система электроснабжения часто является уязвимой к различным природным авариям и катастрофам. В случае сбоя системы отдаленные объекты могут остаться без электричества на длительный период времени, что может привести к значительным проблемам и убыткам.

5. Ограниченная гибкость в выборе источника энергии. Централизованная система электроснабжения может ограничивать возможности выбора источника энергии для потребителей. Например, если система работает на основе ископаемых топлив, то потребители могут быть вынуждены использовать только этот источник энергии, даже если в округе есть более экологически чистые варианты.

Поэтому для месторождений, не имеющих в своем большинстве доступа к централизованной сети, более целесообразным будет получение электроэнергии за счет применения автономных источников питания.

Для месторождений районов, где климатические условия крайне суровые, применение автономных систем питания имеет особое значение. В таких условиях обеспечение стабильного и надежного источника электроэнергии критически важно для поддержания работы оборудования и комфортных условий для персонала. Наиболее распространенные автономные электростанции, используемые в нефтегазовой промышленности, — газовые электростанции и дизельные.

Дизельные электростанции применимы только на первом этапе, когда месторождение только обустраивается. Это агрегаты небольшой мощности, и их установка более быстрая, обеспечивающая надежную работу в широком диапазоне температур и погодных условий. Но их использование является временным решением: при полноценной работе объекта затраты оказываются огромными. Также стоит учесть трудоемкость доставки топлива до автономной электростанции и выброс вредных веществ, таких как оксид азота и серы, что может негативно сказаться на окружающей среде и работе персонала.

Газовые электростанции делятся на два основных вида: газопоршневые и газотурбинные [3]. Вырабатывают электроэнергию путем сжигания газового топлива.

Газотурбинные электростанции (ГТЭС) являются наиболее распространенным типом газовой электростанции. Они работают на основе принципа газотурбинного двигателя, в котором сжатый воздух смешивается с газовым топливом и затем сжигается в камере сгорания. Выделяющаяся при этом энергия используется для привода турбины, которая, в свою очередь, приводит генератор электроэнергии (рис. 2).

Преимуществом ГТЭС является их высокий КПД, который может достигать 60% и выше. Они также относительно компактны и могут быть быстро запущены, что делает их идеальными для использования в качестве резервных и аварийных источников электроэнергии.

Однако у ГТЭС есть и свои недостатки. Они требуют высокой степени технического обслуживания и регулярной очистки от загрязнений, таких как пыль и песок. Кроме того, они могут быть дорогостоящими

в эксплуатации из-за высокой стоимости газа и необходимости постоянной замены расходных материалов.

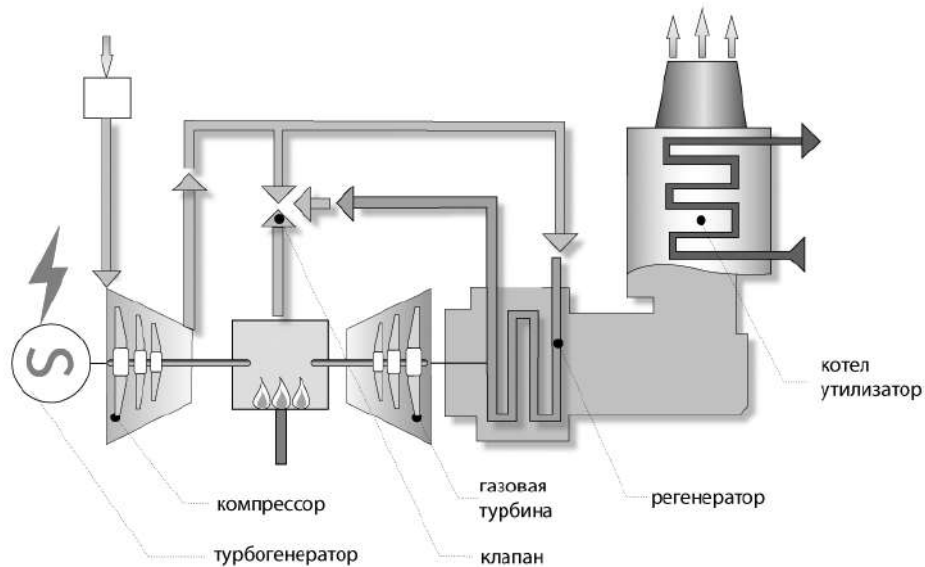


Рис. 2. Принцип работы газотурбинной электростанции

Газопоршневые электростанции (ГПЭС) работают на основе принципа газопоршневого двигателя, в котором газовое топливо сжигается в цилиндрах двигателя, приводит в движение коленчатый вал, который в свою очередь, приводит генератор электроэнергии (рис. 3).

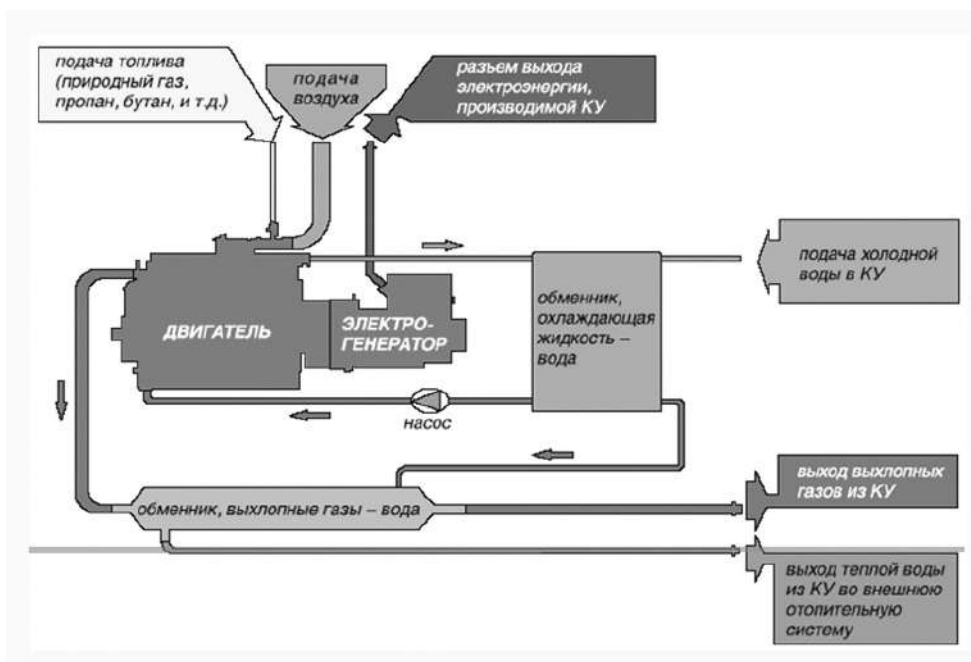


Рис. 3. Принцип работы газопоршневой электростанции

Преимуществом ГПЭС является их относительно низкий КПД, который может быть улучшен за счет использования тепловых насосов и когенерации, которая позволяет использовать тепловую энергию, выделяющуюся при работе двигателя, для отопления.

Целесообразно в качестве топлива для газовых электростанций применять попутный нефтяной газ (ПНГ) месторождений [1]. ПНГ хранится в растворенном состоянии в композиции сырой нефти, выделяясь из нее по мере извлечения на поверхность. Использование ПНГ как топлива для автономных источников электроснабжения имеет несколько преимуществ. Во-первых, это позволяет использовать отходы в качестве полезного ресурса, что снижает вредные выбросы в атмосферу и повышает эффективность добычи нефти. Во-вторых, это уменьшает зависимость от других источников энергии и обеспечивает более надежную и независимую систему электроснабжения.

При этом стоит учитывать, что для использования ПНГ необходимы специальные системы обработки и подготовки газа, чтобы убедиться в его соответствии стандартам качества топлива и предотвратить повреждение оборудования.

Таким образом, с отдалением месторождений от централизованного электроснабжения все более целесообразно с точки зрения экономики, надежности и качества получаемой электроэнергии применять автономные источники питания, такие как газопоршневые или газотурбинные электростанции, использующие попутный нефтяной газ в качестве топлива.

Список использованной литературы

1. Шклярский, Я. Э. Повышение эффективности работы энергетических центров на попутном газе / Я. Э. Шклярский, Р. А. Салов // Известия Тульского государственного университета. — 2017. — № 12-2. — С. 484–492.
2. Белкин, А. П. Оценка эффективности перехода на децентрализованное энергоснабжение в Тюменской области / А. П. Белкин, А. В. Дубова // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2016. — № 2. — С. 5–13.
3. Мутугуллина, И. А. Сравнительный анализ газопоршневой и газотурбинной установок в контексте решения проблем энергосбережения / И. А. Мутугуллина // Вестник Казанского политехнического университета. — 2014. — Том 7. № 12. — С. 373–375.

УДК 621.311.1

Горбунов К. П., Ашурбеков М. А., Мищенко В. В.
Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОНИЖАЮЩЕЙ
ПОДСТАНЦИИ

г. Сургут

Аннотация. Представлен проект понижающей подстанции 110/10 кВ с двумя трансформаторами ТРДН 40000/110.

Ключевые слова: *понижающая подстанция, трансформатор, нагрузка, электрооборудование.*

Gorbunov K. P., Ashurbekov M. A., Mishchenko V. V.
Surgut State University, Surgut

DESIGN OF THE ELECTRICAL PART OF THE STEP-DOWN SUBSTATION

Surgut

Abstract. A project of a transformer substation 10 (6) / 0.4 kV with two transformers with a power of up to 1000 kVA with KSO-202 chambers is presented.

Keywords: *step-down substation, transformer, load, electrical equipment..*

Составление проекта начинается с постановки проблемы. Проблема заключается в том, что из-за высокой загруженности подстанций сургутской электросети уменьшаются показатели надежности электроснабжения и снижается качество электроэнергии. Заказчики ЭЭ вынуждены искать дальние подстанции для получения питания либо строить ЛЭП за свой счет.

Цель проекта заключается в проектировании электрической части понижающей подстанции 110/10 кВ.

Для выполнения проекта необходимо выполнить следующие задачи:

- Выбор силовых трансформаторов.

- Расчет токов КЗ.
- Выбор электрооборудования.
- Проектирование однолинейной схемы подстанции.

Для начала работы с объектом проектирования были подобраны исходные данные, а также суточные графики нагрузок. Были определены основные характеристики климатического района и категории надежности потребителей.

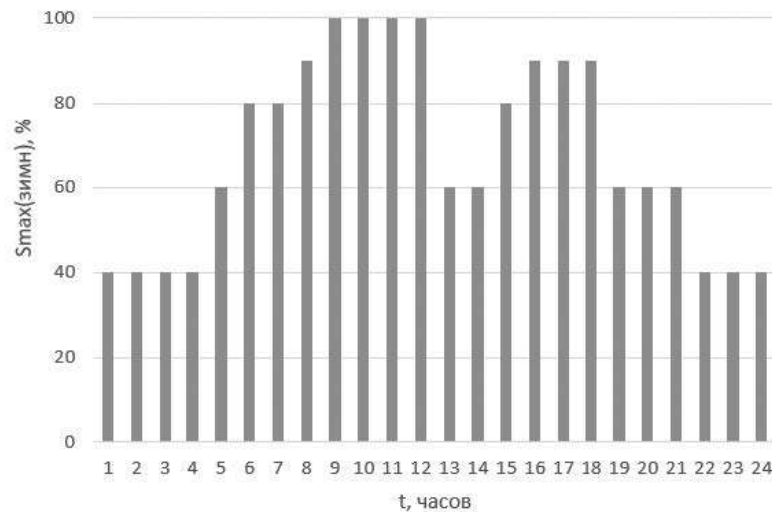


Рис. 1. Суточный график нагрузки (зима)

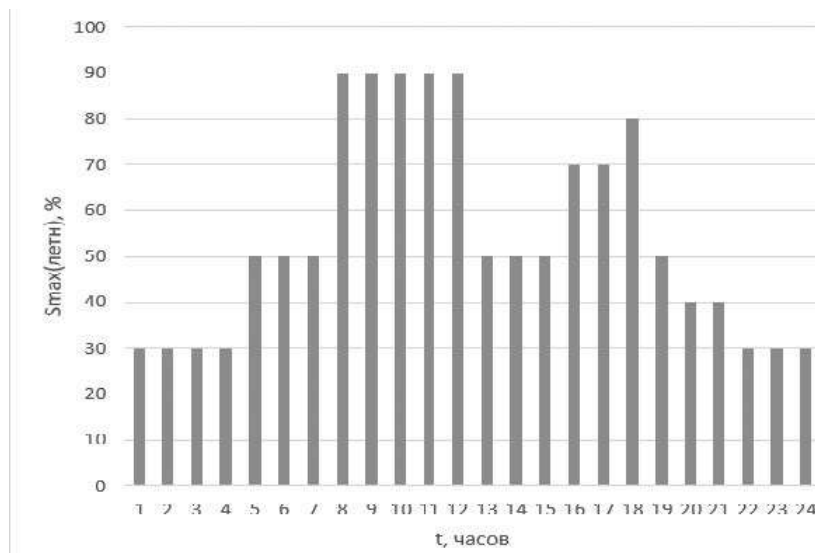


Рис. 2. Суточный график нагрузки (лето)

- Максимальная мощность зимнего периода $P_{\text{зимн. макс.}} = 55 \text{ МВт}$;
- Напряжение на высокой стороне (приходящие линии) $U_{\text{вн}} = 110 \text{ кВ}$;
- Напряжение на низкой стороне (выходящие линии) $U_{\text{нн}} = 10 \text{ кВ}$;

- Число ЛЭП на НН: $n = 28$;
- Средняя температура зимнего периода $t_{\text{ср. зимняя}} = \text{минус } 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Средняя температура летнего периода $t_{\text{ср. летняя}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Состав потребителей электроэнергии по категориям надежности: I категория — 20%, II категория — 30%, III категория — 50%;
- Коэффициенты мощностей нагрузок: $\cos\varphi = 0,85$.

Далее производится предварительный выбор силовых трансформаторов подстанции на основе полученного интервала мощностей, максимума и минимума требуемой мощности.

Исходя из полученного интервала подбираются два трансформатора. Выбранные трансформаторы будут проверяться в двух режимах: нормальном и аварийном, будет производиться тепловой расчет трансформаторов для определения числа отключений потребителей.

Выбирается один из двух трансформаторов согласно составляющей приведенных затрат. В результате проведенного технико-экономического сопоставления вариантов получаем один наиболее выгодный трансформатор для установки. Из-за высоких ущербов от ограничения электроснабжения потребителей в трансформаторе варианта 1 с учетом возможности дальнейшего развития электросети выбраны 2 трансформатора мощностью 40 МВ·А.

Таблица 1. — Варианты выбора трансформатора

№ вар.	Тип трансформатора	ик, %	$\Delta P_{\text{хх}}$, кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	Цена, тыс. руб.	Uвн, кВ	Uнн, кВ
1	ТРДН 25000/110	10,5	27	120	13 500	115	10,5
2	ТРДН 40000/110	10,5	34	170	20 000	115	10,5

Таблица 2. — Технико-экономическое сопоставление вариантов

Составляющая приведенных затрат	Вариант 1	Вариант 2
1. Капиталовложения, тыс. руб. $K = c \cdot n \cdot k$	27 000	40 000
2. Издержки на амортизацию и обслуживание, тыс. руб. $I_{\text{ао}} = 9,4\% \cdot K$	2538	3760
3. Издержки на потери электроэнергии, тыс. руб. $I_{\text{пот}} = \beta \cdot \Delta W_{\text{пот}} \cdot k$	16,49	11,79

<p>4. Ущерб от ограничения электро-снабжения потребителей, тыс. руб.</p> $Y = Y_3 + Y_L =$ $= \frac{\varepsilon_3 \alpha_3 k_B P_{max3} t_{3.сут} + \varepsilon_L \alpha_L k_B P_{maxL} t_{L.сут}}{365}$	$k_B P_{maxL} t_{L.сут}$ <p>3574,01</p>	<p>172,69</p>
<p>5. Итоговые приведенные затраты, тыс. руб.</p> $Z = E_H K + I_{ao} + I_{пот} + Y$	<p>33 128,5</p>	<p>43 944,48</p>
<p>6. Итоговые затраты, %</p>	<p>100%</p>	<p>133%</p>

Далее представлена расчетная схема электрической сети. Она составлена на основе нормальной эксплуатационной схемы сургутских электрических сетей и схемы ТРДУ. Отпайкой будет подключена проектируемая подстанция. Она выделена красным цветом (рис. 3).

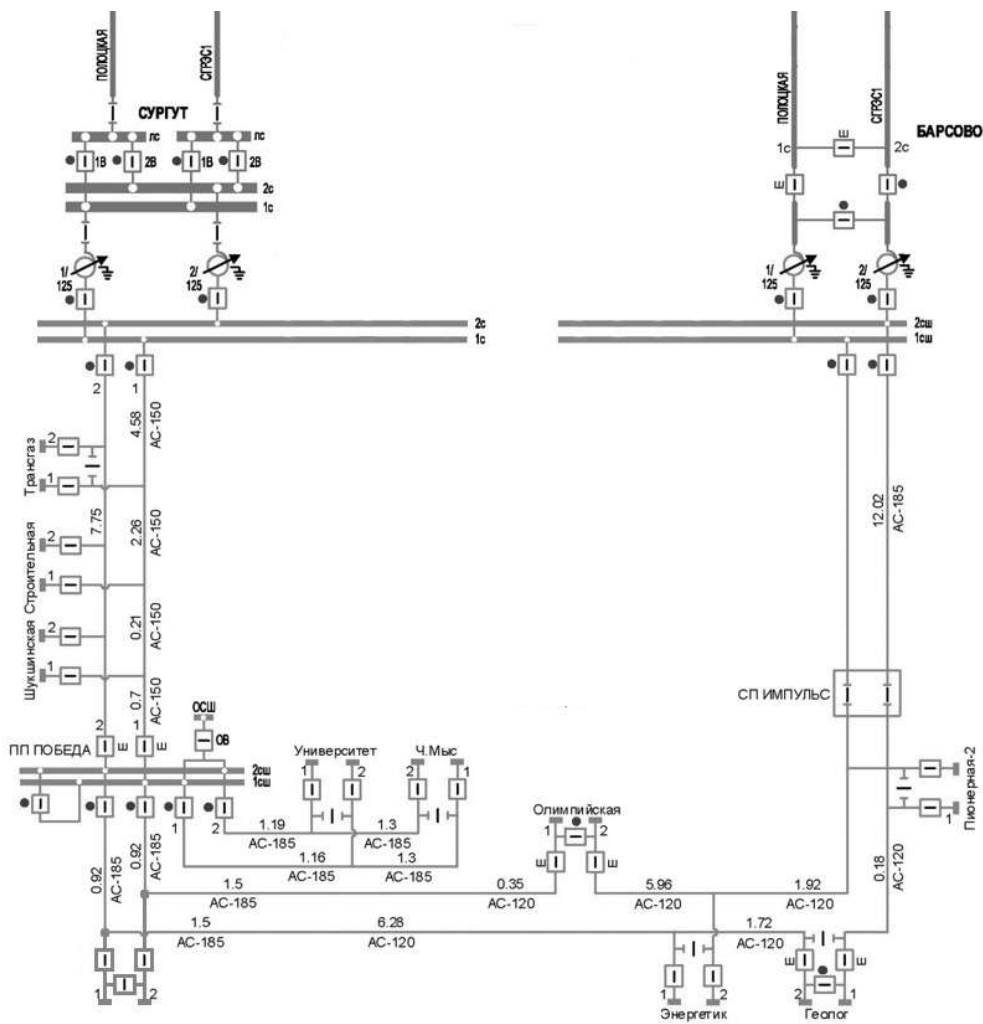


Рис. 3. Расчетная схема электрической сети

Для дальнейшего выбора оборудования на подстанции нужно произвести расчет токов трехфазного КЗ для нормального и аварийного режимов. Для этого определены расчетные схемы замещения (рис. 4).

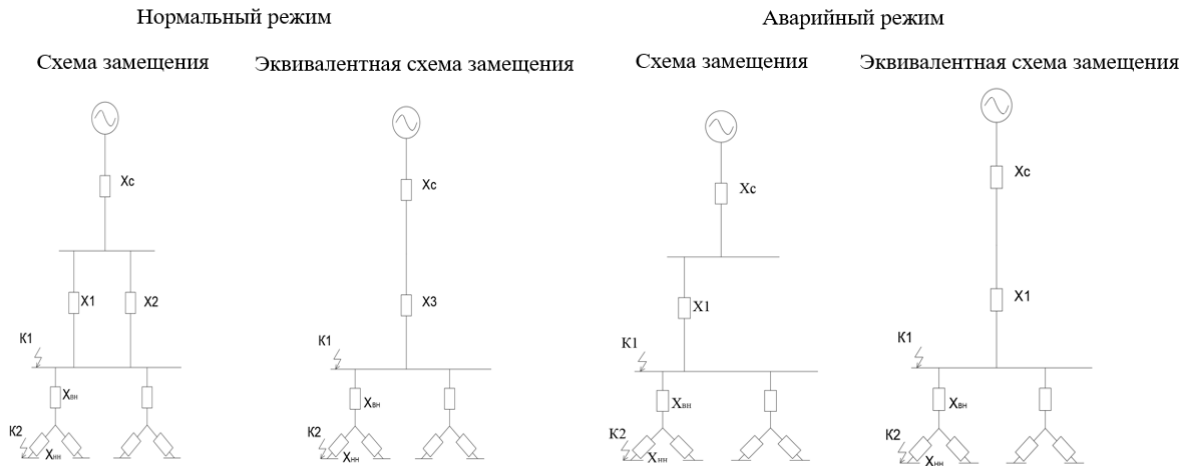


Рис. 4. Схемы замещения нормального и аварийного режимов

Расчет сопротивлений производим в относительных единицах, задаем базисной мощностью $S_б = 1000$ МВА, $U_б = 115$ кВ для К1 и $U_б = 10,5$ кВ для К2.

Сопротивления элементов сети определяем по формулам:

$$S_K = \frac{S_{\text{НОМ Т.}}}{U_{\text{КЗ \%}}} \cdot 100\%;$$

$$x_c = \frac{S_б}{S_K};$$

$$x_n = x_0 l_n \frac{S_б}{U_{6K1}^2};$$

$$x_T = \frac{x_T \% \cdot S_б}{100 \cdot S_{\text{НОМ Т.}}};$$

Таблица 3. — Сопротивления системы

Наименование	x_c , о.е.	x_1 , о.е.	x_2 , о.е.	x_3 , о.е.	$x_{\text{Т.ЭКВ}}$, о.е.
Значение	0,22	0,28	0,56	0,19	4,921

Токи КЗ определяем по формулам:

$$I_{\text{ПО К1}} = \frac{E_c}{\sum x_i} I_б, \text{ где } I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{6Kn}}$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{ПО Кн}}$$

Таблица 4. — Токи короткого замыкания

Наименование	$I_{\text{пок1}}, \text{кА}$	$I_{\text{бк1}}, \text{кА}$	$I_{\text{удк1}}, \text{кА}$	$I_{\text{пок2}}, \text{кА}$	$I_{\text{бк2}}, \text{кА}$	$I_{\text{удк2}}, \text{кА}$
Норм. режим	12,24	5,02	27,83	10,32	54,99	19,98
Авар. режим	10,04	5,02	22,83	10,14	54,99	19,63

Далее представлено выбранное оборудование и спроектированная однолинейная электрическая схема подстанции.

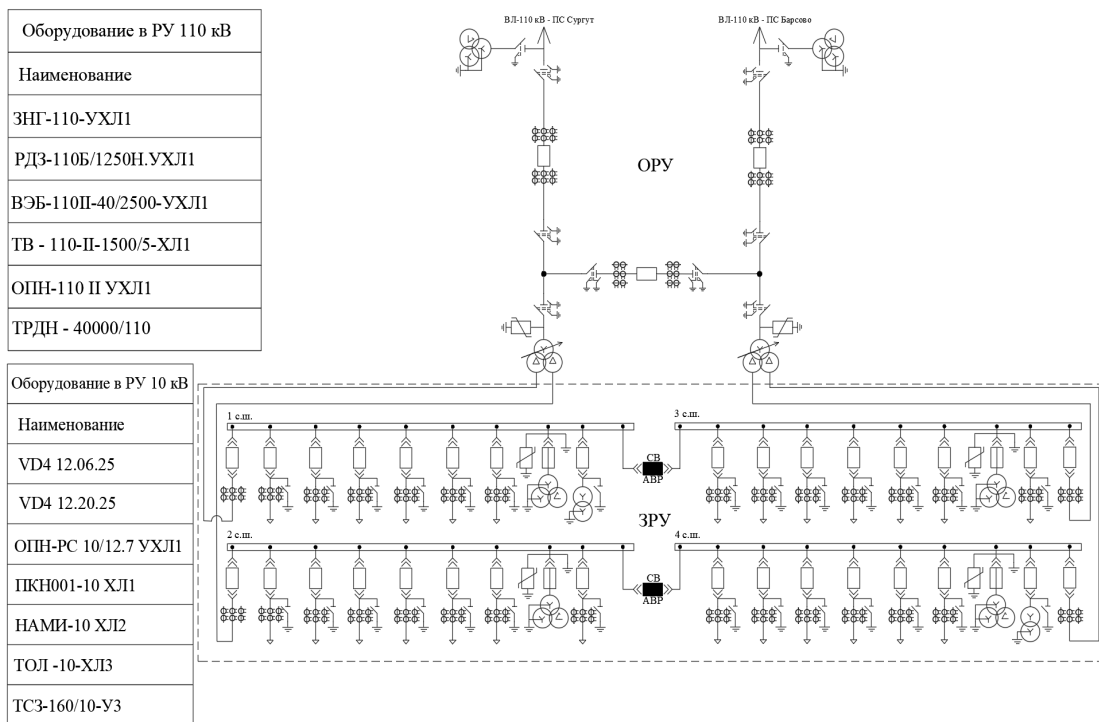


Рис. 5. Однолинейная электрическая схема подстанции

Таким образом, в ходе выполнения проекта был выполнен следующий объем работ: произведен выбор силовых трансформаторов; рассчитаны токи КЗ для заданной сети; произведен выбор первичного оборудования; спроектирована электрическая часть понижающей подстанции 110/10 кВ в Сургутском районе электрических сетей для увеличения надежности электрической сети.

Список использованной литературы

1. Гайсаров, Р. В. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию / Р. В. Гайсаров, И. Т. Лисовская. — Челябинск : Изд-во ЮУрГУ,

2002. — 59 с. — URL: <http://window.edu.ru/resource/622/47622/files/susu29.pdf> (Дата обращения: 30.04.2022).

2. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2007 г. N 173-ст: дата введения 2008-07-01 — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200052838> (Дата обращения: 23.04.2022).

3. ГОСТ Р 52565-2006. Национальный стандарт Российской Федерации. Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ Общие технические условия: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 августа 2006 г. N 170-ст: дата введения 2007-04-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200046288> (дата обращения 30.04.2022). — Текст: электронный.

4. Котов, О. М. Курсовое проектирование понизительной подстанции: методические указания / О. М. Котов. — Екатеринбург : УГТУ, 2000. — 53 с. — URL: <http://window.edu.ru/catalog/pdf2txt/523/28523/11736> (Дата обращения: 15.04.2022).

5. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Издание седьмое / Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. — 330 с. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001641> (Дата обращения: 30.04.2022).

6. Рожкова, Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. — М. : Издательский центр «Академия».

УДК 621.31

Зобян А. А., Петрухин А. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ ОТКЛОНЕНИЯ ЧАСТОТЫ В РЕГИОНАХ И АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Аннотация. Эксплуатация и развитие сетей энергосистем ставит вопросы, касающиеся новых проблем стабильности. Влияние производства и потребления электроэнергии на частоту энергосистемы может быть описано как дисбаланс спроса/генерации тока в результате внезапного увеличения/уменьшения спроса и/или генерации электроэнергии.

Ключевые слова: генерации электроэнергии; частотная характеристика; стабильность частоты; система генерации; распределительные устройства электроэнергии.

Zobyan A. A., Petrukhin A. V.

Surgut State University, Surgut

COMPARATIVE ANALYSIS OF FREQUENCY DEVIATION REQUIREMENTS IN REGIONS AND AUTONOMOUS POWER SYSTEMS

Abstract. The operation and development of power grids raises questions about new stability issues. The impact of electricity production and consumption on the frequency of the power system can be described as an imbalance in demand/generation of current as a result of a sudden increase/decrease in demand and/or generation of electricity.

Keywords: electricity generation; frequency response; frequency stability; generation system; power distribution devices.

В нашей стране существует проблема потери частотной мощности при прохождении тока по линиям электропередач. Тип системы генерации тока и установка регулятора являются лучшими параметрами, влияющими на частотную характеристику электросистемы после для воспрепятствования

ния потери генерации. Поэтому для разных уровней потерь генерации скорость восстановления будет зависеть от изменения значений регулятора.

В данной статье мы исследуем влияние потери генерации на переходное поведение частоты электросети. Эта проблема не нова, и она существует не только в нашей стране. В других странах внедрена модель энергосистемы, разработанная для изучения влияния изменения параметров основной системы генерации.

Так, в Англии потери в системе генерации (инерции системы, регулировки опущения регулятора, константы демпфирования нагрузки и энергетической фракции паровой турбины высокого давления) на первичную частотную характеристику при реагировании на нарушение потерь генерации составляют 1,32 ГВт. Различные скорости первичных частотных характеристик моделируются путем регулировки системных параметров синхронных генераторов, чтобы обеспечить управление генераторов. Все это способствует быстрой и надежной первичной частотной характеристике в течение 10 с после потери генерации.

В Электроэнергетической системе (ЭЭС) России в каждый момент времени установившегося режима существует баланс активных мощностей.

В системе частота переменного тока определяется скоростью вращения генераторов электростанций. В Российской Федерации номинальное значение частоты равно 50 Гц (в ряде стран 60 Гц).

Регулирование частоты необходимо в момент изменения потребляемой мощности из сети потребителями электрической энергии, изменения происходят практически на протяжении всего процесса электроснабжения.

Отклонение частоты f от ее номинального значения $f_{\text{ном}} = 50$ Гц

$$\Delta f = f - f_{\text{ном}}$$

где f — основная частота изменения напряжения, Гц, измеренная на интервале 10 с в соответствии с требованиями [6]; $f_{\text{ном}}$ — номинальное значение частоты, Гц.

От частоты в системе зависит активная мощность генераторов и потребителей. Уравнение баланса электросетей выглядит так:

$$P_{\Gamma f} = P_{\Pi f} + \Delta P_{\Sigma f}$$

где $P_{гг}$ — мощность (активная) генераторов с учетом нагрузки на собственные нужды электростанций при частоте;

$P_{нф}$ — мощность (активная) потребителей электроэнергии;

$\Delta P_{\Sigma f}$ — суммарные потери активной мощности в сетях, в которые включаются потери потребителей.

По этим, а также по более сложным формулам считают нагрузку на электросети города или региона. Если нагрузка (в какой-то момент) становится критической, то необходимо увеличивать количество электросетей во избежание аварийных отключений пользователей.

На сегодняшний день рынок по обеспечению услуг системной надежности (Рынок системных услуг, РСУ) является важным механизмом поддержки требуемого уровня надежности и качества работы Единой энергетической системы РФ в условиях функционирования рынка электроэнергии и мощности. Системный оператор провел конкурентный отбор исполнителей услуг по обеспечению системной надежности в ЕЭС России по нормированному первичному регулированию частоты (НПРЧ) на первое полугодие 2023 года¹.

Со стороны генерации скорость вращения синхронных машин прямо пропорциональна частоте систем. Частотная стабильность относится к способности энергосистемы поддерживать устойчивую частоту после сильного нарушения системы, приводящего к значительному дисбалансу между генерацией и нагрузкой. Отклонения в частоте приведут к использованию управляющих приложений для регулирования частоты электросети до безопасных и удовлетворительных уровней. Электрокомпания регулирует частоту, которая должна поддерживаться на уровне $\pm 1\%$ от номинальной частоты системы (50 Гц), за исключением исключительных обстоятельств.

Электрокомпании вмешиваются в работу производителей электроэнергии в режиме реального времени с использованием приложений с контролируемым энергопотреблением, когда энергетические системы нарушены или напряжены. Сброс нагрузки — это скоординированная контролируемая реакция, которая приводит к снижению электрической нагрузки, что снимает нагрузку на основную энергосистему.

¹ Значительно выросло количество единиц генерации, участвующей в нормированном первичном регулировании частоты | АО «Системный оператор Единой энергетической системы» (so-ups.ru), <https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/20551/4>

Существуют исследования последствий крупномасштабных децентрализованных сезонных колебаний отклонения частоты для работы системы и восстановления системы после потери большой подачи/нагрузки. На отклонения частоты в региональных и автономных электроэнергетических системах влияют аппаратные характеристики контроллера выбранных исполнителей услуг. Они влияют на обеспечение и эффективность резервной доставки. Также выявлены сезонные колебания, поведение бытовых клиентов и разнообразие индивидуальных характеристик устройства. Для нивелирования этих влияний разработана термодинамическая модель гибкой нагрузки, интегрированная с детальной моделью энергосистемы.

Но зарубежные ученые считают, что нужно направить усилия на исследования и управление работой системы автоматического управления генерацией (АСУ) тепловых электростанций при различных уровнях/графиках выработки электроэнергии. Выявлено, что параметры динамической модели паровых турбин, константы времени турбины и энергетические фракции изменяются с изменениями в графиках генерации станции. Представленные результаты демонстрируют потенциал данного подхода².

В общем и целом сегодня ученые подходят к проблеме частотной неустойчивости в энергосистеме, разрабатывая алгоритмы управления для различных типов систем автоматического управления генерацией (АСУ), реагирующих на отклонения частоты системы путем регулирования их энергопотребления, в ответ на внезапную потерю генерации. В общей сложности четыре различных типа АСУ используется для снижения нагрузки. АСУ помогают смягчить и регулировать изменение частоты систем и таким образом уменьшить давление на генераторы.

Список использованной литературы

1. Pathak, N.; Verma, A.; Bhatti, T.S. Automatic generation control of thermal power system under varying steam turbine dynamic model parameters based on generation schedules of the plants. J. Eng. 2016, 2016, 302–314.
2. Артамоненков, Я. К. Анализ потерь электроэнергии при четырехступенчатом графике нагрузки / Я. К. Артамоненков, В. В. Сурков. — Текст :

² Pathak, N.; Verma, A.; Bhatti, T.S. Automatic generation control of thermal power system under varying steam turbine dynamic model parameters based on generation schedules of the plants. J. Eng. 2016, 2016, 302–314.

непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 7 (245). — С. 103–105. — URL: <https://moluch.ru/archive/245/56556/> (Дата обращения: 31.12.2022).

3. «Значительно выросло количество единиц генерации, участвующей в нормированном первичном регулировании частоты» АО «Системный оператор Единой энергетической системы» (so-ups.ru). URL: <https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/20551/4>

4. Абрамович, Б. Н. Динамическая устойчивость электромеханических комплексов с синхронными и асинхронными двигателями на предприятиях нефтедобычи / Б. Н. Абрамович, Д. А. Устинов, Ю. А. Сычев, И. Г. Плотников // Нефтегазовое дело. — 2011. — № 3. — С. 17–25.

5. Абрамович, Б. Н. Система бесперебойного электроснабжения предприятий горной промышленности / Б. Н. Абрамович // Записки горного института. — 2018. — С. 31–40.

6. Абрамович, Б. Н. Система электроснабжения электромеханических комплексов в горной и нефтегазовой промышленности : учебное пособие / Б. Н. Абрамович, Ю. А. Сычев. — Санкт-Петербург : Лема, 2017. — 115 с.

7. Анцифоров, В. А. Методы оценки независимости источников питания и мероприятия по повышению надежности и устойчивости электротехнических систем непрерывных производств : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / Анцифоров Виталий Алексеевич; Российский государственный университет им. И. М. Губкина. — Москва, 2015. — 1860 с.

УДК 621.315.1

Денчик Ю. М.¹, Мочалин К. С.¹, Романов М. Н.¹

¹Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск

ПРИМЕНЕНИЕ САМОНЕСУЩИХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ

г. Сургут

Аннотация. Развитие нефтегазодобывающих предприятий требует от энергоснабжающих организаций проектирования и монтажа линий электропередачи, обеспечивающих высокое качество электроэнергии и высокую надежность энергоснабжения. Перемещение месторождений углеводородов на север нашей страны приводит к увеличению длины трасс воздушных линий электропередач (ЛЭП), что сказывается на стоимости содержания ЛЭП и в конечном итоге приводит к удорожанию добычи сырья. Одной из главных задач энергоснабжения удаленных северных регионов является их бесперебойное электроснабжение. Одним из вариантов повышения надежности электроснабжения является использование самонесущих изолированных проводов, применение которых позволит снизить затраты на эксплуатацию воздушной линии, повысить надежность электроснабжения даже в случае опрокидывания опоры ЛЭП, снизить пожароопасность вдоль трассы воздушной линии электропередачи.

Ключевые слова: *самонесущий изолированный провод, воздушная линия электропередачи, композитная опора, надежность электроснабжения.*

Denchik Y. M.¹, Mochalin K. S.¹, Romanov M. N.¹

¹Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk

THE USE OF SELF-SUPPORTING INSULATED WIRES TO INCREASE THE
RELIABILITY OF POWER SUPPLY IN THE NORTHERN REGIONS

Surgut

Abstract. The development of oil and gas producing enterprises requires energy supply organizations to design and install power transmission lines that ensure high quality of electricity and high reliability of energy supply. The movement of hydrocarbon deposits in the north of our country leads to an increase in the length of overhead transmission lines (transmission lines), which affects the cost of maintaining transmission lines and, ultimately, leads to an increase in the cost of raw material extraction. One of the main tasks of power supply to remote northern regions is their uninterrupted power supply. One of the options for improving the reliability of power supply is the use of self-supporting insulated wires, the use of which will reduce the cost of operating an overhead line, increase the reliability of power supply even in the event of a power transmission pole overturning, reduce fire hazard along the route of an overhead power line.

Keywords: *Self-supporting insulated wire, overhead power line, composite tower, reliability of power supply.*

Развитие нефтегазодобывающей отрасли России приводит к увеличению потребления электроэнергии добывающими компаниями. Освоение новых месторождений углеводородного сырья, большинство из которых расположено в северных удаленных регионах нашей страны, требует от электроснабжающих организаций проектирования и прокладки новых линий электропередач на значительные расстояния, что связано с большими затратами. Поэтому повышение надежности электроснабжения удаленных северных регионов является важной задачей для электроэнергетики.

В северных регионах России применяются воздушные линии электропередач среднего класса напряжения (6–35 кВ), эксплуатация которых связана с трудностями, обусловленными климатическими особенностями региона. При определении технических решений для строительства линий

электропередач (ЛЭП) основными параметрами являются скорость ветра, обледенение проводов (гололед) и температурные показатели. От этого зависит, например, выбор материалов элементов воздушной линии (ВЛ). Температура эксплуатации оборудования влияет на выбор марки стали, так как некоторые металлы при достижении определенного температурного уровня становятся хрупкими и не могут выдерживать нагрузки, заданные проектом. Под воздействием температуры окружающего воздуха металлическая часть провода претерпевает растяжение (в случае положительных температур) или сжатие (при отрицательных). Таким образом, при повышении температуры стрела (провис) провода увеличивается, а при понижении — уменьшается. При проектировании стрела провеса выбирается таким образом, чтобы при максимальной температуре или максимальной нагрузке на провод вертикальное расстояние от провода до земли не было меньше нормируемого по ПУЭ («Правила устройства электроустановок») [1]: 6 м в ненаселенной местности и 7 м в населенной. Чем суровее климат, тем большее механическое воздействие испытывают все составляющие элементы ЛЭП.

Особого внимания требует монтаж и эксплуатация опор воздушных линий электропередач. В настоящее время широкое применение получили железобетонные и металлические опоры, значительно реже используются деревянные опоры. Первым недостатком железобетонных опор является то, что они имеют фиксированную длину и по этой причине при установке могут быть заглублены в грунт не более чем на 2,5 м. В сложных геологических условиях (пучинистые, болотистые и вечномерзлые грунты) такого заглубления может быть недостаточно для обеспечения надежного закрепления опоры в грунте, в результате чего будет наблюдаться выпучивание опор с их последующим падением. Вторым недостатком железобетонных опор состоит в том, что они имеют крайне низкие показатели надежности при установке в обводненных или засоленных грунтах. В связи с тем, что железобетон является гигроскопичным материалом, он напитывается водой, что приводит к кристаллизации соли в структуре железобетона, при больших перепадах суточных температур влага замерзает в структуре железобетона с образованием кристаллов льда. Оба этих процесса приводят к разрушению и выкрашиванию железобетона в нижней части опоры. При этом именно нижняя часть опоры воспринимает максимальные изгибающие нагрузки

от ветровых и гололедно-ветровых воздействий. В результате практически вся нагрузка воспринимается стальной арматурой, которая не рассчитана на такие режимы, что приводит к массовым падениям опор при возникновении ветровых или гололедно-ветровых нагрузок. При этом для 50% ветровых и 30–40% гололедных нагрузок массовые падения опор наблюдаются при нагрузках, не превышающих расчетных значений. По данным [2], срок службы железобетонных конструкций при подобных геолого-климатических условиях сокращается до 3–5 лет, что в 5–10 раз меньше нормативного срока, предписываемого ПУЭ. Фундаменты стальных опор ЛЭП также подвержены выталкиванию из грунта, что приводит к перекосам и падениям самих опор. Деревянные опоры имеют самый малый срок эксплуатации в сложных климатических условиях, что связано с гниением тела деревянной опоры из-за повышенной влажности.

Вероятность каскадных отказов воздушных линий электропередач можно снизить, используя методику [3], основанную на частичном использовании опор, выполненных из композитных материалов. Среди основных достоинств композитных опор можно выделить [4] возможность длительной эксплуатации, гибкость, диэлектрические свойства самой опоры, легкость. Гибкость опоры позволяет выдерживать значительные ветровые нагрузки без падения даже при незначительном выталкивании фундамента опоры из грунта. Диэлектрические свойства опоры позволяют уменьшить величину токов утечки и повысить изолирующие свойства воздушной линии в целом. Относительно небольшой вес такой опоры значительно облегчает монтаж на тарассе линии электропередачи. Но предложенная методика обеспечивает снижение вероятности каскадных отказов на воздушной линии. Остается вероятность единичных отказов элементов ЛЭП, а именно: обрыв проводов под действием ледовой нагрузки на проводе, единичное падение опор, перехлестывание проводов под действием ветровой нагрузки и т. п. Также следует учитывать, что гибкость композитной опоры, установленной среди жестких типовых опор, может привести к изменениям габаритных размеров линии, выходящим за пределы требований нормативных документов [1].

В этих условиях возможным решением проблемы является использование самонесущих изолированных проводов (СИП). СИП — это специальная марка самонесущего изолированного кабеля для ЛЭП, которая специально

разработана для воздушных линий электропередачи и предназначена для эксплуатации в сетях переменного напряжения от 0,6/1 кВ до 35 кВ на частотах до 50 Гц. Изоляция провода ВЛ марки СИП выполнена из термопластичного или светостабилизированного полиэтилена, стойкого к воздействию ультрафиолета и озона. Уплотненные фазные мультипроволочные жилы изделия имеют круглую форму и скручены из алюминиевых проволок, а нулевая неизолированная несущая жила (при ее наличии) представляет собой скрутку проволоки из алюминиевого сплава вокруг центрального стального сердечника. Фазные жилы, числом от 1 до 4 и сечением от 16 до 120 мм², дополнительно скручиваются вокруг нейтральной в правом направлении (рис. 1).



Рис. 1. Четырехжильный самонесущий изолированный провод СИП-1

Началом промышленной эксплуатации СИП можно считать 1955 год [5]. Во Франции стали применяться связки из медных жил в резиновой изоляции, покрытые оболочкой из неопрена. В 1962 году в качестве изоляции начали использоваться материалы на основе поливинилхлорида (ПВХ), а с 1977 года ПВХ был полностью вытеснен светостабилизированным полиэтиленом сетчатой структуры. Разработку ВЛ с изолированными проводами

в скандинавских странах подтолкнула необходимость уменьшить последствия от повреждений, вызванных суровыми климатическими условиями в данном регионе. Одновременно с этим назрела необходимость более узких трасс линий электропередач, особенно в условиях плотной городской застройки. Для электроснабжения в городских условиях в Финляндии с 1958 года началась разработка скрученного подвешного кабеля АМКА, который представляет собой скрученные вокруг несущего оголенного провода, играющего роль нулевого, изолированных фазных жил с изоляцией из термопластичного полиэтилена [5]. Такая система получила широкое применение в Финляндии, где к настоящему времени оборудовано 170 тысяч километров воздушных линий системой АМКА, а также в более 30 стран Южной Америки, Африки и Азии. Использование СИП в регионах с теплым климатом и в горных районах затруднений не вызвало, так как изоляция этих проводов стойкая к озону и ультрафиолетовым лучам.

Промышленная эксплуатация СИП в нашей стране началась в 1990 году, когда началась разработка фирмой ОРГРЭС комплекта нормативно-правовых документов на проектирование, сооружение и эксплуатацию воздушной линии сначала 0,4 кВ, а с 1996 года — на напряжение 6–35 кВ.

Разработка полностью отечественных самонесущих изолированных проводов была начата с 1997 года на базе Иркутского кабельного завода, а первая воздушная линия на СИП протяженностью 3500 метров была смонтирована в 1994 году в Краснодарском крае [5].

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается пять типов таких проводов, предназначенных для различных уровней напряжения и выполненных различным числом токопроводящих жил. Для воздушных линий среднего класса напряжения наиболее перспективным является провод марки СИП-3, представляющий собой одножильный вариант. Конструктивно провод выполнен таким образом, что в его центре располагается стальная несущая проволока, окруженная алюминиевыми токопроводящими жилами. Такие провода предназначены для линий 6–35 кВ для прокладки фаз на значительные расстояния. Основные технические характеристики самонесущих изолированных проводов приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, отечественная промышленность, представленная заводами Камский кабель, Рыбинсккабель, ГК «Севкабель», Москабель,

закрывает потребность в СИП от низкого (0,4 кВ) до среднего (35 кВ) класса напряжения и обеспечивает снабжение ВЛ удаленных северных регионов нашей страны самонесущими изолированными проводами.

Таблица 1. — Технические характеристики проводов марки СИП

Марка провода	СИП-1	СИП-2	СИП-3	СИП-4	СИП-5
Количество токопроводящих жил, шт.	1–4	1–4	1	2–4	2–4
Сечение токопроводящих жил, мм ²	16–120	16–120	35–240	16–120	16–120
Класс напряжения, кВ	0,4–1	0,4–1	10–35	0,4–1	0,4–1
Температура эксплуатации, °С	–60 +50	–60 +50	–60 +50	–60 +50	–60 +50
Допустимая температура нагрева жил, °С	+70	+90	+70	+90	+90
Нормативный срок службы, лет	> 40	> 40	> 40	> 40	> 40

Отличительной особенностью самонесущих изолированных проводов является то, что прокладка не требует особых навыков и может осуществляться как на опорах, так и на конструктивных элементах зданий и сооружений. Все крепежные элементы для установки СИП на опоре имеют заводское изготовление и поставляются вместе с самим проводом, что в значительной мере упрощает монтаж воздушной линии. На рис. 2 приведен пример крепления СИП на железобетонной опоре.

Существенным недостатком СИП, по мнению отечественных специалистов электроснабжающих организаций, является относительно высокая стоимость самого провода и крепежной арматуры. Можно отметить, что зарубежные специалисты, прежде чем широко использовать новую технологию, очень тщательно рассматривают экономические составляющие проекта ЛЭП, а именно первоначальные затраты и затраты на эксплуатацию. Статистика перебоев электроснабжения в течение 1 года показывает [5], что в Норвегии эта величина не превышает двух часов, в Финляндии — одного-двух часов, что отражает значительную экономию средств при эксплуатации СИП.

Учитывая основные положения концепции развития распределительных сетей при проектировании и строительстве воздушных линий низкого и среднего классов напряжений рекомендуется использование

элементов линий, не требующих замены проводов в течение всего срока эксплуатации ВЛ. ОАО «Институт Западсельэнергопроект» впервые на Северо-Западе России разработал и внедрил в практику проектирования, строительства применение изолированных и защищенных проводов на ВЛ 0,4–20 кВ.

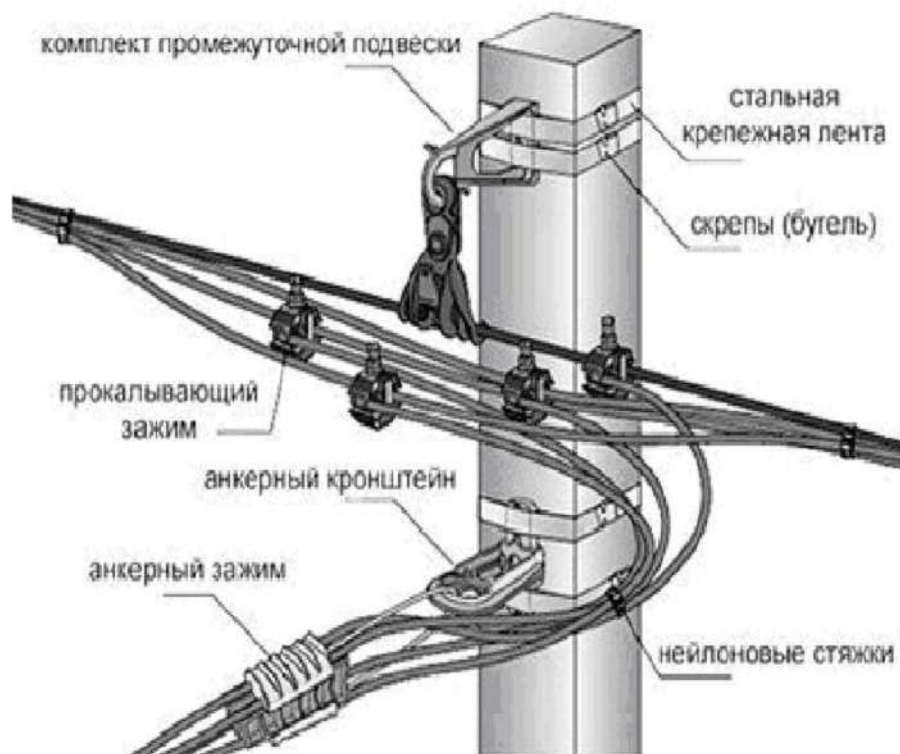


Рис. 2. Пример крепления провода СИП на железобетонной опоре.

К основным достоинствам самонесущих изолированных проводов можно отнести: высокую надежность в обеспечении электроэнергией, высокую надежность в районах интенсивного образования гололеда, уменьшение ледовой и ветровой нагрузки на опоры, высокую безопасность обслуживания (можно обслуживать провод под напряжением), отсутствие вероятности короткого замыкания из-за переклестывания проводов, бесперебойность электроснабжения в случае срыва провода с опоры или падения опоры, снижение потерь энергии в проводе из-за значительного (более 3 раз) уменьшения реактивного сопротивления СИП по сравнению с неизолированными проводами, простота монтажных работ, возможность подключения новых потребителей без отключения остальных от электроснабжения, уменьшения

риска возникновения лесных пожаров в зоне прокладки воздушной линии электропередачи в случае падения провода на землю, снижение безопасных расстояний до инженерных сооружений и зданий (обеспечивается гибкость при прокладке), практически полное отсутствие образования наледи и мокрого снега на изолированной части провода, значительное снижение (до 80%) затрат на эксплуатацию, отсутствие необходимости расчистки просек, замены поврежденных изоляторов.

Среди объективных недостатков самонесущих изолированных проводов можно отметить [5] небольшое увеличение стоимости (не более 20%) по сравнению с типовыми (неизолированными) проводами, невысокую готовность отечественных энергоснабжающих организаций к полному переходу от традиционных проводов на самонесущие изолированные провода, что обусловлено недостаточной информированностью электроснабжающих организаций, недостаточностью нормативной документации, подготовленного обслуживающего персонала и инструментной оснащённостью.

Таким образом можно отметить, что использование самонесущих изолированных проводов для воздушных линий электропередачи в удаленных северных регионах, особенно для электроснабжения предприятий по добыче и транспортировке углеводородного сырья, позволит повысить надежность электроснабжения этих районов, позволит снизить потери в ЛЭП, позволит снизить затраты на эксплуатацию трасс, расположенных в районах с тяжелыми условиями, связанными с особенностями грунта, значительными перепадами температур и ветровыми нагрузками. Применение СИП позволит снизить затраты на добычу и транспортировку нефти и газа, что обеспечивает выполнение требований Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2019 г. № 216, соблюдать Стратегию развития электросетевого комплекса Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 3.04.2013 г. № 511-Р). Незначительный рост начальной стоимости (не более 20%) ЛЭП, выполненной на самонесущих изолированных проводах, компенсируется в дальнейшем снижением затрат на эксплуатацию, снижением пожароопасности вдоль трассы ВЛ, соблюдением требований сохранности окружающей среды.

Список использованной литературы

1. Асеев, Г. Е., Демин Ю. В., Клековкин И.В. Повышение долговечности электросетевых конструкций / Г. Е. Асеев, Ю. В. Демин, И. В. Клековкин. — М. : Информэнерго, 1989. — 48 с.
2. Манусов, В. З. Сравнительный анализ преимуществ самонесущих изолированных проводов с неизолированными воздушными линиями / В. З. Манусов, М. Н. Попович // Науч. пробл. Сиб. и Дал. Вост. — 2009. — № 1. — С. 296 – 299.
3. Правила устройства электроустановок. — М. : Изд-во «ДЕАН». — 2001. — 928 с.
4. Романов, М. Н. Узкобазовая промежуточная опора ВЛ 110 кВ из композитных материалов для подхода к перегрузочным терминалам портов / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, Е. В. Иванова, Б. В. Палагушкин, М. Н. Романов, В. Г. Сальников, Е. Н. Солнцева // Морские интеллектуальные технологии. — 2020. — № 4-1 (50). — С. 175–179.
5. Свидетельство о государственной регистрации электронного ресурса № 24297. Методика решения интерполяционной задачи по определению допустимого количества композитных опор для предотвращения каскадных отказов воздушных линий 6–35 кВ / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, Д. М. Иванов, М. Н. Иванов, Е. В. Иванова, М. Н. Романов, А. А. Руппель, В. Г. Сальников. — М. : ИУО РАО ОФЭРНиО, 2019.

УДК 621.311

Альмухаметова Л. Р.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОПЕРАТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ
ПОДСТАНЦИЙ

г. Сургут

Аннотация. В работе рассмотрены варианты оперативного восстановления электроснабжения посредством применения модульных мобильных подстанций 35/6 кВ, мобильных распределительных устройств 6–35 кВ.

Ключевые слова: *мобильное оборудование, восстановление электроснабжения, модульное оборудование, распределительные устройства.*

Almukhametova L. R.

Surgut State University, Surgut

PROMPT RESTORATION OF POWER SUPPLY TO OIL AND GAS
PRODUCTION FACILITIES USING MOBILE SUBSTATIONS

Surgut

Abstract. The paper considers options for the rapid restoration of power supply through the use of modular mobile substations 35/6 kV, mobile switchgears 6–35 kV.

Keywords: *mobile equipment, restoration of power supply, modular equipment, switchgear.*

Специфика электроснабжения объектов нефтегазодобычи обусловлена удаленностью от энергосистем, территориальным рассредоточением объектов и разнообразием возможных энергоисточников, постоянным увеличением потребляемой мощности и электрической энергии, связанным с ростом

электрических нагрузок месторождений, периодическими капитальными ремонтами энергетического оборудования.

Передача электроэнергии от электростанций и подстанций к потребителям неизбежно связана с нарушениями электроснабжения потребителей: кратковременными (в виде провалов и исчезновений напряжения, которые возникают из-за коротких замыканий и грозовых повреждений линий электропередач, включении нагрузки большой единичной мощности); длительными (полная потеря напряжения вследствие обрыва проводов, падения опор), критические аварийные повреждения оборудования подстанции (далее — ПС) и распределительных устройств. При эксплуатации месторождений особое значение приобретает безостановочная добыча.

В случае аварии с полным выходом из строя оборудования потребуются полная замена оборудования ПС, что подразумевает длительное время восстановления.

Для ускорения оперативного восстановления электроснабжения при аварийных ситуациях предлагается разработать резервный аварийный фонд (далее — РАФ) с учетом СТО РусГидро [4] и внедрением мобильного модульного оборудования [6].

Определение номенклатуры РАФ и их количества должно осуществляться на основании анализа схемной надежности, количества категорийных потребителей (с учетом их обеспеченности собственными электростанциями) и потребляемой ими мощности (с учетом приемников электроэнергии с высокими значениями пусковых токов) в зоне эксплуатационной ответственности [4].

При разработке и внедрении парка оборудования РАФ на предприятиях с большим объемом потребителей первой и второй категории достигается следующее:

1. Готовый набор решений для оперативного восстановления электроснабжения.
2. Формирование аварийного запаса оборудования.
3. Минимизация времени аварийно-восстановительных работ.

Кроме этого, при внедрении данного решения возможно решение и других задач:

1. Осуществление временного технологического присоединения.
2. Осуществление временного электроснабжения объектов капитального строительства, капитального ремонта, буровых.

3. Резервирование электроснабжения на время ремонта, реконструкции ПС-35/6 кВ.

В данной статье рассматривается мобильная модульная передвижная подстанция (далее — ММПС), как основа для формирования РАФ, в виду возможности использовать ее составные части независимо друг от друга в зависимости от поставленных задач.

Общий вид ММПС напряжением 35/6 кВ наружного исполнения, размещенной на платформе полуприцепа, представлен на рис. 1. Вариант однолинейной схемы представлен на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид ММПС

В состав ММПС входят силовой вакуумный выключатель, вводной разъединитель со стороны линии, измерительные трансформаторы тока и напряжения в каждой фазе, силовой трансформатор мощностью до 35 МВА, ограничитель перенапряжения, а также маслоприемник и маслосборник (в случае применения масляного трансформатора), возможно использование сухих трансформаторов [5].

Подключение измерительных цепей и цепей управления производится экранированными контрольными кабелями. Предусмотрена возможность подключения к воздушной линии электропередач.

Комплектное распределительное устройство (далее — КРУ) 6 кВ смонтировано в отдельном контейнере, установленном на полуприцепе (трейлере). КРУ выполняется в термостабильной оболочке, обеспечивающей поддер-

жание температуры внутри корпуса от +5 до +40°C [3]. Защита ячеек 6 кВ реализована на базе русифицированной микропроцессорной защиты. Трансформаторы тока в каждой фазе ячеек отходящих линий с тремя вторичными обмотками класса 10P/0,5/0,5S с КТТ 500/5.

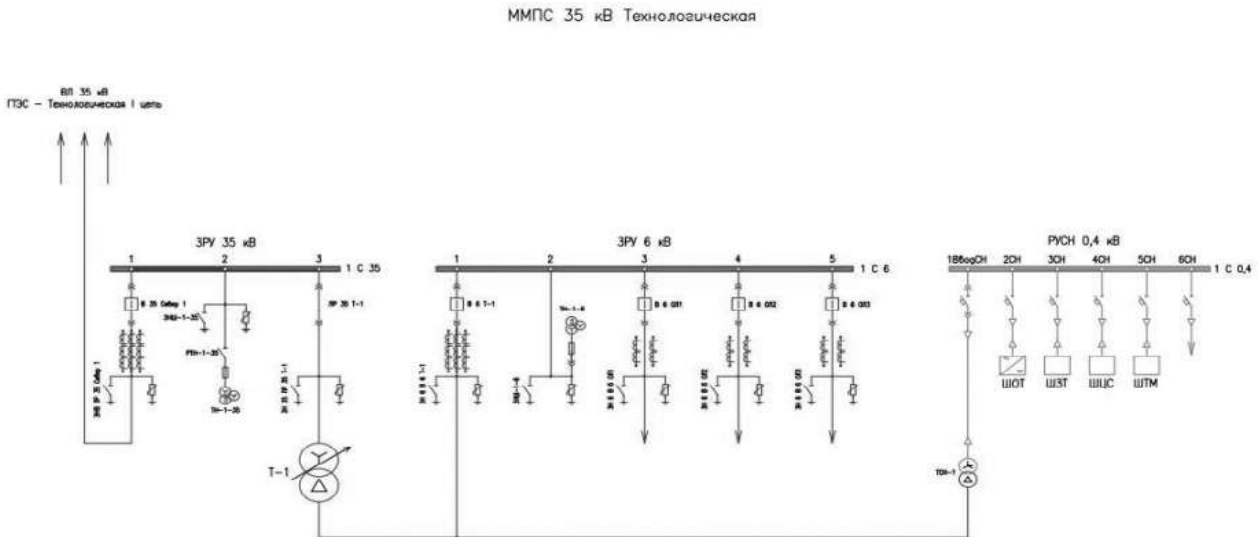


Рис. 2. Однолинейная схема ММПС

Все материалы и комплектующие изделия, применяемые в ММПС, должны быть выбраны исходя из условий эксплуатации и обеспечения его назначенного ресурса и отвечать следующим требованиям [5].

Компоновочное решение для ММПС представлено на рис. 3.

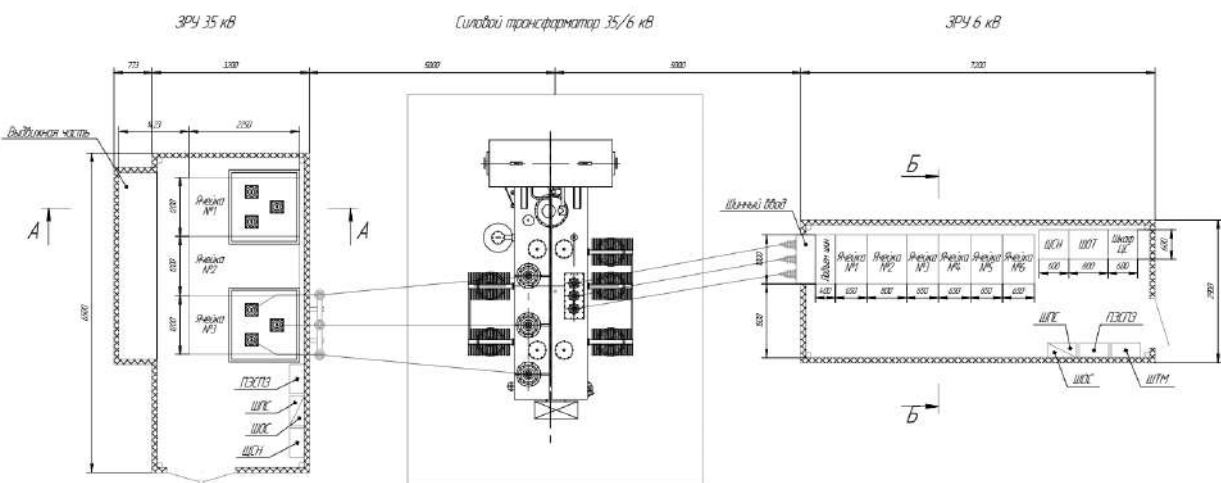


Рис. 3. Компоновочная схема ММПС

Быстромонтируемое оборудование выполнено с возможностью перевозки автомобильным транспортом на расстояние не менее 1000 км. Внешняя оболочка ММПС обеспечивает нормальную работу установленного в них оборудования в соответствии с условиями эксплуатации. Конструкция оборудования, установленного внутри оболочки, имеет степень защиты не менее IP20, а внешнего — не менее IP45 [3].

Конструктивное исполнение ММПС позволяет проходить обслуживающему персоналу внутрь электроустановки при его работе, производить нормальную работу персонала по обслуживанию, установленного внутри оборудования, защиту персонала в аварийных режимах [1].

Транспортировка оборудования осуществляется автомобильным транспортом, при этом доставка в труднодоступные местности может быть осуществлена вездеходом либо вертолетом. [2] Места хранения оборудования должны соответствовать требованиям инструкции по эксплуатации завода-изготовителя. Оборудование должно храниться в заправленном состоянии сезонным топливом с комплектом расходных материалов, должны быть обеспечены комплект средств подключения, закреплены за автотранспортной техникой для обеспечения транспортировки оборудования к месту аварийно восстановительных работ [2, 4]. В случае если рекомендации завода-изготовителя по хранению оборудования отсутствуют, то условия хранения должны обеспечивать сохранность, поддержание оборудования в исправном техническом состоянии и постоянную готовность к применению [2].

Переносные оборудования должны храниться в закрытых помещениях с соблюдением необходимых мер безопасности.

Вывод

В данной работе была рассмотрена научно-техническая литература и нормативно-технические документы, касающиеся применения и обоснования актуальности данных решений. Рассмотрена структура и основные параметры мобильных модульных подстанций 35/6 кВ и блочных распределительных устройств 6–35 кВ.

Список использованной литературы

1. Правила устройства электроустановок ПУЭ. — Издание седьмое / Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. — 330 с.

2. ГОСТ 23216-1978 Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 18.07.78 N 1941 : дата введения 1979-07-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007148> (Дата обращения: 13.11.2022).

3. ГОСТ 15150-1969 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29.12.69 № 1394 : дата введения — 1971-01-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003320> (дата обращения: 13.11.2022).

4. СТО 03.02.122-2020 «Правила предотвращения и ликвидации последствий аварий на электросетевых объектах» : утвержден и введен в действие Приказом ПАО «РусГидро» от 02.11.2020 № 937 : дата введения 2020-11-02. — URL: <http://www.rushydro.ru/> (дата обращения: 13.11.2022).

5. СПЕЦЭНЕРГО : сайт. — URL: <https://specenergo.com> (Дата обращения: 12.11.2022)

6. Р. Н. Шульга, И. В. Путилова, Т. С. Смирнова, Мобильные модульные подстанции для АПК // Альтернативная энергетика и экология. — 2019. — №1 9–21. — С. 70–83.

УДК 621

Кондрашкина Е. Г., Захаров И. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
МИКРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ
НЕФТЕПРОМЫСЛА

г. Сургут

Аннотация. В статье оценивается возможность применения микро-турбинных установок в качестве источника питания в системах автономного электроснабжения нефтепромысла. Описывается принцип действия и преимущества данных электроагрегатов, а также области потенциально-го внедрения.

Ключевые слова: энергоэффективность, микротурбинная установка, автономные системы электроснабжения, попутный нефтяной газ, месторождение.

Kondrashkina E. G., Zakharov I. A.

Surgut State University, Surgut

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING
MICROTURBINE INSTALLATIONS IN THE POWER SUPPLY
OF AN OIL FIELD

Surgut

Abstract. The article evaluates the possibility of using microturbine installations as a power source in autonomous power supply systems of an oilfield. The principle of operation and advantages of these electric units, as well as areas of potential implementation, are described.

Keywords: energy efficiency, microturbine installation, autonomous power supply systems, associated petroleum gas, field.

В процессе добычи и подготовки нефти выделяется крайне важный побочный продукт — это попутный нефтяной газ (ПНГ). Изначально это сырье не представляло какой-либо ценности, поэтому его часто сжигали в факельных установках. Но с течением времени тренд на энергосберегающие технологии и экологичность только возрастал. Поэтому вопрос утилизации и эффективного использования ПНГ в данный момент является актуальным.

Существует несколько способов утилизации ПНГ:

- закачка в недра для повышения пластового давления,
- переработка на газоперерабатывающих заводах,
- использование в качестве топлива для электрогенерирующих установок.

Для месторождений, находящихся в удаленности от электроэнергетической инфраструктуры, последний способ является наиболее востребованным. В качестве источников питания используются газотурбинные установки (ГТУ), газопоршневые установки (ГПУ) и сравнительно новые микротурбинные установки (МТУ). Стоит отметить, что для использования в качестве топлива попутного нефтяного газа требуются специальные установки по подготовке газа.

МТУ способны работать на топливе, представляющем собой ПНГ с непостоянным компонентным составом и высоким содержанием сероводорода (до 7%), после механической обработки и удаления влаги. Это обеспечивается за счет применения специальных антикоррозийных материалов. Механическая часть данных электроагрегатов состоит из турбины, компрессора и генератора. Специальный воздушный подшипник, посаженный на вал ротора, исключает механическое трение, что снижает траты на смазочные материалы. Это позволяет развить довольно высокую скорость вращения — порядка 90 тыс. об/мин. Поток воздуха, нагнетаемый генератором, используется в естественном охлаждении, что позволяет избежать использование затратного жидкостного охлаждения. Важным отличием МТУ является использование принципа двойного инвертирования, что обеспечивает высокую устойчивость к нагрузке (в диапазоне от 0 100% от номинальной мощности).

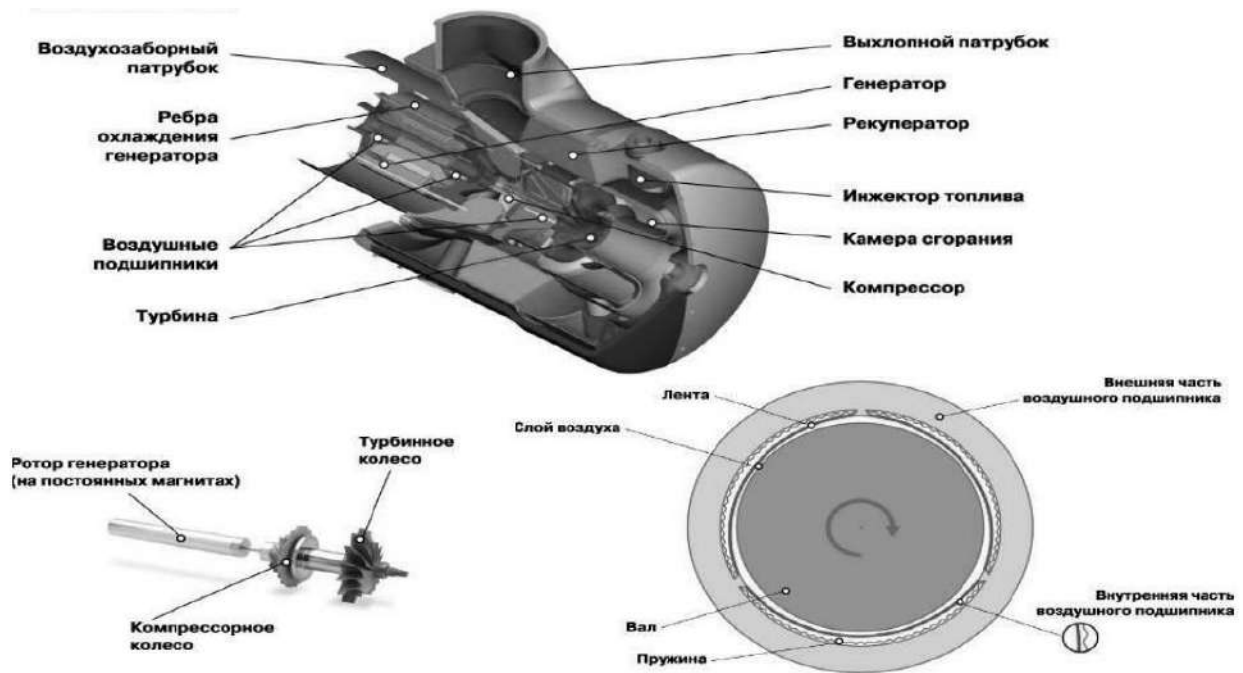


Рис. 1. Конструкция микротурбинной установки

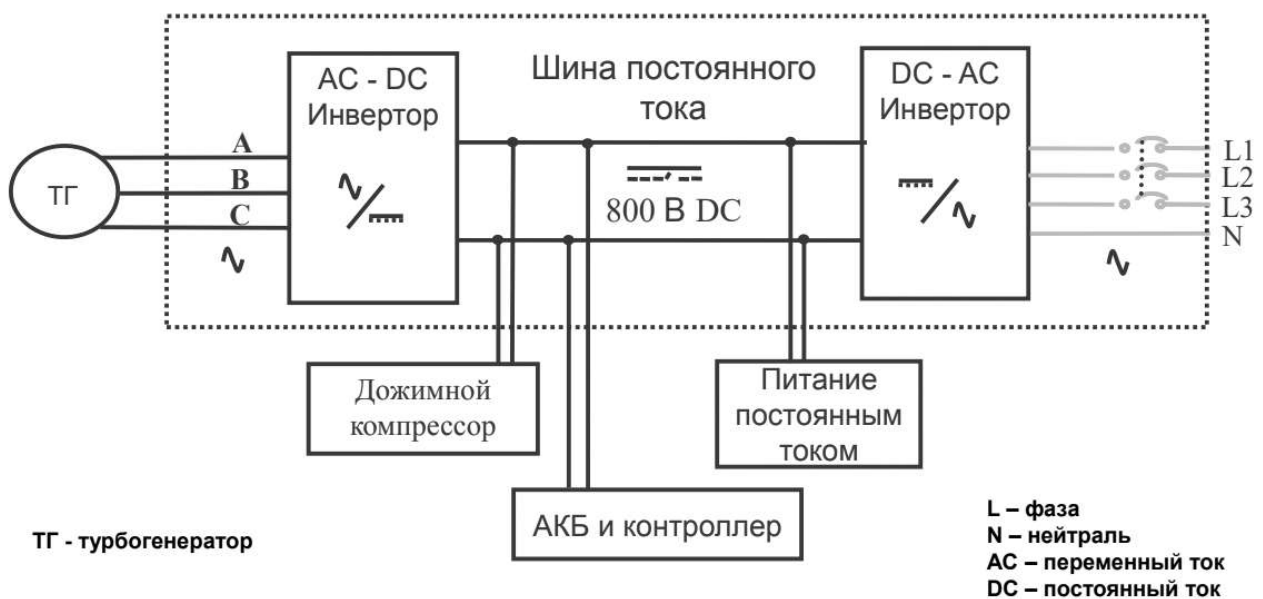


Рис. 2. Электросиловая схема

Ввиду высокой и непостоянной скорости вращения турбины, изменения давления и температуры ПНГ, частота и величина выходного напряжения, вырабатываемая турбогенератором, не равняется общепромышленной 50 Гц. Электрическая энергия, поставляемая потребителям

на нефтепромысле, должна соответствовать установленным показателям и нормам качества электрической энергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трех- и однофазного тока частотой 50 Гц. Электросиловая схема установки (рис. 1.), выполненная по схеме с шиной постоянного тока, позволяет обеспечить потребителей электрической энергией соответствующего качества. В конструкции МТУ используются два электронных преобразователя (инверторы). АС-DC инвертор, преобразующий высокочастотный переменный электрический ток, вырабатываемый непосредственно турбогенератором, выполнен по схеме «мостика» на биполярных транзисторах. Это решение позволяет получить на выходе инвертора стабилизированное напряжение постоянного тока, не зависящее от изменения режимов работы газового контура и нагрузки электроустановки. Дополнительным преимуществом является работа инвертора в реверсивном режиме — возможность передачи энергии не только от генератора, но и от шины постоянного тока, что является важным, например, при запуске установки. Источником электроэнергии для запуска может служить аккумуляторная батарея, которая заряжается от шины постоянного тока. DC-AC инвертор, преобразующий постоянный ток в переменный 50 Гц, также выполнен на биполярных транзисторах.

Данные электроагрегаты нашли свое применение во многих нефтяных компаниях Российской Федерации. Так, ОАО «Татнефть» одним из первых для утилизации ПНГ в 2007 году установила несколько микротурбин Capstone на Онбийском месторождении. Это решение оказалось эффективным, и они продолжили внедрение уже на других месторождениях. В 2013 году «Лукойл-Пермь» использовали передвижные комплексы на основе микротурбин CapStone для исследования и освоения скважин, что также оказалось эффективным, и они используются по сей день на 15 месторождениях. Также в качестве клиентов выступают такие организации нефтегазовой отрасли, как РуссНефть, Новатэк, Газпром. Комплексные решения, предоставляемые производителями МТУ, также заинтересовали представителей различных сфер: ЖКХ, телекоммуникации, спортивно-оздоровительные комплексы и сооружения, а также многие другие.

Микротурбинные установки могут применяться в энергоснабжении малых и средних месторождений:

- удаленных одиночных скважин,
- кустов скважин,
- скважин с сезонной добычей,
- низкодебитных скважин и скважин с малым газовым фактором,
- разведочных скважин.

Производители энергоцентров на основе МГУ предлагают различные варианты исполнения электростанций. Одним из них являются мобильные блочно-контейнерные электростанции на базе МГУ Capstone разной мощности.

Подводя итоги, можно сказать, что применение микротурбинных установок для электроснабжения нефтепромысла достаточно эффективно. Из недостатков стоит выделить их высокую стоимость, но срок окупаемости данных электроагрегатов составляет, как правило, 5 лет. Тем не менее это решение позволяет рационально использовать энергетические ресурсы в условиях нынешней тенденции экономичность и эффективность.

Список использованной литературы

1. Румянцев, М. Ю. Автономные системы электроснабжения малой мощности на основе высокоскоростных турбогенераторов / М. Ю. Румянцев, С. И. Сигачев // Технический оппонент. — 2021. — № 1 (7). — С. 21–26.

2. Денисламов, И. З. Применение попутного нефтяного газа в качестве энергоносителя на нефтяном промысле / И. З. Денисламов, Е. В. Файрушин // Наука России: Цели и задачи: Сборник научных трудов по материалам XIV международной научной конференции, Екатеринбург, 10 апреля 2019 года. Часть 4. — Екатеринбург : НИЦ «Л-Журнал», 2019. — С. 67–71.

3. Казаку, А. В. Внедрение микротурбинных электростанций как альтернатива переработки попутного нефтяного газа в электроэнергию / А. В. Казаку, А. В. Гоголев // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета: в 2 томах, Томск, 04–08 апреля 2016 года / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт природных ресурсов (ИПР); Общество инженеров-нефтяников, международная некоммерческая организация, Студенческий

чаптер; Под редакцией А. Ю. Дмитриева. Том 2. — Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2016. — С. 346–348.

4. Турышева, А. В. Оценка эффективности применения современных генерирующих агрегатов, использующих в качестве энергоносителя попутный нефтяной газ / А. В. Турышева // Современные научные исследования и инновации. — 2014. — № 5-1(37). — С. 69.

УДК 621.31

Парамзин А. О.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА
ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ПРИ АНАЛИЗЕ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ СЕТЕЙ 0,4 КВ

г. Ханты-Мансийск

Аннотация. В данной работе проведен расчет и анализ действующих значений токов высших гармонических составляющих с использованием имитационной модели Matlab Simulink. При помощи математического аппарата преобразования Фурье и вейвлет-анализа был осуществлен анализ осциллограмм токов нелинейной нагрузки для стационарного и нестационарного режима работы сети. Как итог, идентифицировано наличие высших гармоник и определены их действующие значения. В результате численных экспериментов была обнаружена невозможность применения преобразования Фурье с целью идентификации действующих значений высших гармоник из-за наличия эффекта растекания спектра.

Ключевые слова: несинусоидальная нагрузка, нестационарный режим, высшие гармоники, вейвлет-анализ, преобразование Фурье.

Paramzin A. O.

Yugra State University, Khanty-Mansiysk

RESEARCH METHODS USING WAVELET ANALYSIS AND FOURIER
TRANSFORM IN THE ANALYSIS OF NON-STATIONARY MODES
OF 0.4 KV GRIDS

Khanty-Mansiysk

Abstract. In this paper we calculated and analyzed the effective values of currents of higher harmonic components using the Matlab Simulink simulation

model. Using the mathematical apparatus of Fourier transform and wavelet analysis, the analysis of oscillograms of nonlinear load currents for stationary and nonstationary mode of network operation was carried out; as a result, the presence of higher harmonics was identified and their effective values were determined. As a result of numerical experiments, it was found impossible to apply the Fourier transform to identify the effective values of higher harmonics due to the spread spectrum effect.

Keywords: *Non-linear load, non-stationary mode, higher harmonics, wavelet analysis, Fourier transform.*

В последние годы наблюдается сильное увеличение доли нелинейной нагрузки [14], которая, в свою очередь, является причиной искажения синусоидальных осциллограмм токов и напряжений. Энергетическая отрасль ХМАО-Югры обладает рядом особенностей, среди которых можно выделить преобладание промышленной нагрузки и большую протяженность сетей напряжением 6–35 кВ, которые составляют более 70% от общей протяженности линий электропередачи [13].

Как правило, в качестве причин несинусоидальности кривых напряжений и токов принято выделять нелинейность кривой намагничивания трансформаторов 6–10/0,4 кВ, присоединение нелинейных потребителей электрической энергии, к которым относят сварочные и электротермические установки, получившие широкое распространение вентильные преобразователи и станции управления электродвигателями [15], а также системы энергосберегающего светодиодного освещения. В данной работе предлагается осуществить моделирование нестационарных режимов таких электроприемников в программном пакете Matlab Simulink и осуществить анализ полученных осциллограмм.

Режимы с искаженной синусоидальностью токов и напряжений обычно относят к неэкономичным и технически недопустимым энергетическим процессам [11]. Кроме того, в мировой и Российской практике стало внедрение регламентирующих стандартов в области показателей качества электрической энергии, основной задачей которых является сокращение потерь от высших гармоник (ВГ). На территории Европейского союза показатели регламентируются стандартом EN 50160:2010, в США — IEEE 519, а на территории РФ действует наиболее требовательный ГОСТ 32144–2013.

В работе [3] говорится о том, что использование осветительных установок на базе светодиодов может приводить к увеличению потерь на 30%, а также сбоям пускозащитной аппаратуры. Выход показателей качества электрической энергии за допустимые пределы нормирования продемонстрирован [4], где произведено исследование при работе нелинейной нагрузки в резко-переменном режиме. Стоит упомянуть проведенное авторами [9] исследование, подтверждающее неудовлетворительное положение дел в области гармонических искажений кривых тока. Отмечается, что привлечение внимания к проблеме качества тока в электрических сетях РФ будет способствовать развитию более детальных и обширных исследований [9]. Спектральный состав искажающей нагрузки также содержится в работах [7,6]. Изложенное выше делает задачу модернизации исследовательских алгоритмов оценки уровня высших гармоник в электрических сетях актуальной.

Существует несколько подходов к оценке уровня высших гармоник. Традиционным и устоявшимся математическим аппаратом для анализа несинусоидальных сигналов является преобразование Фурье [2] и его разновидности [1]. Как правило, методики, основой которых является Фурье-преобразование, выполняют дискретное либо быстрое преобразование Фурье, являющееся его частным случаем.

В соответствии с положениями преобразования Фурье, любая 2π периодическая функция может быть представлена в виде ряда Фурье:

$$f(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} c_n \exp(i nt).$$

Где c_n имеет вид

$$c_n = (2\pi)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} c_n \exp(i nt)$$

А значит, исходная функция может быть получена как суперпозиция масштабных преобразований базисной функции:

$$w(t) = \exp(it) + \cos(t) + i\sin(t)$$

В работе [8] отмечается, что, несмотря на удовлетворительные шумовые характеристики, полученные при помощи быстрого преобразования Фурье, данный алгоритм нельзя назвать оптимальным в задачах, где необходима максимальная точность при измерении амплитуды гармоник.

Данному математическому аппарату принято противопоставлять более современный и совершенный аппарат вейвлет-анализа, который, в отличие от Фурье-преобразования, осуществляет разложение сигнала по системам базисных функций и характеризуется масштабом и локализацией по времени [5]. Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности использования вейвлет-анализа в качестве эффективного инструмента для нелинейных и искаженных сигналов, которые имеют резкие колебания и всплески, и противопоставить его преобразованию Фурье [10].

Принято различать несколько видов вейвлет-преобразования. В данной работе в качестве противопоставления быстрому преобразованию Фурье будет использоваться пакетное вейвлет-преобразование. Для разложения воспользуемся следующей формулой:

$$\hat{F}(a, b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(t) \psi\left(\frac{t}{a} - nb\right) dt$$

Параметр a задает ширину вейвлет-пакета, b , в свою очередь, — его положение.

$\psi(t)$ — функция материнского вейвлета.

Соответственно, вейвлет-преобразование можно представить как нахождение вейвлет-коэффициентов $\hat{F}(a, b)$ определяющихся исходя из скалярного произведения сигнала тока на вейвлет-функцию заданного типа.

Проведем серию вычислительных экспериментов по исследованию системы электроснабжения 10/0,4 кВ с двухобмоточным трансформатором серии ТМ мощностью 1000 кВА. Параметры схемы замещения трансформатора рассчитаны на основании его каталожных данных, представленных в таблице 1.

Таблица 1. — Паспортные данные моделируемого трансформатора

Параметр	f, Гц	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	S, кВА	I _{xx} , %	DP _{xx} , кВт	DP _{кз} , кВт	U _к , %
Значение	50	10	0,4	1000	0,8	1,47	12,2	5,5

Линейная нагрузка задается постоянным графиком с величиной потребляемой мощности $S = 301,5$ кВА и $\cos\varphi = 0,99$. Блок нелинейной нагрузки работает в повторно-кратковременном симметричном режиме с га-

рмоническим составом, соответствующим таблице 2. Воздушная линия выполнена проводом СИП-2 3 x 95 + 1 x 70 длиной 100 м.

Реализация модели в Matlab Simulink с частотой дискретизации 12.8 кГц представлена на рис. 1.

Таблица 2. — Действующие значения токов отдельных гармоник нелинейной нагрузки

№ гармоники	1	3	5	7	9	11	13	15
Значение, А	50,00	16,67	10,00	7,14	5,56	4,55	3,85	3,33
Значение, о.е.	1,00	0,33	0,20	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07

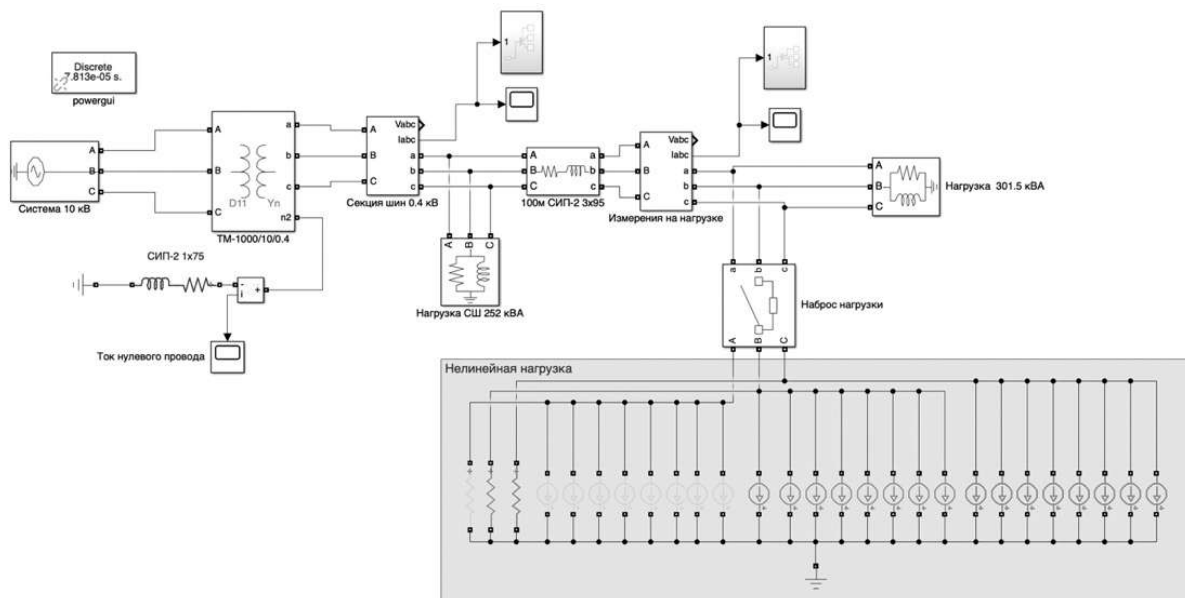


Рис. 1. Модель исследуемой системы в Matlab Simulink

Осуществим моделирование стационарного режима с подключенной нелинейной нагрузкой и осуществим разложение осциллограмм токов линии, представленных на рис. 2, при помощи быстрого Фурье-преобразования.

В результате быстрого Фурье-преобразования получен спектральный состав, соответствующий рис. 3, где величина показателя THD составила 45%, а погрешность определения действующих значений токов каждой гармоники — менее 5%.

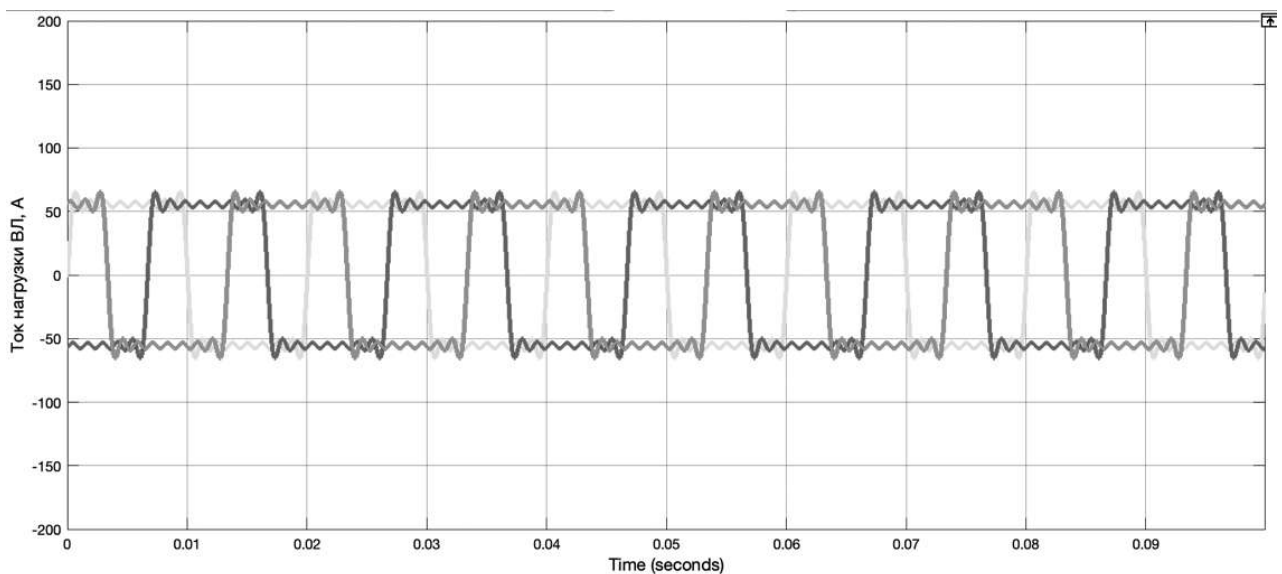


Рис. 2. Осциллограмма фазных токов блока нелинейной нагрузки

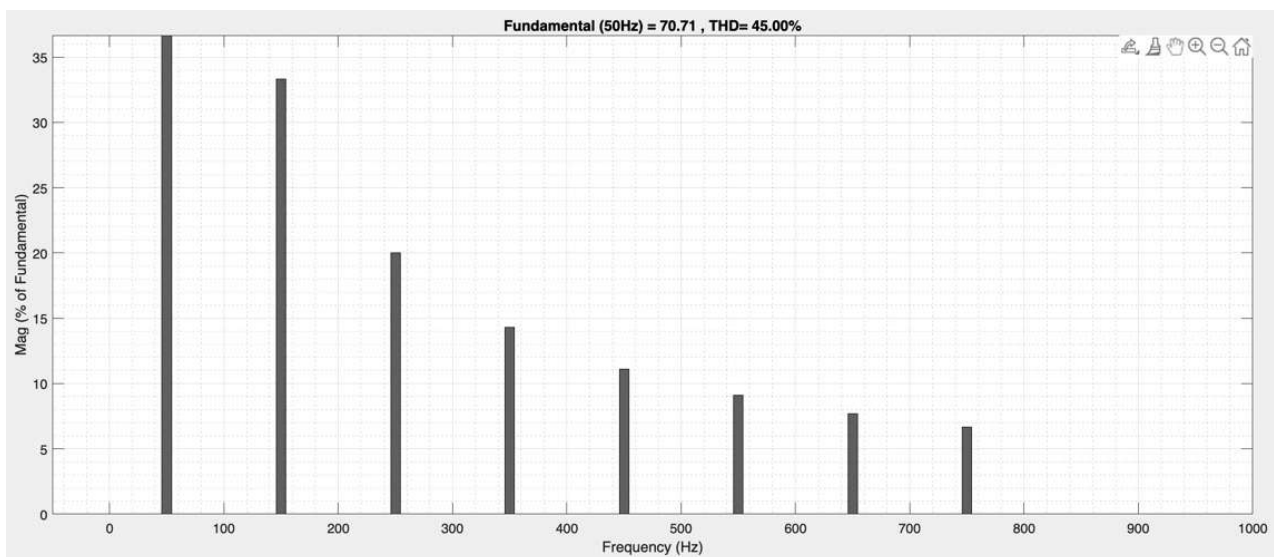


Рис. 3. Спектрограмма токов нагрузки в стационарном режиме

Произведем аналогичную декомпозицию сигнала с целью определения действующих значений токов каждой гармоники при помощи вейвлет-преобразования. Для этого будем использовать вейвлет Добеши 24 и разложение до шестого уровня. Частота дискретизации принята равной 12,8 кГц согласно условиям теоремы Котельникова, и сопоставим результаты в таблице 4.

Таблица 4. — Сравнительный анализ результатов идентификации токов высших гармоник

	1	3	5	7	9	11	13	15
Действующее значение имитационной модели, А	50,00	16,67	10,00	7,14	5,56	4,55	3,85	3,33
Действующее значение в результате Фурье-преобразования, А	49,99	16,49	9,99	7,01	5,49	4,49	3,94	3,39
Действующее значение по вейвлет-коэффициентам, А	49,99	16,57	10,15	8,20	3,81	4,58	3,77	2,90

По результатам данного эксперимента может показаться, что быстрое Фурье-преобразование справляется с задачей определения действующего значения токов высших гармоник лучше математического аппарата вейвлет-преобразования.

Однако авторами в работе [12] отмечается, что область применения преобразования Фурье ограничена установившимися режимами работы сети. В случае, когда характеристики реальной системы изменяются во времени, возможно значительное увеличение погрешностей и появление эффекта «растекания спектра». Проверим данную гипотезу, осуществив моделирование нестационарного режима системы электроснабжения (рис. 4) с набросом несинусоидальной нагрузки, параметры которой соответствуют таблице 2 в момент времени, равный 0.3 секунды.

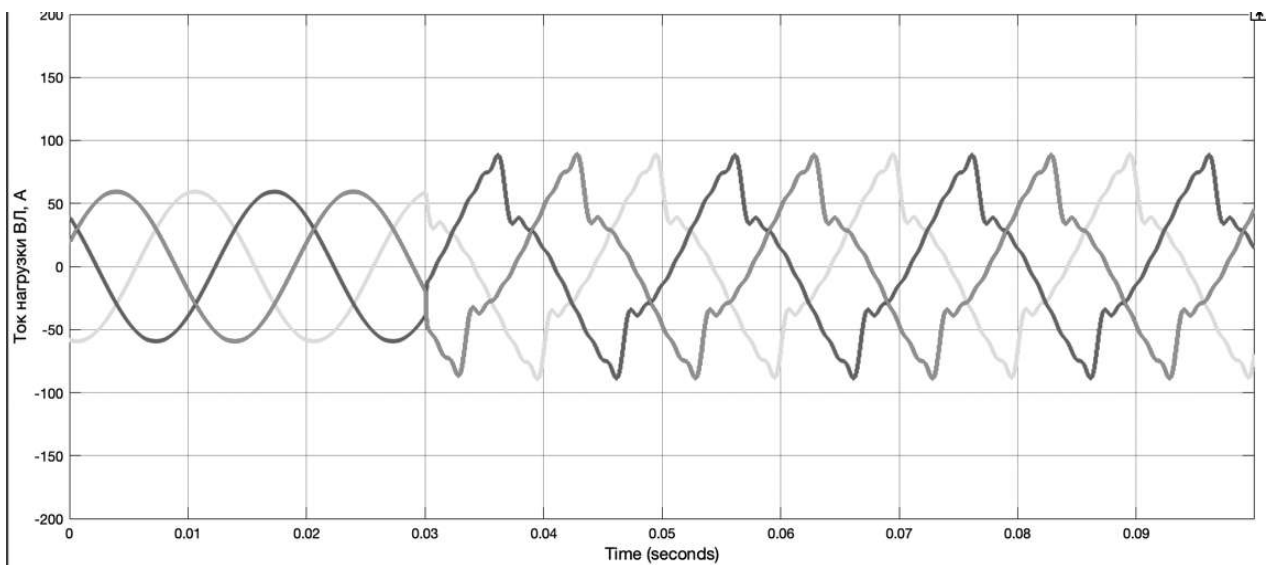


Рис. 4. Осциллограммы токов нагрузки для нестационарного режима работы сети

При решении данной задачи математический аппарат вейвлет-преобразования не дает возможности точного определения действующего значения токов каждой гармонике по причине наличия эффекта растекания спектра, представленного на рис. 5. Кроме того, присутствуют значительные отклонения величин действующего значения от параметров имитационной модели (табл. 5).

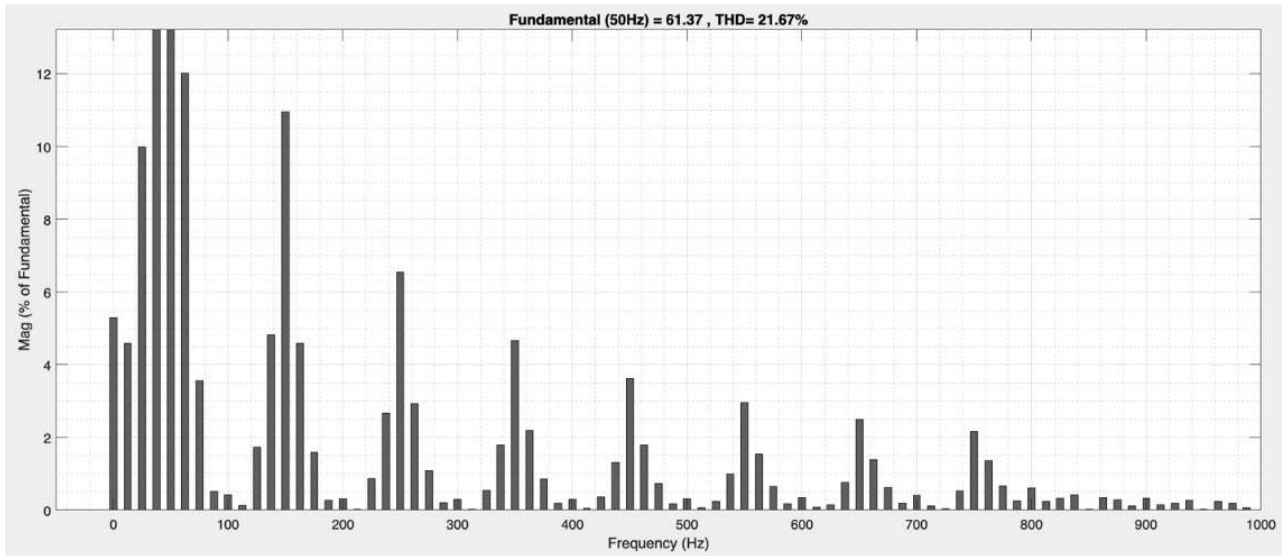


Рис. 5. Спектрограмма токов нагрузки в нестационарном режиме

Таблица 5. — Сравнительный анализ действующих значений токов в нестационарном режиме

	1	3	5	7	9	11	13	15
Действующее значение в результате Фурье-преобразования, А	43,39	4,77	2,82	2,08	1,56	1,3	1,08	1,01
Действующее значение по вейвлет-коэффициентам, А	45,26	5,98	3,76	2,97	1,37	1,66	1,40	1,07

Таким образом, при помощи математического аппарата быстрого преобразования Фурье и вейвлет-анализа для системы электроснабжения с нелинейной нагрузкой были идентифицированы наличие и параметры высших гармоник для стационарного и нестационарного режима. В результате экспериментов быстрое преобразование Фурье показало высокую точность расчета при анализе стационарного режима. Однако при наличии

изменяемых во времени характеристик имитационной модели результаты, полученные при помощи аппарата пакетного вейвлет-разложения, оказались более точными по причине появления эффекта растекания спектра при быстром преобразовании Фурье.

Поскольку реальные системы электроснабжения не являются стационарными, с целью идентификации высших гармоник оптимальным видится применение пакетного вейвлет-преобразования с разложением до необходимого уровня.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема «Разработка моделей вейвлет-анализа нестационарных режимов электрических сетей для повышения надежности и эффективности электроснабжения потребителей», код темы: FENG-2023-0005).

Список использованной литературы

1. Альтман, Е. А. Совершенствование вычислительных процедур анализа сигналов тяговой электрической сети / Е. А. Альтман, Д. А. Елизаров, А. В. Александров; Омский гос. ун-т путей сообщения // Известия Транссиба. — Омск. — 2018. — № 4 (36). — С. 113–120.

2. Антонов, В. И., Общие начала теории фильтров ортогональных составляющих / В. И. Антонов, В. А. Наумов, Н. Г. Иванов, А. В. Солдатов, А. И. Фомин // Релейная защита и автоматизация. — 2016. — № 1 (22). — С. 17–26.

3. Баран, А. Н. Светодиодные источники света и их влияние на питающую сеть / А. Н. Баран, В. А. Пашинский, Л. А. Липницкий // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. — 2019. — № 4. — С. 91–99.

4. Бушуева, О. А. Анализ качества электроэнергии в системе электроснабжения группы потребителей / О. А. Бушуева, Н. С. Иванова // Фёдоровские чтения — 2016: XLVI Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы (Москва, 16–18 ноября 2016 г.), Москва, 16–18 ноября 2016 года. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. — С. 196–204.

5. Витязев, В. В. Вейвлет-анализ временных рядов: Учебное пособие. — СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. — 58 с.

6. Закарюкин, В. П. Моделирование несинусоидальных режимов электрических сетей / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Ле Конг // Системы. Методы. Технологии. — 2015. — № 1 (25). — С. 78–86.
7. Ковалева, Н. А. Источники гармоник тока и напряжения в электротехническом комплексе добычи нефти из глубинных скважин / Н. А. Ковалева, Ю. М. Денчик, В. В. Аникин // Омский научный вестник. — 2015. — № 1 (137). — С. 151–154.
8. Коровкин, Н. В. О применимости быстрого преобразования Фурье для гармонического анализа несинусоидальных токов и напряжений / Н. В. Коровкин, С. С. Грицутенко // Известия Российской академии наук. Энергетика. — 2017. — № 2. — С. 7–386.
9. Макашева, С. И. Качество тока: аспекты оценки и нормирования / С. И. Макашева, П. С. Пинчуков // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. — 2020. — № 4.
10. Осипов, Д. С. Анализ дополнительных потерь от высших гармоник в сетях 380 с помощью алгоритмов пакетного вейвлет-преобразования / Д. С. Осипов, Н. Н. Долгих, С. А. Горовой, В. Е. Поплавская // ОНВ. — 2018. — № 6 (162).
11. Ощепков, В. А. Моделирование элементов сети в задачах расчета несинусоидальных режимов систем электроснабжения / В. А. Ощепков, С. С. Гиршин, Д. С. Осипов // ОНВ. — 2004. — № 2 (27).
12. Соснина, Е. Н. Исследование несинусоидальности в интеллектуальных электрических сетях с помощью оконного преобразования Фурье / Е. Н. Соснина, Р. Ш. Бедретдинов, А. В. Иванов // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XII Международной научно-технической конференции. — Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2022. — С. 77–80.
13. Схема и программа развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2024 года. Департамент жилищно-коммунального комплекса и энергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Дата обращения: 25 апреля 2020.
14. Тютиков, В. В., Условия полной компенсации токов однофазного замыкания на землю в кабельных сетях напряжением 6–10 кВ с заземлением нейтрали через дугогасящий реактор // Вестник Ивановского государственного энергетического университета / В. В. Тютиков, Ю. Д. Кутумов,

Т. Ю. Шадрикова, В. А. Шуин. — 2022. — № 5. — С. 24–32. — DOI 10.17588/2072-2672.2022.5.024-032.

15. Шуин, В. А. Математическая модель для оценки минимального уровня высших гармоник в токе однофазного замыкания на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ / В. А. Шуин, Т. Ю. Винокурова, Е. С. Шагурина // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2013. — № 6. — С. 35–41.

УДК 621.31

Сафин А. С., Хачатрян А. С., Сальников В. Г.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Аннотация. На сегодняшний день повышение энергоэффективности систем электроснабжения является актуальной проблемой, вызванной увеличением протяженности электрических сетей, развитием энергетики, снабжением потребителей некачественной электроэнергией, увеличением потребления электроэнергии и высокими потерями энергии. Для решения этой проблемы могут быть приняты следующие меры: глубокое внедрение в системы электроснабжения, создание мини-ТЭЦ или реконструкция изношенных и перегруженных участков сети.

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

Safin A. S., Khachatryan A. S., Salnikov V. G.

Surgut State University, Surgut

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF SYSTEMS POWER SUPPLY
OF HOUSEHOLD CONSUMERS

Abstract. Today, increasing the energy efficiency of power supply systems is a relevant issue, caused by the expansion of power grids, the development of energy production, the provision of consumers with poor quality electricity, increasing consumption of electricity, and high energy losses. To address this issue, the following measures can be taken: deep integration into power supply systems, creating mini-CHP plants or reconstruction of worn-out and overloaded sections of the grid.

Keywords: *energy efficiency improvement, household consumers, cost reduction.*

Развитие экономики страны требует соответствующего развития энергетической отрасли. Один из ключевых факторов в улучшении энергетической отрасли — повышение эффективности использования энергоресурсов. Исследователи и научные организации по всей России и миру работают над решением этой проблемы. В статье рассматриваются различные методы повышения энергоэффективности для домашних потребителей в городских и сельских районах. Улучшение энергоэффективности особенно актуально в условиях быстрого роста населения и промышленности, что приводит к увеличению потребления энергии, расширению энергетических сетей и энергокомплексов.

Существует несколько основных проблем, которые мешают России достичь высокой энергоэффективности. Среди них неэффективное использование энергоресурсов в различных сферах экономики, устаревшие технологии и оборудование, высокие затраты на производство энергии из-за дорогого топлива и ресурсов, а также недостаточное количество энергосберегающих технологий и их низкое внедрение в производство и бытовую сферу. Решение этих проблем требует комплексного подхода.

Помимо вышеупомянутых проблем, существует еще несколько факторов, которые содействуют решению проблемы энергоэффективности в России. Например, неудовлетворительное состояние электроснабжения сельских и городских жителей, выраженное в низкой надежности и качестве электроснабжения, а также большом количестве аварийных отключений. Более того, более 35% сельских потребителей получают некачественную электроэнергию, которая может приводить к неправильной работе электроприемников и нарушению технологического процесса. Кроме того, Россия также сталкивается с большими потерями в городских сетях, которые значительно превышают соответствующие показатели других технически развитых стран. Однако все эти проблемы могут быть решены, если будут предприняты необходимые меры и внедрены современные технологии и подходы к энергоэффективности.

Рациональное и эффективное использование мощности, потребляемой от источников электроэнергии при сохранении параметров качества сети, — это то, что имеется в виду под энергоэффективностью систем электроснабжения. В этой связи можно сделать вывод, что действия по повышению энергоэффективности должны в первую очередь решать задачи, связанные

с передачей электроэнергии от источников к приемникам с минимальными потерями и улучшением качества электроснабжения потребителей, а также повышением эффективности электропотребления. Чтобы эффективно решать эти задачи, необходимо применять технические решения, методы и средства, которые позволят гарантировать выполнение указанных действий в реальных условиях работы при различных воздействиях со стороны источников и приемников электроэнергии, обеспечить выполнение следующих действий:

1. Цель — увеличить проходимость ЛЭП при транспортировке электроэнергии и сократить потери мощности.

2. Важно компенсировать реактивную мощность и стабилизировать параметры электроснабжения у потребителей.

С развитием систем электроснабжения все большее внимание уделено энергоэффективному оборудованию при проектировании электростанций и подстанций. Это позволяет уменьшить расход топлива и электроэнергии на внутренние нужды, а также минимизировать потери при передаче энергии к потребителю. Снятие неэффективных блоков и станций (с высоким расходом топлива) из эксплуатации поможет уменьшить затраты на их обслуживание и эксплуатацию.

Для повышения энергоэффективности солнечных электростанций в городах используется метод глубокого ввода. Глубокий ввод — это система электроснабжения, которая приближает питающую сеть высокого напряжения к потребителю. Это позволяет сократить число ступеней трансформации и уменьшить потери электроэнергии в распределительной сети городов. Примером использования глубокого ввода является система электроснабжения одного из населенных пунктов ХМАО–Югры, где при использовании напряжения 20 кВ потери мощности оказались в два раза меньше, чем при использовании напряжения 10 кВ. Таким образом, проектирование системы электроснабжения городских потребителей с нестандартным уровнем напряжения 20 кВ является целесообразным.

Повышение надежности передачи электроэнергии в сельской местности сталкивается с несколькими проблемами, такими как неравномерность графиков нагрузки, длинные линии электропередач и неправильный выбор сечений линий в процессе проектирования. Улучшить системы электроснабжения в сельской местности можно путем реконструкции электрических

сетей и сокращения потерь электроэнергии при передаче. Несимметрия нагрузки фаз может приводить к отрицательным отклонениям напряжения и дополнительным потерям энергии в линиях и трансформаторах. Эту проблему можно решить, выравнивая нагрузку по фазам, что может привести к сокращению потерь электроэнергии на 50% в сетях сельских потребителей.

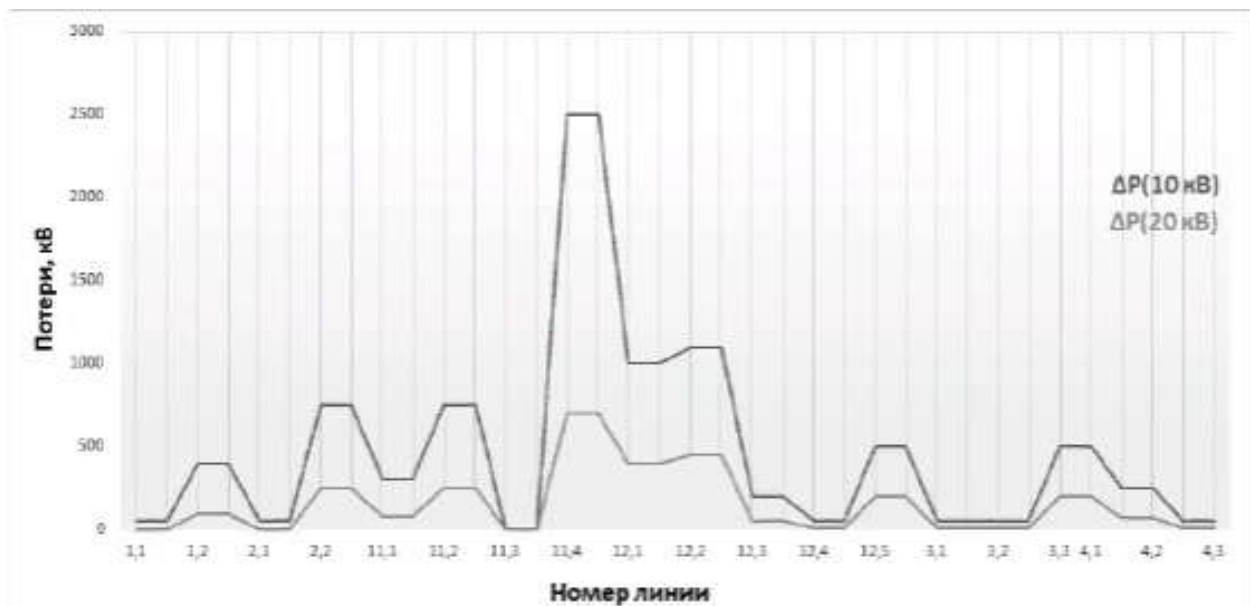


Рис. 1. График сравнения потерь мощности в сетях 10 и 20 кВ

Для улучшения систем электроснабжения в сельской местности можно использовать децентрализованные источники энергии, такие как мини-ТЭЦ и возобновляемые источники, а также использовать местные энергоресурсы, например, биогаз. Постепенный переход на такие источники может снизить потери энергии при передаче на большие расстояния, могут быть рассмотрены такие мероприятия, как:

1. Улучшение эффективности электрических сетей также может включать анализ возможности использования глубокого ввода и выравнивания нагрузки по фазам, особенно в сельской местности.

2. Создание мини-ТЭЦ с использованием уже существующей инфраструктуры может быть более экономически выгодным и быстрым способом борьбы с нехваткой мощности, чем строительство новых крупных энергетических предприятий.

3. Замена проводов на более крупные и изолированные, а также реконструкция изношенных электрических сетей поможет снизить потери

энергии и повысить надежность и качество электроснабжения в городе, особенно на участках с нагрузкой напряжением 6 кВ и 0,4 кВ.

Список использованной литературы

1. Воротницкий, В. Э. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Учебно-методическое пособие / В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина. 2-е изд. — М. : ИПК госслужбы, 2001.
2. Пути снижения потерь электроэнергии в электрических сетях [электронный ресурс] 2011. — URL: http://energetik-ltd.ru/statii/statii8/puti_snijeniya_poter_elektoenergii_v_ekektricheskikh_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)

УДК 621.311

Владимиров Л. В., Савинов С. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ

г. Сургут

Аннотация. Повышение требований к контролю параметров работы оборудования на силовых подстанциях и совершенствование систем управления режимами работы электрических сетей побуждает к отказу от аналоговых измерительных каналов и каналов связи в пользу цифровых. Данное решение может значительно увеличить надежность работы электрических сетей, их контроля, способность и управляемость, а также позволит реализовать дистанционное управление объектами энергетики. В данной работе рассмотрена структурная схема цифровой подстанции, построенная на основе стандартов МЭК 61850, возможные виды и пример ее реализации.

Ключевые слова: *цифровая подстанция, МЭК 61850, автоматизация процесса.*

Vladimirov L. V., Savinov S. A.

Surgut State University, Surgut

DIGITAL SUBSTATIONS

Surgut

Abstract. Increasing requirements for monitoring the parameters of equipment operation at power substations and improving control systems for operating modes of electrical networks encourages the abandonment of analog measuring channels and communication channels in favor of digital ones. This solution can significantly increase the reliability of the operation of electrical networks, their ability to control and manageability, and will also allow remote control of energy facilities. In this paper, a block diagram of a digital substation built on the basis

of IEC 61850 standards, possible types and an example of its implementation are considered.

Keywords: *digital substation, IEC 61850, process automation.*

С развитием новых технологий повышаются требования к работе системы электроснабжения. Эти потребности может решить техническое перевооружение объектов электроэнергетики, реализованное по последним технологиям. Минэнерго России, осознавая значимость вопроса о внедрении современных технологий в сфере энергетики, утвердило паспорт программы «Цифровая трансформация электроэнергетики России». Целью данного паспорта является преобразование энергетической инфраструктуры Российской Федерации посредством внедрения цифровых технологий. Начальным этапом выступает модель управления, при которой оценивается техническое состояние каждого элемента оборудования и воздействие оказывается только на элементы, риски и последствия отказа которых максимальны. Объектом, способным удовлетворить данную модель управления, является цифровая подстанция (ЦПС). Одной из движущих сил для внедрения ЦПС является концепция цифровой подстанции, утвержденная ПАО «Россети».

Цифровая подстанция — это подстанция, имеющая высокий уровень автоматизации. Включает в себя комплекс цифровых устройств, затрагивающих систему релейной защиты и автоматики (РЗА), учет электроэнергии, АСУ ТП. Управление работой такой ПС осуществляется на базе протоколов серии МЭК 61850.

Существует три уровня в архитектуре ЦПС (рис. 1):

1. Полевой уровень. Данный уровень включает в себя все первичные устройства (распределительные устройства, трансформаторы, приборы учета) и устройства интерфейса процесса, например модули объединения.
2. Уровень присоединения. Данный уровень включает в себя электронное оборудование для контроля, защиты, связи и функций, связанных с мониторингом и диагностикой.
3. Подстанционный уровень. Прежде всего включает в себя оборудование для управления и защиты станции, через который отправляется информация в диспетчерский центр.

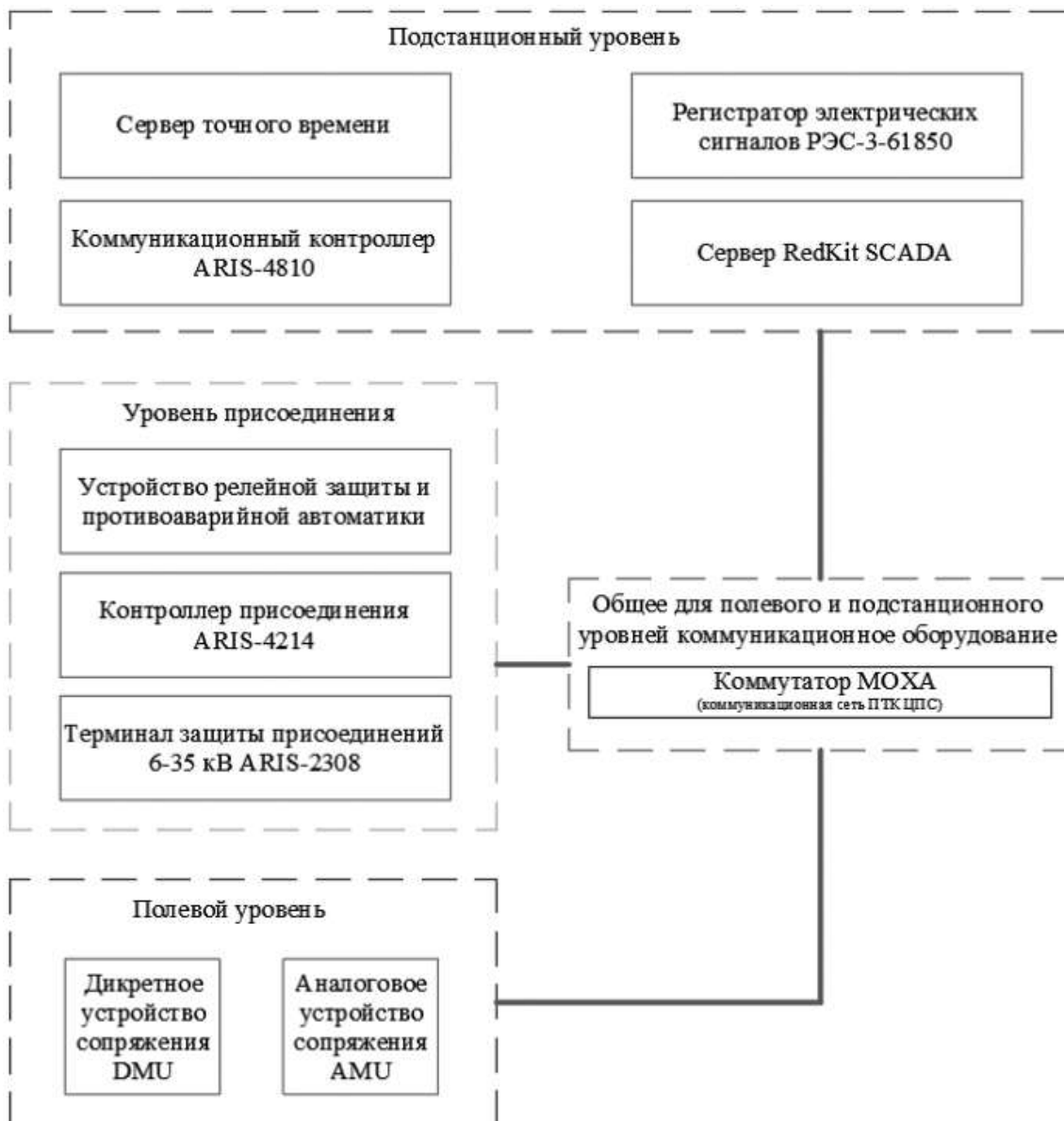


Рис. 1. Архитектура цифровой подстанции

Стоит отметить, что обмен данными между уровнями происходит через коммуникационную сеть. Как правило, для разгрузки сети и достижения большей безопасности ее разделяют на две шины: шину процесса и шину станции.

Весь обмен данными происходит за счет протоколов. В ЦПС используются три основных протокола передачи данных:

- 1 Sampled Values;
- 2 GOOSE;
- 3 MMS.

Каждый из протоколов отвечает за свои типы данных и связи между определенными уровнями.

Первый протокол, именуемый как *Sampled Values*, используется прежде всего на подстанционном уровне. Данный протокол отвечает за передачу измерений токов и напряжения, после чего передает их в интеллектуальные устройства уровня присоединения.

Протокол *GOOSE* предназначен для передачи команд релейной защите и противоаварийной автоматики, различных событий и сигналов. Данный протокол, являясь универсальным, позволяет осуществлять передачу данных между всеми тремя уровнями.

Последний протокол *MMS* является протоколом «клиент–сервер». Этот протокол способен передавать любые типы данных и команд между всеми тремя уровнями.

Использование устройств с полной поддержкой стандарта МЭК 61850 все еще является дорогостоящим, поэтому существуют различные виды построения ЦПС (рис. 2).



Рис. 2. Виды цифровой подстанции

Первый вариант реализации ЦПС подразумевает использование полностью традиционного оборудования, включающего в себя устройство сопряжения, которое собирает аналоговые сигналы с первичного оборудования и измерительных устройств. Данный вид имеет менее гибкую конфигурацию за счет использования лишь одного интеллектуального устройства сопряжения.

Гибридный вариант является промежуточным звеном между использованием традиционного оборудования и использованием цифрового

первичного оборудования. Данный вариант выделяется присутствием на каждом коммутационном аппарате, измерительном устройстве своего собственного интеллектуального блока, который передает данные на общий полевой коммутатор.

Третий вариант включает в себя полностью использование цифрового первичного и измерительного оборудования, к каждому из которых подходит кабель питания и кабель связи. Данный вариант является наиболее технологичным и в то же время наиболее дорогостоящим.

На данный момент одним из крупнейших производителей оборудования для ЦПС можно отметить ООО НПП «ЭКРА». В качестве примера использования оборудования для ЦПС, основываясь на предложенном оборудовании ООО НПП «ЭКРА», можно привести комплект РЗиА. Данный комплект построен на базе интеллектуального электронного устройства (например, микропроцессорный терминал РЗиА с поддержкой протокола GOOSE) с поддержкой стандартов МЭК 61850. Состав панелей РЗиА может отличаться в зависимости от пожеланий заказчика. Одним из примеров является панель защит линии на базе шкафа ШЭ2607 091091 с комплектами БЭ2704 091 (ДЗЛ, КСЗ) для ЦПС (рис. 3).

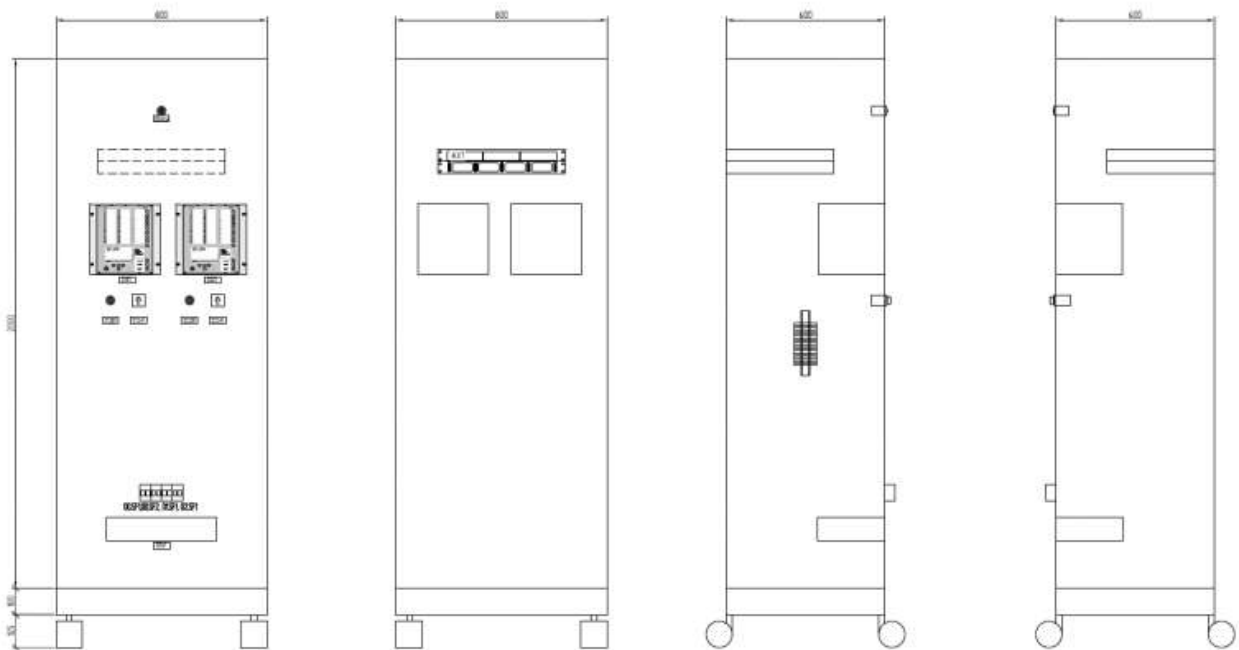


Рис. 3. Панель защит линии

Панель сетевых коммутаторов (рис. 4).

Панель включает в себя:

- промышленный коммутатор с поддержкой протокола синхронизации RTRv2 для организации шины процесса;
- промышленный коммутатор для организации шины станции;
- устройство синхронизации единого времени.

Панель оснащается индивидуальным источником питания от сети переменного тока.

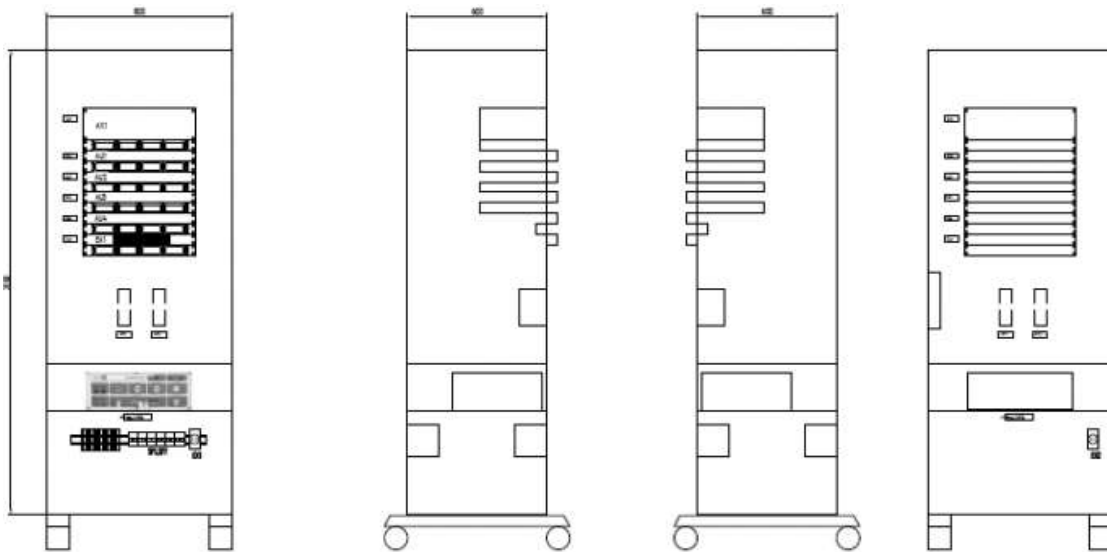


Рис. 4. Панель сетевых коммутаторов

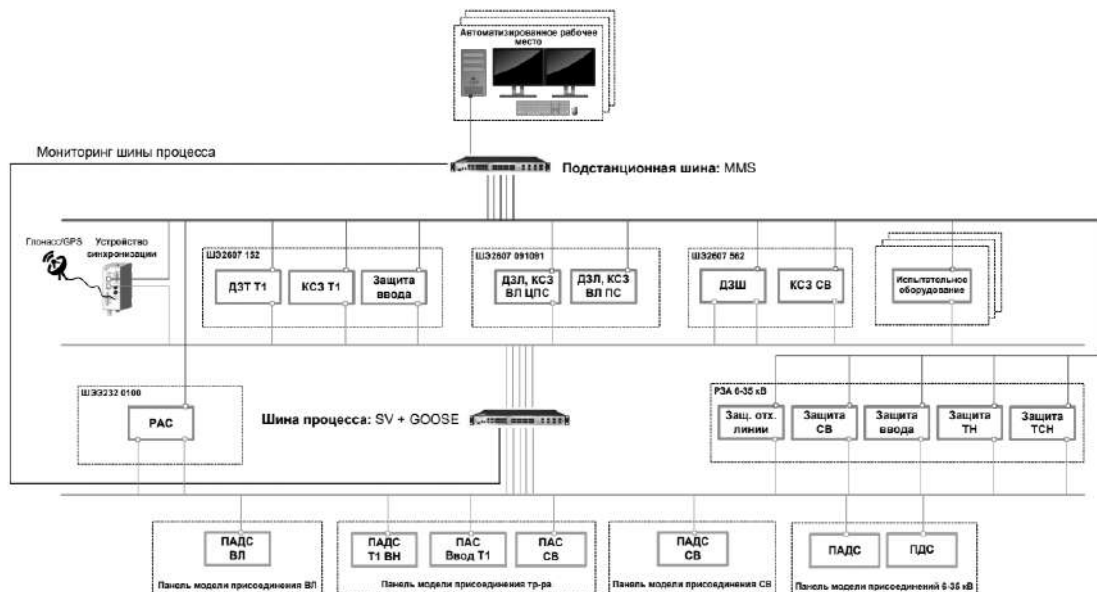


Рис. 5. Пример внедрения комплекта РЗА

Пример схемы цифровой подстанции представлен на рис. 5. Созданная на основе силовой подстанции 35/6 кВ схема, показывает взаимодействие конкретных блоков ПС. Все блоки подключены к трем уровням присоединения, которые в свою очередь, разделены двумя шинами: шина процесса и подстанционная шина. После чего вся собранная информация передается на автоматизированное рабочее место, где, в свою очередь, проводится мониторинг шины процесса и специально обученным персоналом осуществляются определенные решения.

Таким образом, цифровые подстанции – это современная и эффективная система, с помощью которой можно организовать процесс передачи энергии наиболее эффективным способом. Используя данную систему, можно сократить затраты на обслуживание, монтаж и установку аналоговых конструкций. Проводить непрерывный мониторинг, наиболее точную диагностику. Все это может своевременно оповестить диспетчера о возможной проблеме и, соответственно, заблаговременно среагировать.

Список использованной литературы

1. Типовые учебные комплекты «Цифровая подстанция» // ООО НПП «ЭКРА», 2022.
2. Функционирование и развитие электроэнергетики в эпоху цифровизации / Н. Д. Рогалева. — Москва, 2021.
3. Сергеевич, В. Е. Реконструкция подстанции с применением МЭК 61850 / В. Е. Сергеевич, Г. А. Вячеславович; ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет». — Чебоксары.
4. ПАО «ФСК ЕЭС», Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС // Стандарт организации. — 2020.

УДК 621.31

Дмитренко А. В.¹, Лесных Е. В.¹, Лесных А. С.², Корнеев М. В.¹

¹Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск

²Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

ВЫБОР СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА КОНТИНЕНТЕ ЕВРАЗИЯ

г. Новосибирск

Аннотация. На эффективность технических объектов энергетики значительное влияние оказывает не только стоимость их сооружения, но и место их расположения на Евразийском пространстве, а также наличие грузораздельного пункта, где по ходу движения с запада на восток или с востока за запад на железнодорожном транспорте порожнее направление меняется на груженое. Наиболее эффективны ветровые электростанции в западной и восточной части Евразии. Для минеральных источников энергии вырабатываемая электрическая энергия из крупных городов передается в сельскую местность, а для ветровых электростанций — из сельской местности в крупные города.

Ключевые слова: ветровые электростанции, грузораздельный пункт, зеленая энергетика.

Dmitrenko A. V.¹, Lesnykh E. V.¹, Lesnykh A. S.², Korneev M. V.¹

¹Siberian Transport University, Novosibirsk

²Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

CHOICE OF MANAGEMENT METHODS OF ENERGY RESOURCES FLOW ON THE EURASIA CONTINENT

Novosibirsk

Abstract. The efficiency of technical energy facilities is significantly influenced not only by the cost of their construction, but also by their location in

the Eurasian space, as well as by the presence of a cargo separation point, where, in the course of movement from west to east, or from east to west on railway transport, the empty direction changes to the loaded one. The most efficient wind farms are in the western and eastern parts of Eurasia. For mineral energy sources, the generated electric energy from large cities is transferred to rural areas, and for wind power plants from rural areas to large cities.

Keywords: *wind power plants, cargo separation point, green energy.*

В современных условиях технического прогресса достижения каждой страны в значительной степени создаются за счет возможности обеспечения населения и предприятий энергетическими ресурсами. Наличие дешевой энергии позволяет странам мира с меньшими затратами достигать роста объемов производства, в большей мере обеспечивать удовлетворение потребностей населения стран мира.

В Средневековье с 1500 года Испания и Португалия стали самыми сильными странами мира, так как сумели эффективно использовать силу ветра для движения парусных судов по морям и океанам. В последующем, с 1600 года, Англия стала самой могучей страной мира, так как стала эффективно использовать тепловую энергию угля. С 1860 года США в быстрые сроки стали самой богатой страной мира, так как начали в повышенных объемах добывать и использовать на практике энергию крупных месторождений дешевых полезных ископаемых нефти.

В современных условиях за счет достижений в энергетике Россия с ее богатыми месторождениями полезных ископаемых, возможностью эффективного использования энергетических ресурсов за счет удобного размещения электростанций на территории большой страны, а также в целом на Евразийском пространстве таких успехов может достичь и наша страна.

В новой обстановке стоит вопрос о разработке научной теории, позволяющей в случае ее применения в практической деятельности России достичь высоких экономических показателей за счет использования ее энергетических ресурсов. В создавшихся условиях необходимо учитывать особенность местности для различных районов России, использование которых позволит достигать высоких экономических показателей развития страны, по сравнению с другими странами мира.

При оценке вложений в технические объекты по выработке электрической энергии необходимо учитывать не только их возможности, но и также стоимость в момент создания. Необходимо также учитывать особенности затрат на выработку электрической энергии отдельно для зеленой энергетики и отдельно для источников, загрязняющих окружающую среду. Для России с ее огромной территорией необходимо также учитывать эффективность мест размещения новых технических объектов по выработке электрической энергии в различных частях большой страны.

В рассматриваемой статье будет учитываться особенность мест нахождения различных технических объектов ветровых источников энергии на территории большой страны, такой как Россия, с учетом размещения на Евразийском пространстве других технических объектов по выработке электрической энергии.

При оценке эффективности принимаемых решений необходимо учитывать характер размещения объектов полезных ископаемых с энергетическими ресурсами в городской или сельской местности.

При оценке эффективности затрат в энергетику с позиции экономики имеется существенное различие в передаче на дальнее расстояние на железнодорожном транспорте грузевого и порожнего направлений следования вагонопотоков. Необходимо также учитывать, что имеются как крупные города с большой потребностью в электрической энергии, так и сельская местность с малой потребностью в энергетических ресурсах.

В новых условиях при наличии огромной территории и крупных месторождений полезных ископаемых Россия будет иметь возможность в выработке огромного избытка электрической энергии. Данные потоки энергии могут быть с успехом направлены на экспорт.

При оценке эффективности затрат необходимо также учитывать, что пункты избытка энергетических ресурсов находятся на значительном расстоянии от пунктов их недостатка в энергии, где проживает большая часть населения каждой страны. В современном мире по инициативе руководителей ряда стран принята программа по преимущественному потреблению электрической энергии от возобновляемых источников, не загрязняющих окружающую среду.

По этой программе в Западной части Европы оказались закрытыми ряд угольных электростанций (ТЭЦ), а также ряд атомных станций.

В создавшихся условиях со стороны стран Западной Европы делается попытка сократить потребление нефти и в связи с этим создать новый вид транспорта — электромобили, электробусы и др.

Производство электрической энергии осуществляется за счет строительства новых ГЭС. Также внедряется в практику повышение выработки электрической энергии путем использования солнечных батарей. Однако практика показала, что ветровые электростанции и солнечные батареи имеют недостатки, которые не обеспечивают в должной мере потребности в электрической энергии, особенно для районов с многочисленным населением, что особенно характерно для стран Западной Европы, а также южной части Восточной Азии.

Для железнодорожного транспорта при перевозке грузов или передаче энергетических ресурсов на большие расстояния было установлено, что для большей части территории России и Евразийского пространства в целом имеется грузораздельный пункт, где по ходу движения с запада на восток или с востока на запад порожнее направление меняется на груженое и где в настоящее время уже происходит смена подвижного состава для продвижения грузов, перевозимых в контейнерах.

Наличие грузораздельного пункта, расположенного по территории России, в том числе и в центральной части Евразийского пространства, окажет существенное влияние на эффективность затрат, связанных с производством и передачей электрической энергии, вырабатываемой от возобновляемых источников энергии, и в первую очередь — ветра.

Практический опыт показал, что для стран Африки более выгодны для практического применения солнечные батареи для выработки повышенных потоков электрической энергии. Для северных районов Сибири и Дальнего востока более эффективным путем обеспечения потребностей хозяйства страны является получение и передача выработанной электрической энергии от ветровых электростанций.

Наличие на Евразийском пространстве грузораздельного пункта, расположенного в России, окажет значительное влияние на эффективность места создания ветровых электростанций, которые возможно располагать в любой точке страны, в том числе и в большинстве областей России.

Из рис. 1 видно, что потоки электрической энергии или энергетических грузов из Кузбасса следуют как на запад, так и на восток на далекое расстояние.

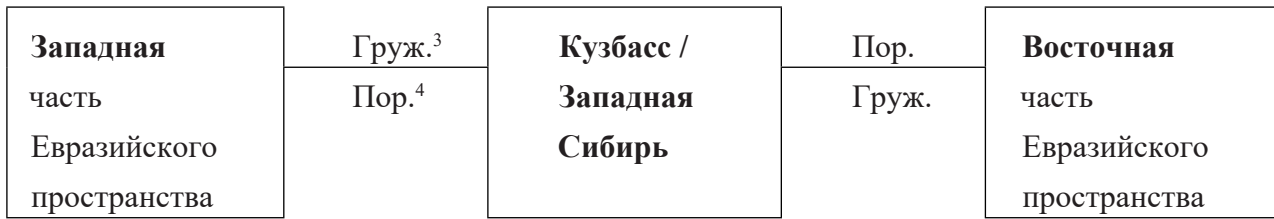


Рис. 1. Наличие грузораздельного пункта на железнодорожном транспорте

Потоки нефти, так же, как и угля, находятся в избытке в северной части Западной Сибири, аналогично Кузбассу. С данного грузораздельного энергетического пункта при наличии нефти и газа грузопотоки с Уренгоя следуют во все направления: как на запад, так и на восток, а также в южную часть России и преимущественно в Китай и другие страны Евразийского пространства. Избыток электрической энергии в грузораздельном пункте, расположенном в Западной Сибири, окажет значительное влияние на эффективность сооружения новых источников выработки электрической энергии, ветровых станций, расположенных на различном расстоянии на территории стран Евразии от грузораздельного пункта.

Следует также учесть, что строительство ветровых электростанций требует значительной территории. Их сооружение эффективно будет осуществлять только в сельской незаселенной местности, вдали от крупных населенных пунктов (рис. 2).

Электрическая энергия по характеру ее производства и потребления для минеральных и зеленых источников энергии значительно различаются между собой (рис. 2).

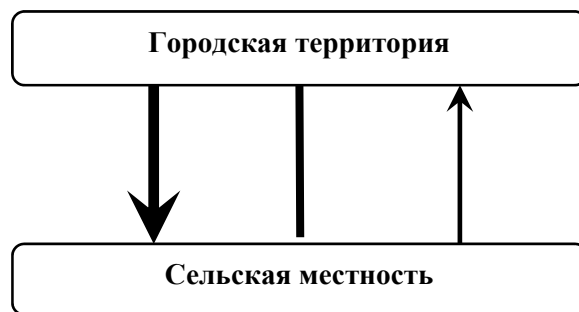


Рис. 2. Направление потоков электрической энергии для городской и сельской местности: \rightarrow — потоки электрической энергии, получаемой из минеральных источников; \uparrow — потоки электрической энергии, получаемой от ветровых станций

³ Груж. — груженое направление следования вагонопотоков.

⁴ Пор. — порожнее направление следования вагонопотоков.

В первую очередь ветряные электростанции наиболее эффективно располагать на самой удаленной территории от грузораздельного пункта, расположенного в Западной Сибири в районе Кузбасса. Это справедливо для самых западных районов России, а также всего Евразийского пространства. Размещение ветровых электростанций на западной границе будет давать наибольший экономический эффект от их строительства на всем Евразийском пространстве. Также это эффективно на самой восточной части материка Евразия, расположенной на побережье Тихого океана.

По мере удаления от океана или приближения к грузораздельному пункту будут в меньшей степени сокращаться затраты, связанные с передачей из грузораздельного пункта ближе к окраинам страны.

С учетом наличия грузораздельного пункта, а также различных территорий на Евразийского пространства, избытки или недостатки в потреблении электрической энергии при наличии минеральных ресурсов будут иметь следующие характеристики:

1. Избытки энергетических ресурсов для минеральных источников имеют место на континенте в районе Кузбасса, в Западной Сибири, в местности грузораздельного пункта.

2. На современном этапе руководители многих западных стран мира проводили политику на исключение из производственного процесса электрической энергии, вырабатываемой из источников, загружающих окружающую среду.

Получение и дальнейший порядок использования электрической энергии значительно отличаются для следующих условий:

- 1) отдельно для городской и отдельно для сельской местности;
- 2) для минеральных источников и особенно нефти и угля, а также и возобновляемых источников энергии, преимущественно ветровых электростанций;
- 3) для мест основного производства и особенно потребления электрической энергии;
- 4) учет влияния грузораздельного пункта на эффективность мест установления новых технических объектов по выработке электрической энергии.

Производство электрической энергии.

Электрическая энергия минеральных источников вырабатывается в крупных городах в ТЭЦ и частично передается в сельскую местность.

Дальность передачи для минеральных источников из городской и сельской местности имеет малую величину.

Для ветровых электростанций электрическая энергия вырабатывается преимущественно в сельской местности вдали от крупных населенных пунктов. Дальность передачи избытка электрической энергии из сел в города имеют большую величину.

Потребление и передача электрической энергии характеризуются определенными особенностями. Потребление электрической энергии по объему зависит от плотности населения на данной территории. В городах потребление электрической энергии в расчете для имеющейся территории имеет большую величину. В сельской местности потребление электрической энергии в несколько раз меньше, чем в городах.

Передача электрической энергии, в том числе и на большие расстояния, осуществляется с малыми затратами на большом напряжении и с высокими экономическими показателями для минеральных источников энергии. Для ветровых станций выработка и передача электрической энергии осуществляется на малом напряжении и с низкими экономическими показателями, а также с высокими эксплуатационными расходами.

Равномерность.

Для минеральных источников энергии электрическая энергия вырабатывается равномерно — как в течение всего периода суток, так и в течение всего периода года в соответствии с характером их потребления населением и предприятиями страны.

Для зеленых источников энергии электрическая энергия вырабатывается неравномерно — как по периодам суток, так и по дням недели, месяца, года. Требуются аккумуляторы и специальные дополнительные преобразования электрической энергии в соответствии с характером потребления населением и предприятиями страны.

На территории страны производство и использование электрической энергии характеризуется определенными особенностями.

Для минеральных источников электрическая энергия вырабатывается в пунктах наибольшего его потребления. Избыток электрической энергии в этом случае передается в сельскую местность с меньшим уровнем ее потребления.

Для зеленых источников энергии с использованием ветровых источников, наоборот, электрическая энергия вырабатывается в пунктах малого ее потребления и передается в большие города с повышенным потреблением электрической энергии на значительные расстояния.

На территории Евразийского пространства электрическая энергия от минеральных источников вырабатывается для большого количества объектов, расположенных преимущественно в Кузбассе — в грузораздельном пункте России. От этого пункта выработанная электрическая энергия передается на большие расстояния и преимущественно в густонаселенные районы с развитой промышленностью, расположенные на морском побережье западной и восточной части территории Евразии.

Для зеленой электрической энергии ее выработка является выгодной только при наличии минеральных источников энергии, вырабатываемой в грузораздельном пункте. Разделение на окраинах областей и на континенте для ветровых электростанций позволяет иметь значительный эффект от данных станций. Близкое расстояние к грузораздельному пункту на Евразийском пространстве дает меньший эффект от сокращения дальности передачи электрической энергии, вырабатываемой ветровыми электростанциями. Таким образом, в случае приближения ветряных электростанций от окраин областей к грузораздельному пункту эффект от ветровых электростанций будет уменьшаться.

Для Евразии северные и восточные районы, расположенные в России, будут иметь максимальный избыток в энергетических ресурсах, который возможно будет преобразовать в водород и морским путем доставлять до пункта назначения. В районе южной части Восточной Азии испытывается острый недостаток в энергетических ресурсах.

В южных районах материка Евразия также будет испытывать недостаток в энергетических ресурсах. Здесь возможно строить тепловые электростанции на минеральных источниках энергии — угле и нефти. Передача электрической энергии в этом случае будет осуществляться на высоком напряжении и на малые расстояния.

Выводы.

1. В энергетических ресурсах для территории Евразии необходимо учитывать наличие грузораздельного пункта с большим избытком электрической энергии, которая будет следовать во все направления.

2. Зеленые источники электрической энергии, особенно от ветровых электростанций, наиболее целесообразно строить в сельской местности вдали от крупных городов.

3. Для минеральных источников электрическая энергия вырабатывается в пунктах наибольшего их потребления. Выработанная в городах электрическая энергия передается в сельскую местность в районы с малым уровнем ее потребления. Обеспечивается высокая степень равномерности как в выработке, так и в потреблении электрической энергии.

4. Для зеленой энергетики энергия должна будет передаваться на большие расстояния в пункты с повышенным потреблением электрической энергии. Электрическая энергия передается в пункты с повышенным уровнем потребления на низком напряжении и с повышенными затратами на ее преобразование.

Список использованной литературы

1. Дмитренко, А. В. Варианты передачи электроэнергии при помощи ветряных электростанций / А. В. Дмитренко, Е. В. Лесных, С. А. Бехер // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт (Юрга, 13–14 февраля 2020 года). — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2020. — С. 34–39.

2. Дмитренко, А. В. Влияние железнодорожного транспорта на порядок передачи электрической энергии на большие расстояния по территории России / А. В. Дмитренко, Е. В. Лесных, С. А. Бехер // Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции (Прокопьевск, 30 апреля 2020 г.). — 2020. — С. 27–32.

3. Дмитренко, А. В. Логистика возобновляемых источников энергии / А. В. Дмитренко, М. В. Корнеев, Е. В. Лесных // Вопросы новой экономики. — 2022. — № 1 (61). — С. 71–79.

4. Климов, А. А. Станции и узлы — перспективное направление развития транспортной науки / А. А. Климов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2007. — № 16. — С. 188–197.

5. Козлова, С. Б. К вопросу усиления пропускных способностей полигонов транспортной сети / С. Б. Козлова // Вестник ЦНИИ МПС. — 1969. — № 6. — С. 25–28.

6. Левин, Д. Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. Монография / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов; Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. — Москва, 2008.

7. Нехорошков, В. П. Железнодорожный транспорт в развитии внешнеэкономической деятельности восточных регионов России. Монография / В. П. Нехорошков. — Новосибирск : Наука, 2011.

8. Нефедова, Л. В. Факторы риска при сооружении энергообъектов на возобновляемых источниках энергии в России / Л. В. Нефедова, А. А. Соловьев, Л. А. Шилова, Д. А. Соловьев // Вестник МГСУ. — 2016. — № 12. — С. 79–90.

9. Dmitrenko A. V., Lesnykh E. V., Bekher S. A., Dmitrenko I. Y., Buryanina N. S. Choosing rational locations for placing wind farms in Eurasia with regard to the railway transport specifics // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 8. Сер. “VIII International Scientific Conference Transport of Siberia 2020” 2020. С. 012004.

10. Dmitrenko A. V., Lesnykh E. V., Becher S. A., Popova N. B., Lesnykh A. S. Establishment of rational points for location of chpp in large cities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. “All-Russian Research-to-Practice Conference “Ecology and Safety in the Technosphere: Current Problems and Solutions”” 2021. С. 012006.

УДК 621.313

Гафарова П. А., Рысев П. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОБЗОР ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТ
МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аннотация. Проблемы электроэнергетики Российского нефтегазодобывающего комплекса на сегодняшний день носят актуальный характер и требуют решения, начиная с основополагающих вещей. Особо важную роль в любом процессе механизированной добычи нефти на любом современном промышленном месторождении занимает погружной электродвигатель (ПЭД).

Таким образом, возникает высокая потребность в оптимизации работы и снижении числа отказов данных двигателей, что приводит нас к выбору и сравнению методов повышения надежности установок с ПЭД. Корректный подбор метода повышения надежности способен существенно ускорить процесс добычи и сохранить, а возможно, и повысить текущую рентабельность разработки.

Ключевые слова: месторождение, нефть, электроснабжение, ПЭД, оптимизация, повышение надежности.

Gafarova P. A., Rysev P. V.

Surgut State University, Surgut

REVIEW OF APPROACHES TO THE IMPLEMENTATION
OF PROTECTION OF THE MINIMUM VOLTAGE
OF ELECTRIC MOTORS OF OIL FIELDS

Abstract. The problems of the electric power industry of the Russian oil and gas complex today are relevant and need to be addressed, starting with fundamental things. A submersible electric motor (SEM) plays a particularly important role in any process of mechanized oil production at any modern industrial field.

Thus, there is a high need to optimize the operation and reduce the number of failures of these engines, which leads us to the selection and comparison of methods for improving the reliability of installations with SEM. The correct selection of a reliability improvement method can significantly speed up the production process and maintain, and possibly increase the current profitability of development.

Keywords: *field, oil, power supply, SEM, optimization, reliability improvement.*

Среди основной группы объектов нефтегазодобывающих комплексов, испытывающих потребность в электроснабжении, выделяются следующие:

- комплексы бурения вертикальных и боковых стволов;
- установки механизированной добычи нефти;
- комплексы сбора и подготовки скважинной продукции;
- системы поддержания пластового давления (ППД);
- установки комплексной подготовки газа;
- вспомогательный комплекс (блочная система дозирования реагента, электролебедки систем скребкования и т. д.).

Среди обширного многообразного комплекса, описанного выше, особо выделяются погружные электродвигатели (ПЭД), применяемые главным образом в установках электроцентробежных насосов (УЭЦН), которые являются основой современной механизированной выработки запасов и встречаются повсеместно на любом актуальном для промышленной разработки месторождении. Как правило, ПЭД представляют собой синхронные или асинхронные электродвигатели специальной конструкции [1].

Кустовые площадки по добыче нефти подключаются к электрическим сетям посредством подстанций напряжением 220/110/6(10) кВ, или 110/35/6(10) кВ, или 35/6(10) кВ.

Аварии в системах электроснабжения оказывают особо пагубное влияние на весь процесс промышленной добычи нефти. Они провоцируют провалы напряжения, перерывы в электроснабжении от нескольких долей секунды до нескольких часов, приводящие к снижению устойчивой и корректной работы электродвигательной нагрузки, что влечет за собой частичные или полные отказы эксплуатации УЭЦН по механизированному фонду скважин нефтегазодобывающего предприятия, оказывая непоправимое влияние на процесс выработки запасов и экономическую рентабельность разработки [2].

Следствие перебоев работе систем электроснабжения — возникновение перерывов работы фонда добычи, снижению отпуска товарного продукта и невыполнения плана-проекта реализации. Статистические данные по нарушениям электроснабжения одного из месторождений Западной Сибири приведены в таблице 1.

Таблица 1. — Данные по аварийным случаям в системах электроснабжения

Показатель	2020	2021	2022	Итого
Кол-во аварий, ед.	263	157	118	538
Потеря выработки, т	8468,8	2780,7	1961,4	13 210,9
Средняя продолжительность нарушения, ч	0,8	11,5	29,1	10,2
Среднее кол-во потерь нефти на одно отключение, т	32,2	17,7	16,6	24,5

Проанализировав все вышесказанное, можно прийти к промежуточному выводу, что проблема устойчивости и потребность в повышении надежности систем электроснабжения нефтегазовых комплексов является актуальной и несет в себе два основных фактора — технологический и экономический.

Одним из актуальных методов, применяемых на нефтепромыслах, является внедрение дополнительной системы защиты минимальных напряжений (ЗМН), контролирующей уровень напряжения и в случае снижения напряжения до критических показателей отключающей ПЭД. К системе ЗМН выдвигается требование селективного и высоконадежного гарантированного срабатывания в случаях фиксации провалов подачи питания. Существуют три основных типа ЗМН, подбираемых исходя из потребностей проекта разработки:

- одноступенчатая;
- трехступенчатая;
- зависимая.

Первая из вышеописанных ЗМН оснащается временной выдержкой (<10 с) и уставкой напряжения в перерасчете от номинальных показателей (<70%). Наибольшие показатели продуктивности одноступенчатая ЗМН проявляет при длительных перерывах напряжения. Выбор уставок данной защиты осуществляется исходя из результатов расчета динамической устойчивости ПЭД.

Трехступенчатая ЗМН применяется главным образом для более полного использования собственного запаса динамической устойчивости ПЭД по напряжению [3]. Третья ступень выбирается исходя из показателей статической устойчивости (95–98%), а временная выдержка первой ступени принимается из расчета времени динамической устойчивости при перерывах питающего напряжения. Оставшиеся уставки подбираются исходя из выражений:

$$U_{\text{ЗМН}i} = U_{\text{cy}} - \sqrt[n]{U_{\text{cy}}^{n-i-1} \cdot (U_{\text{cy}} - U_{\text{ЗМН}(i+1)})^i}, \quad (1)$$

$$t_{\text{ЗМН}i} = \tau_0 \frac{1 - U_{\text{ЗМН}i}}{1 - \frac{U_{\text{ЗМН}i}}{U_{\text{cy}}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{ЗМН}i}$ — установка срабатывания i -й ступени защиты; $t_{\text{ЗМН}i}$ — выдержка времени i -й ступени защиты; U_{cy} — напряжение статической устойчивости электродвигателя; τ_0 — время динамической устойчивости электродвигателя при снижении напряжения до нуля; n — число ступеней защиты.

Последняя и наиболее современная система ЗМН — зависимая. Она реализуется в терминалах микропроцессорных релейных защит ПЭД [4]. Принцип ее работы заключается во введении дополнительной зависимости временной выдержки от показателей остаточного напряжения.

Это позволяет существенно повысить коэффициент запаса устойчивости ПЭД. Расчет ведется по следующему выражению:

$$t(U_0) = \frac{T}{1 - \frac{U_0}{U_s}}, \quad (3)$$

где U_s — уставка срабатывания защиты по напряжению; T — коэффициент кратности времени.

Все рассмотренные выше ЗМН значительно повышают надежность функционирования электродвигателей нефтедобывающих производств.

Однако, несмотря на все достоинства и возможности существующих ЗМН, их внедрение не способно в полной мере учитывать запас динамической устойчивости ПЭД при провалах напряжения, в частности несимметричных, а также другие влияющие факторы.

Представляется перспективным использование для целей ЗМН современных технологий машинного обучения и нечеткой логики. Проверка

применимости данных областей знаний для реализации ЗМН — задача последующих исследований.

Список использованной литературы

1. Абрамович, Б. Н. Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов / Б. Н. Абрамович, Д. А. Устинов, В. Е. Поляков // Нефтяное хозяйство. — 2010. — № 9. — С. 104–106.

2. Гумиров, Д. Т. Повышение надежности работы электроцентробежных насосов и станков-качалок при авариях в питающих сетях предприятий нефтедобычи / Д. Т. Гумиров, В. А. Жуков, В. М. Пупин. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2009. — № 9. — С. 56–66.

3. Ершов, М. С. Адаптация защит узлов электрических нагрузок к потере питания при несимметричных возмущениях / М. С. Ершов, И. О. Рупчев // Промышленная энергетика. — 2004. — № 1. — С. 47–50.

4. Ершов, М. С. Устойчивость промышленных электротехнических систем / М. С. Ершов, А. В. Егоров, А. А. Трифионов. — Москва: ООО «Издательский дом «Недра», 2010. — 319 с.

УДК 621.311.4

Манусов В. З.¹, Иванов Г. В.², Дементьева А. А.²

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

г. Сургут

Аннотация. Рассмотрен эффект применения сверхпроводимости и сверхпроводящих материалов в генераторных установках электростанций.

Ключевые слова: генератор, водород, азот, сверхпроводимость, эффективность генераторной установки.

Manusov V. Z.¹, Ivanov G. V.², Dementieva A. A.²

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

²Surgut state University, Surgut

VECTOR OF DEVELOPMENT OF GENERATOR SETS OF POWER PLANTS

Surgut

Abstract. The effect of the use of superconductivity and superconducting materials in generating sets of power plants is considered.

Keywords: generator, hydrogen, nitrogen, superconductivity, efficiency of the generator set.

В электрогенераторах механическая энергия вращения электромагнита, приводимого в движение турбиной, наводит ЭДС в обмотке якоря. При подключении к обмотке якоря потребителей по последней протекает ток. В результате протекания тока обмотки генератора и активная сталь магнитопровода нагреваются.

Допустимые температуры нагрева обмоток статора и ротора зависят в первую очередь от применяемых изоляционных материалов и температуры

охлаждающей среды. По ГОСТ 533-76 для изоляции класса В допустимая температура нагрева обмотки статора должна находиться в пределах 105 °С, а ротора — 130 °С.

В процессе эксплуатации генераторов изоляция обмоток постепенно стареет. Причиной этого являются загрязнение, увлажнение, окисление кислородом воздуха, воздействие электрического поля и электрических нагрузок и т. д. Однако главной причиной старения изоляции является ее нагрев. Чем выше температура нагрева изоляции, тем быстрее она изнашивается, тем меньше срок ее службы.

Для отвода тепловых потерь, выделяющихся в обмотках, сердечнике статора и вале ротора, а также механических потерь от вращения ротора предусмотрено непосредственное охлаждение обмотки статора дистиллированной водой (дистиллятом), а обмотки ротора и сердечника статора — водородом. Дистиллят в обмотке статора циркулирует под напором, создаваемым насосами охлаждения статора, и охлаждается теплообменниками статора. Охлаждающий водород циркулирует в генераторе под действием двух вентиляторов, установленных на валу ротора, и охлаждается четырьмя газоохладителями, встроенными горизонтально в корпус статора. Отвод тепла, выделяющегося в генераторе, производится четырьмя газоохладителями, установленными внутри корпуса статора вдоль оси машины.

Для увеличения единичной мощности генератора необходимо увеличить плотность тока ротора или статора, для этого необходимо применить:

- более эффективную систему охлаждения, не допускать перегрева активной части ротора, статора и изоляции. При увеличении температуры на 10 °С в 2 раза ухудшаются свойства изоляции;
- для изготовления обмоток статора и ротора генератора — современные материалы с низким активным сопротивлением и высокой допустимой плотностью тока.

Применение водорода для охлаждения генераторов оказывается целесообразным вследствие весьма благоприятных теплофизических его свойств. Теплопроводность водорода в 6,69 раза выше теплопроводности воздуха, а коэффициент теплоотдачи от поверхности к водороду при ламинарном потоке больше, чем у воздуха, в 1,51 раза. Плотность водорода составляет только 0,07 плотности воздуха, водород не вызывает окисления.

При водородном охлаждении заметно уменьшается поверхность охлаждения газоохладителей; благодаря значительно меньшей плотности водорода по сравнению с плотностью воздуха уменьшаются вентиляционные потери в генераторе и потери на трение ротора об охлаждающую среду. Кроме того, благодаря малой плотности водорода почти полностью исчезает шум в работающем генераторе.

Наряду с положительными свойствами водорода как охлаждающего рабочего тела он имеет и отрицательные свойства. Главным отрицательным свойством водорода является его взрывоопасность. Смесь водорода с воздухом взрывоопасна. Поэтому заполнение корпуса генератора водородом или воздухом можно производить только путем полного вытеснения воздуха или водорода каким-то третьим промежуточным газом. В качестве такого промежуточного газа используется углекислый газ или же азот. Так, при появлении водорода в кожухе экранированного токопровода в количестве более 1% в него подают азот, отключают генератор от сети и, не дожидаясь его остановки, приступают к вытеснению водорода из корпуса статора. Содержание кислорода в водороде в корпусе генератора должно быть не более 1,2%, а в поплавковом гидрозатворе, бочке продувки — не более 2%.

Следовательно, применение водорода в качестве охлаждающего рабочего тела позволило значительно улучшить отвод тепла от генераторов по сравнению с воздушным охлаждением и в результате этого повысить их мощность при тех же электромагнитных нагрузках. Например, мощность генератора с воздушным охлаждением при работе с водородным охлаждением увеличивается с 25 до 30 МВт.

Как было указано выше, вторым способом увеличения единичной мощности генератора является изменение его конструкции.

Рассмотрим вариант применения в качестве обмоток сверхпроводников.

В первую очередь рассмотрим возможность изготовления обмотки возбуждения — электромагнита.

Применим для выполнения обмотки возбуждения ВТСП-провод, структура которого включает в себя около десяти слоев, самый тонкий из которых имеет толщину всего 5 нм. Технология производства базируется на современных методах осаждения покрытий и непрерывно совершенствуется, в частности за счет использования цифровых технологий. Характеристика ВТСП-провода представлена в таблице 1.

Сверхпроводящие магниты вполне способны повысить КПД генераторов. В США и Японии уже сконструированы генераторы небольшой мощности, использующие низкотемпературные сверхпроводники.

Таблица 1. — Характеристика ВТСП-провода

Параметр	Значение		
Прочность на разрыв	> 500 МПа		
Предельный диаметр изгиба	< 10 мм	15 мм	25 мм
Ширина провода, мм	4,0	6,0	12,0
Мин. критический ток (77 К, с.п.), А	100–200	150–300	500–700
Стандартное отклонение критического тока	≤ 3%		

Трехфазную обмотку якоря, расположенную в пазах, предполагается также выполнить из ВТСП-ленты. В сверхпроводящем проводе допустима плотность тока, в 10–50 раз превышающая плотность тока в обычном проводнике, что позволит при тех же габаритах генератора повысить нагрузку установки.

ВТСП-катушки возбуждения охлаждаются жидким азотом, а обмотка якоря может охлаждаться парами азота или водой. В этом случае для работы машины требуется криогенная температура, достичь которую можно путем перекачки жидкого азота или с помощью косвенного охлаждения с использованием криокулера. Неподвижность ВТСП катушек позволяет использовать обычный неподвижный криостат и отказаться от скользящих уплотнений.

При использовании эффекта сверхпроводимости и применении сверхпроводящих материалов потери в обмотках генератора можно практически свести к нулю, так как активное сопротивление ВТСП-проводов стремится к нулю, что свою очередь приводит к повышению КПД генераторной установки.

Кроме того, протекающий по сверхпроводящей обмотке возбуждения ток большой силы создает столь сильное магнитное поле, что уже нет необходимости применять стальной магнитопровод, традиционный для любой электрической машины. Устранение стали снизит массу ротора и его инерционность, и, как следствие, уменьшатся габариты всей генераторной установки.

Еще одним положительным эффектом применения сверхпроводимости в генераторах является то, что использование азота позволяет внедрять

ВТСП-генератор в схему выдачи электрической энергии электростанции без изменения технологического процесса собственных нужд электростанции, поскольку азотное хозяйство здесь уже присутствует.

Таким образом, применение на электростанции генераторов с обмотками, выполненными из ВТСП-проводов, позволит увеличить электрические и магнитные нагрузки в элементах устройства и благодаря этому резко сократить их размеры.

Список использованной литературы

1. Ильясов, Р. И. Сверхпроводниковая индукторная электрическая машина с комбинированным возбуждением / Р. И. Ильясов, Д. С. Дежин, И. Н. Дежина. — DOI: 10.24160/0013353800201997746652. — Text : direct // Электричество. — 2019. — № 7. — С. 46–52.

2. Пат. 2692760 Российская Федерация, МПК H02K 1/14 (2006.01) H02K 1/17 (2006.01) H02K 9/19 (2006.01) H02K 55/00 (2006.01) H02K 23/02 (2006.01) H02K 11/00 (2006.01). Сверхпроводящий электродвигатель и генератор: №2016116060: заявл. 25.09.2014 : опубл. 27.06.19 / ФЛЕК Эрл Енох, УАЙТХЭД Эндрю; Доминион алтернетив энерджи, ЛЛК (US). — Текст : непосредственный.

3. Богданов, И. В. Создание устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников / И. В. Богданов, С. С. Козуб, Л. М. Ткаченко, В. И. Шувалов // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Материаловедение и новые материалы. — 2022. — Выпуск 4 (115). — С. 6–17.

4. «С-Инновации»: Общество с ограниченной ответственностью «С-Инновации»: [сайт]. — URL : <https://www.s-innovations.ru> (Дата обращения: 05.04.2023).

5. Антонов, Ю. Ф. Топологический генератор с фазовым коммутатором из высокотемпературных сверхпроводников / Ю. Ф. Антонов // Электричество. — 2010. — № 2. — С. 36–41.

УДК 621.316.7

Рысев П. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

г. Сургут

Аннотация. В исследовании рассматривается процесс регулирования напряжения в распределительных электрических сетях. Дана оценка возможности применения нечеткой логики для регулирования напряжения. Использование нечеткой логики позволило повысить ресурс переключателей РПН трансформаторов за счет меньшего количества переключений и более широкого применения компенсирующих устройств для целей регулирования напряжения.

Ключевые слова: *компенсация реактивной мощности, нечеткая логика, регулирование напряжения, моделирование.*

Rysev P. V.

Surgut State University, Surgut

INTELLIGENT VOLTAGE REGULATION SYSTEM
IN THE DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORK
BASED ON FUZZY LOGIC

Surgut

Abstract. The study examines the process of voltage regulation in distribution electrical networks. The possibility of using fuzzy logic for voltage regulation is evaluated. The use of fuzzy logic has made it possible to increase the life of the RPN switches of transformers due to fewer switches and wider use of compensating devices for voltage regulation purposes.

Keywords: *reactive power compensation, fuzzy logic, voltage regulation, simulation.*

Введение

В процессе эксплуатации электрических сетей возникают задачи оптимального регулирования их параметров. Прежде всего это касается уровней напряжения в узлах сети.

Регулируя уровни напряжения, решают задачи обеспечения наиболее эффективной работы электроприемников, повышения энергоэффективности и снижения износа изоляции.

В распределительных электрических сетях существует весьма ограниченный набор инструментов регулирования напряжения по сравнению с питающими или системообразующими сетями.

По сути все подходы к регулированию напряжения могут быть отнесены или к централизованному, или к местному регулированию [2, 4]. Принадлежность к тому или иному подходу определяется местами установки регулирующих элементов.

Централизованное регулирование в центрах питания реализуется, как правило, путем изменения коэффициента трансформации силовых трансформаторов ктр. Далеко не всегда удается обеспечить требуемые значения напряжений в узлах сети только лишь средствами централизованного регулирования.

В этом случае пользуются местным регулированием, при котором, помимо ПБВ-трансформаторов, также используют средства компенсации реактивной мощности и вольтодобавочные трансформаторы.

Постановка задачи

Устройства РПН трансформаторов, с помощью которых изменяют коэффициент трансформации, являются сложным устройством (рис. 1). Переключатели трансформаторов характеризуются высоким уровнем отказов — порядка 20–30% от общего числа отказов силовых трансформаторов.

Так как РПН является электромеханическим устройством, то при переключениях отпаек происходят коммутации, которые влияют на состояние контактов. Ресурс РПН обычно составляет 100 тыс. коммутаций. Это достаточно много, но при значительных изменениях напряжения и следующих

за ними переключения РПН, устройство вполне может отказаться до истечения срока эксплуатации.



Рис. 1. РПН трансформатора (а) и отказы элементов силовых трансформаторов 110 кВ (б) [1]

Поскольку в электрических сетях России эксплуатируется более 14 000 силовых трансформаторов 35 и 110 кВ [5], индекс технического состояния значительной части которых находится на грани истощения ресурса, то задача снижения износа переключателей РПН является актуальной.

Рассмотрим подход к регулированию напряжения, заключающийся в комбинации использования компенсирующих устройств и регуляторов трансформаторов.

Ввиду того, что ресурс переключателей ограничен, а ремонт весьма затратен, то при регулировании приоритет будет отдаваться компенсирующим устройствам.

Для реализации системы регулирования напряжения применим нечеткий регулятор, который позволит не только учитывать параметры режима электрической сети, но и износ переключателей РПН.

Моделирование

В качестве объекта рассмотрим центр питания с трансформаторами ТДН-16000/110, питающими распределительную сеть 6 кВ.

Для определения границ регулирования напряжения было проведено моделирование режимов распределительной сети в программе RASTRWIN 3 для максимальных и минимальных нагрузок (рис. 2).

При моделировании получен диапазон изменения напряжения на шинах низшего напряжения центра питания. Диапазон изменения напряжения составил $\Delta U = 5,69 - 6,235$ кВ.

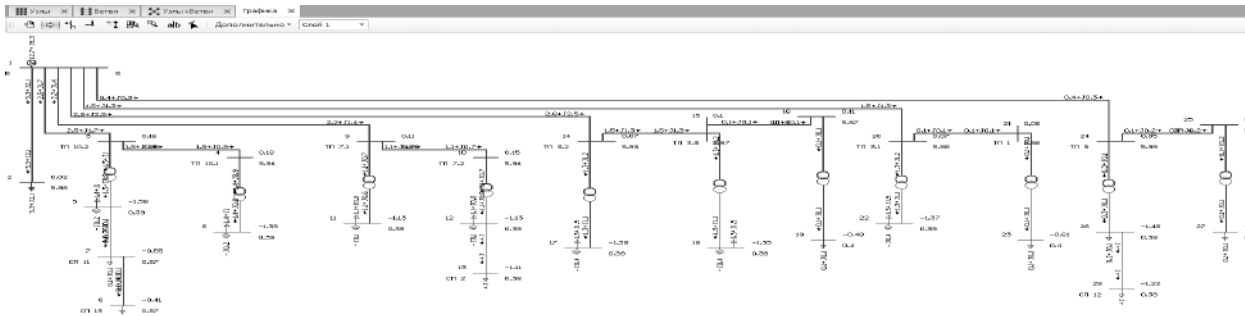


Рис. 2. Расчет режима исследуемой сети в RASTRWIN 3

Далее была реализована Simscare-модель электрической сети (рис. 3). В Simscare была реализована модель центра питания, поскольку диапазоны изменения напряжения известны из моделирования в RASTRWIN 3.

Simscare-модель позволяет представлять электрическую нагрузку постоянной или изменяющейся во времени, напряжение питающей сети — постоянным уровнем или изменяющимся согласно графику, осуществлять регулирование коэффициента трансформации силового трансформатора и компенсирующих устройств.

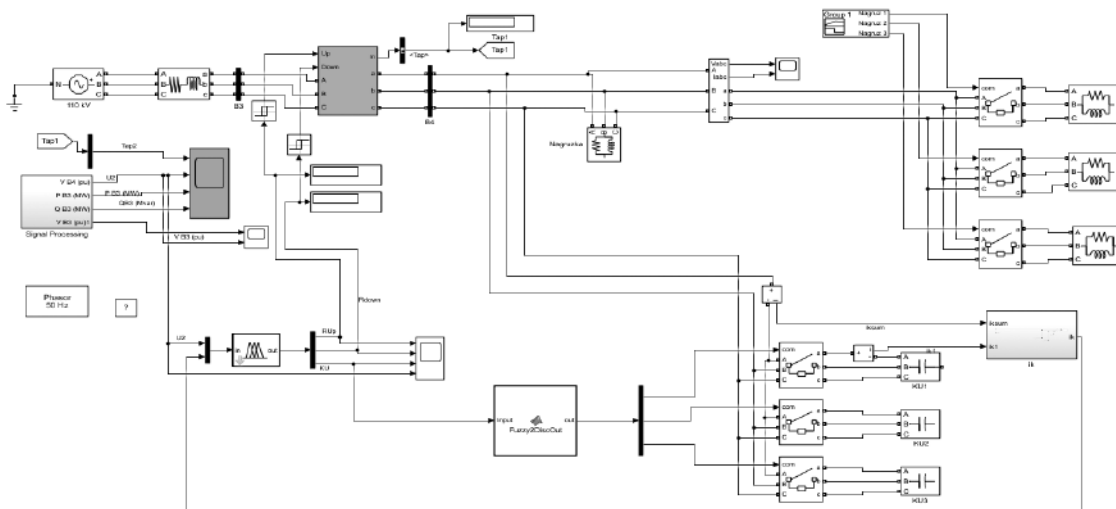


Рис. 3. Simscare-модель центра питания

При выборе способа размещения компенсирующих устройств было решено остановиться на централизованной компенсации, при которой источники реактивной мощности подключаются к шинам 6 кВ центра питания. Такое решение обусловлено задачей обеспечить меньший износ переключателям РПН. Расположение источников реактивной мощности в электрической сети также будет положительно влиять на повышение ресурса РПН, но такой вид размещения является более сложной оптимизационной задачей, которую предполагается решать в рамках последующих исследований.

Источники реактивной мощности регулируемые, со ступенчатым регулированием мощности. Управление ступенями производится нечетким регулятором (рис. 3), реализуемым блоком «Fuzzy».

Для настройки данного блока необходимо определиться с его входами и выходами. Это производится по необходимым сигналам измеренных величин и необходимым управляющим воздействиям.

Входами регулятора являются напряжение на вторичной обмотке силового трансформатора и информационный сигнал о количестве подключенных секций компенсирующего устройства. Выходами — сигналы управления переключателями РПН; сигналы управления ступенями источников реактивной мощности (рис. 4).

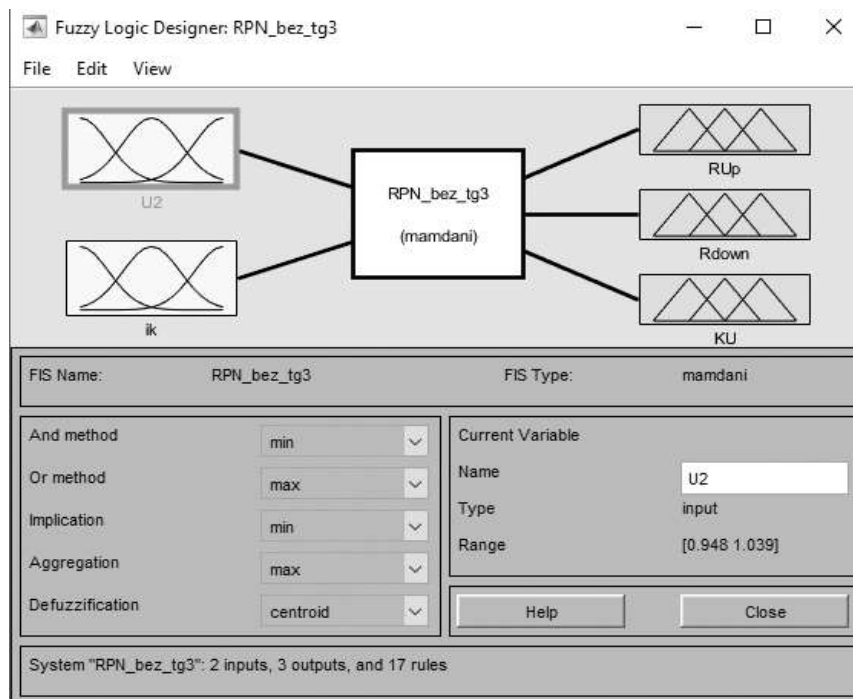


Рис. 4. Структура нечеткого регулятора

При проведении фаззификации параметр «напряжение» был разделен на 5 термов (табл. 1), параметр «включенные КУ» — на 4 (табл. 2). Диапазоны термов были определены исходя из результатов моделирования сети в RASTRWIN 3.

Таблица 1. — Результаты фаззификации параметра «напряжение»

Описание	Терм	U, кВ	U, о.е.
Минимальное	n	< 5,69	< 0,948
Немного пониженное	sn	5,69...5,987	0,948...0,998
Нормальное	z	5,925...6,05	0,988...1,008
Немного повышенное	sp	5,987...6,235	0,998...1,039
Максимальное	p	> 6,235	> 1,039

Таблица 2. — Результаты фаззификации параметра «включенные КУ»

Описание	Терм	Значение
Не подключено	n	< 0,2
Одно КУ	on	0,2...1,2
Два КУ	tw	1,2...2,2
Три КУ	th	> 2,2

Далее были выбраны функции принадлежности. В данном исследовании использовались треугольные (рис. 5) и трапецеидальные функции принадлежности.

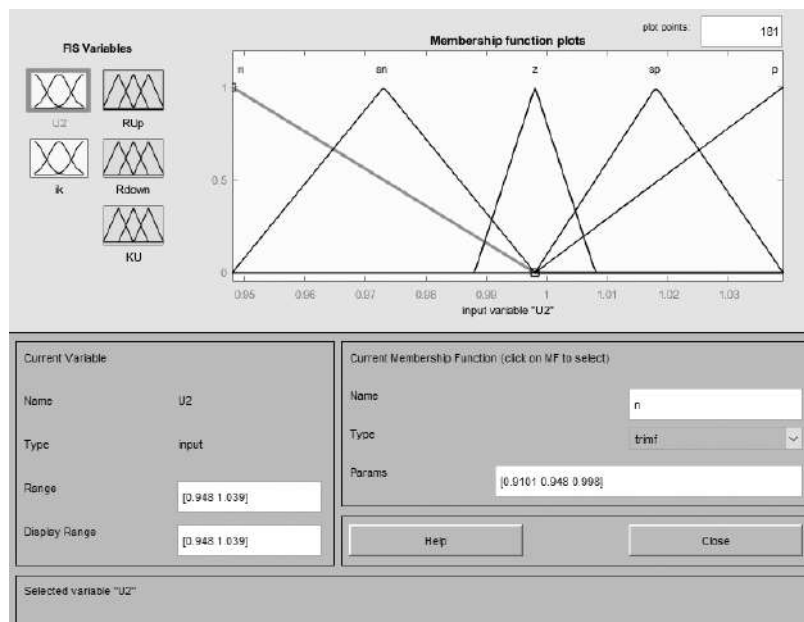


Рис. 5. Функции принадлежности переменной U2

На основании личного опыта, результатов моделирования в ПТК RASTRWIN 3 и задач управления сформирована база правил (рис. 6).

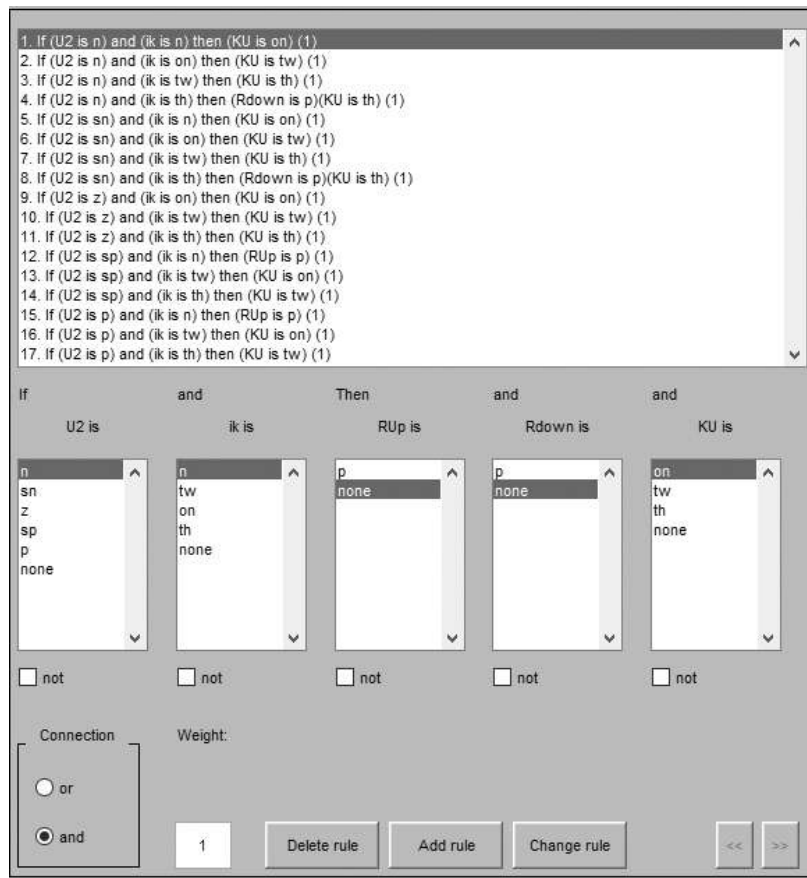


Рис. 6. База правил. Окно редактора

При создании базы правил решалась задача управления средствами регулирования напряжения с максимальным сохранением ресурса переключателей РПН. Поэтому правила прописаны таким образом, чтобы регулирование напряжения в первую очередь осуществлялось на счет подключения ступеней компенсирующих устройств (в данном исследовании использовалось компенсирующее устройство, содержащее три секции).

Таким образом, у компенсирующего устройства всего 4 положения: «Отключено», «Включена 1 ступень», «Включены 2 ступени», «Включены 3 ступени».

С одной стороны, это несколько снижает гибкость системы регулирования напряжения, но с другой — позволяет сделать базу правил весьма компактной (17 правил), что положительно сказывается на быстроте действия и безотказности работы системы.

Результаты и обсуждение

В результате моделирования рассматриваемой системы с различными возмущениями (изменение питающего напряжения, изменение нагрузки) были получены графики изменения параметров без действия нечеткого контроллера и при его действии.

Графики изменения переменных приведены на рис. 7–8.

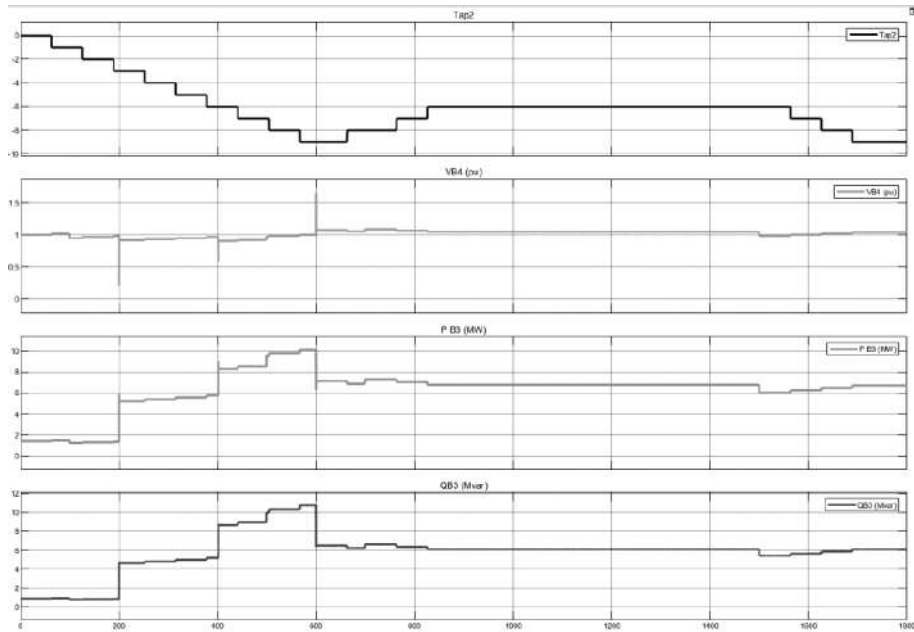


Рис. 7. Результаты моделирования без действия контроллера

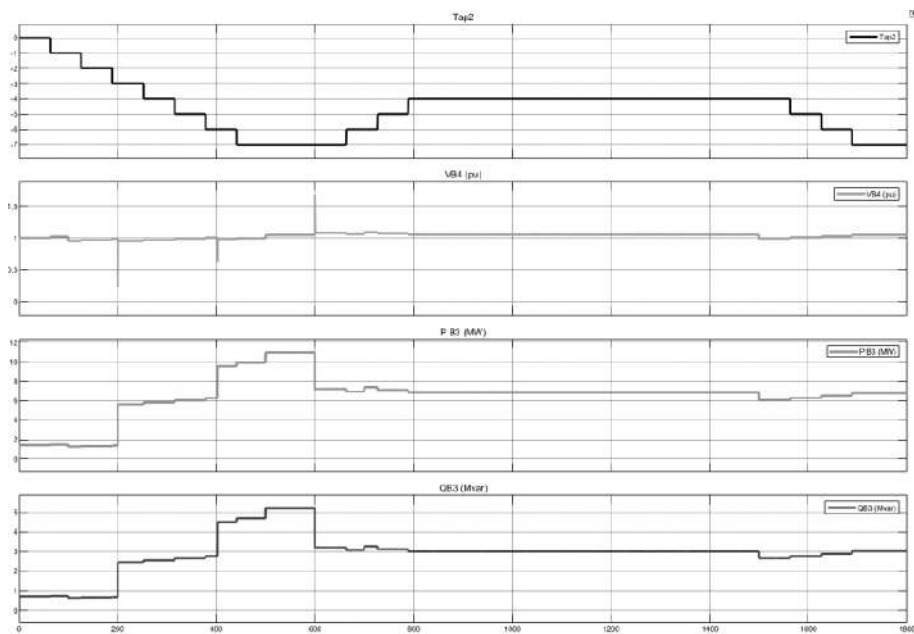


Рис. 8. Результаты моделирования при действии контроллера

Из этих графиков видно, что количество переключений РПН в случае действия контроллера уменьшилось. Необходимо иметь в виду, что при моделировании задавались достаточно «жесткие» условия для системы регулирования напряжения.

При незначительных изменениях напряжения и нагрузки мощности компенсирующих устройств может вполне хватить для регулирования напряжения.

Тем не менее при резких колебаниях напряжения и нагрузки выполнить регулирование напряжения только с помощью компенсирующих устройств не получится. Также нужно иметь в виду, что доступный диапазон изменения реактивной мощности определяется величиной реактивной нагрузки, потребляемой сетью.

Выводы

В работе были показаны достоинства нечеткого регулирования, которое позволяет использовать как жесткую, так и гибкую логику, имеется возможность быстрой перенастройки регулятора.

Применение подхода позволяет повысить ресурс переключателей РПН (до 37% для «спокойного графика»).

Следствием установки дополнительных компенсирующих устройств является снижение потерь мощности и энергии в элементах электрической сети.

Необходимо отметить, что применяемый подход имеет ограничения, связанные с величиной реактивной мощности, потребляемой нагрузкой сети, а также ограничения, накладываемые требованиями устойчивости узлов электрической нагрузки.

При выбранном подходе данные ограничения должны определяться при моделировании рассматриваемой сети в специализированном программном обеспечении и учитываться в процессе фаззификации и создании базы правил.

Список использованной литературы

1. Анализ повреждаемости трансформаторов мощностью 16 и 25 МВА класса напряжения 110 кВ [Электронный ресурс]. — URL: <https://pue8.ru/elektricheskie-seti/623-analiz-povrezhdaemosti-transformatorov-moshchnostyu-16-i-25-mva-klassa-napryazheniya-110-kv.html> (Дата обращения: 03.04.2023).

2. Ананичева, С. С. Электроэнергетические системы и сети : учебное пособие / С. С. Ананичева, С. Н. Шелюг. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 296 с. — URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/76274/1/978-5-7996-2638-9_2019.pdf (Дата обращения: 1.04.2023).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — М. : Стандартинформ, 2014. — 16 с.
4. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов / В. И. Идельчик. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 592 с.
5. Проект РЗА. ПАО «Россети» в цифрах [Электронный ресурс]. — URL: <https://pro-rza.ru/pao-rosseti-v-tsifrah/#:~:text=То%20есть%20количество%20ПС%2035-110,110%20кВ%20около%2010000%20штук> (Дата обращения: 04.04.2023).
6. Сайт программы RASTRWIN 3: офиц. сайт. — URL: <https://www.rastrwin.ru/> (Дата обращения: 10.04.2023).
7. Системы интеллектуального управления на базе нечеткой логики с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox программного обеспечения Matlab/Simulink: метод. указания к лаб. работам / М. С. Пешко. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019.

УДК 621

Шадрин А. О., Старцев И. М.

Уральский государственный университет путей и сообщений,
г. Екатеринбург

РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА
ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ОТРАСЛЕВЫХ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С АСИНХРОННЫМИ КОРОТКОЗАМКНУТЫМИ
ДВИГАТЕЛЯМИ

г. Сургут

Аннотация. Данная работа является продолжением научно-исследовательской работы и статьи «Устройство динамического торможения отраслевых нерегулируемых электроприводов с асинхронными короткозамкнутыми двигателями» и посвящена расчету и выбору оборудования для реализации экспериментального образца с устройством динамического торможения асинхронного отраслевого нерегулируемого электропривода (АОНЭП) с конденсаторным источником тока. Необходимо произвести расчет и выбор защитного и коммутационного электрооборудования, включая необходимое оборудование для устройства динамического торможения с конденсаторным источником тока.

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, нерегулируемый электрический привод, динамическое торможение, конденсаторный источник тока.*

Shadrin A. O., Startsev I. M.

Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg

CALCULATION AND SELECTION OF EQUIPMENT FOR DYNAMIC BRAKING
DEVICE OF INDUSTRIAL UNREGULATORY ELECTRIC DRIVES WITH
ASYNCHRONOUS SHORT CIRCUIT MOTORS

Surgut

Abstract. This work is a continuation of the research work and the article “DYNAMIC BRAKING DEVICE OF INDUSTRIAL UNREGULATORY ELECTRIC DRIVES WITH ASYNCHRONOUS SHORT-CIRCUIT MOTORS” and this work is devoted to the calculation and selection of equipment for the implementation of an experimental sample with a dynamic braking device with a capacitor current source. It is necessary to calculate and select protective and switching electrical equipment, including the necessary equipment for a dynamic braking device of industrial unregulatory electric drives with asynchronous short-circuit motors (AIUED) with a capacitor current source.

Keywords: *asynchronous motor, unregulated electric drive, dynamic braking, capacitor current source.*

1. Выбор испытуемого асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и нагрузочного устройства

Электромеханическая система (ЭМС) экспериментального образца будет состоять из двух асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым (КЗ) ротором типа АИР 160 М6, в качестве датчика механических координат будет использован энкодер Е40S6-500-L-5. Технические характеристики АД с КЗ ротором приведены в таблице 1.

Таблица 1. — Технические характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором АИР160S4

Тип двигателя	АИР160М6
Номинальные параметры:	
Мощность (Pном), кВт	15
Частота вращения (n), об/мин	970
КПД (η), %	89

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	0,81
Схема соединения обмоток статора	Δ/Y
Линейное напряжение на статоре ($U_{\text{лином}}$), В	380/660
Линейный ток статора ($I_{\text{лином}}$), А	31,6
Ток холостого хода ($I_{\text{хх}}$), А	19
Кратность пускового тока ($I_{\text{п}} / I_{\text{лином}}$)	7
Кратность пускового момента ($M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$)	2
Кратность максимального момента ($M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$)	2,1
Момент инерции ($J_{\text{ал}}$), $\text{км}^2 \cdot \text{м}^2$	0,075
Исполнение IP	55

2. Расчет и выбор защитно-коммутационной аппаратуры

Для осуществления выбора защитно-коммутационной аппаратуры необходимо произвести расчет номинальных и максимальных значений параметров.

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} * U_{\text{лин}} * \cos \varphi * \eta} = \frac{15000}{\sqrt{3} * 380 * 0,81 * 0,89} = 31,65, \text{ А} \quad (1)$$

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} * 7 = 31,65 * 7 = 221,56, \text{ А} \quad (2)$$

При выборе электромагнитного пускателя необходимо отдать предпочтение пускателям с категорией применения АС-3, которая позволит коммутировать ток в 5–7 раз больше, чем номинальный.

Согласно приведенным выше расчетам и критериям подходит электромагнитный пускатель КМИ-2310 (32 А) и дифференциальный автоматический выключатель АВДТ 34 (С32). Тип С автоматического выключателя предполагает допустимое превышение по току в пике в 5–10 раз.

3. Процесс зарядки конденсаторов. Расчет и выбор оборудования для устройства динамического торможения. Экспериментальная часть

Для обеспечения зарядки конденсатора от сети переменного тока необходимо реализовать следующие мероприятия: установить диод последовательно с конденсатором, установить токоограничивающий резистор для защиты диода, так как напряжение на обкладках конденсатора будет равняться амплитудному значению питающей сети.

На рис. 1 и рис. 2 приведены расчетная схема заряда конденсатора и график процесса заряда конденсатора.

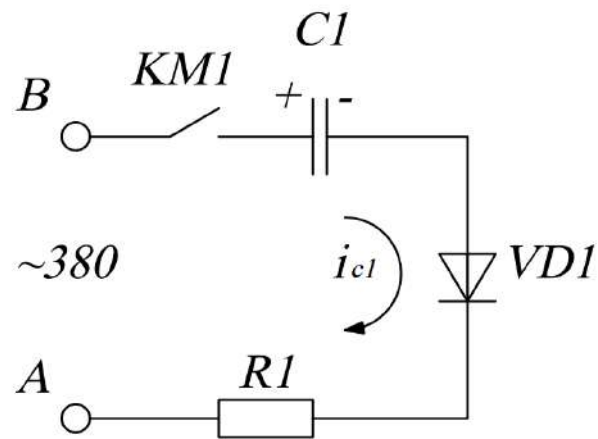


Рис. 1. Расчетная схема заряда конденсатора

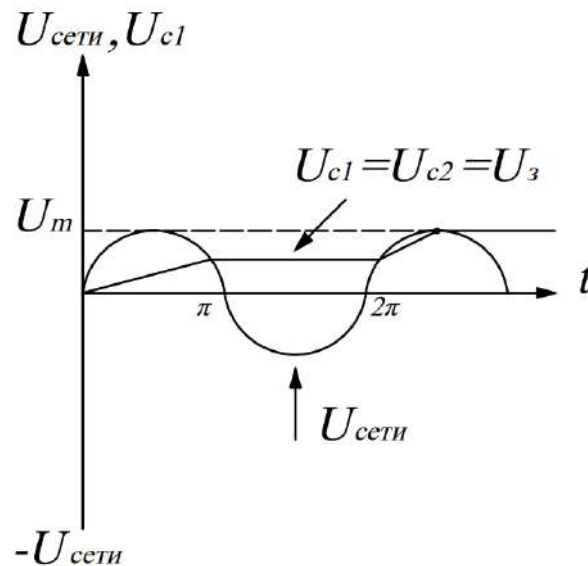


Рис. 2. График процесса заряда конденсатора

Заряд конденсатора $C1$ происходит по первой цепи: фаза «В» — $C1$ – $VD1$ – $R1$ — фаза «А» при положительной полуволне переменного линейного напряжения U_{BA} , диод $VD1$ выполняет функцию неуправляемого однополупериодного выпрямителя. Сопротивление резистора $R1$ определяет ток заряда конденсатора $C1$ и, соответственно, время заряда конденсатора $C1$. Интенсивность заряда конденсатора характеризуется постоянной времени $T_{C1} = R1 * C1$. К диоду $VD1$ прикладывается отрицательная полуволна линейного напряжения U_{BA} . Максимальная величина прикладываемого обратного напряжения к диоду $VD1$ равна амплитуде линейного напряжения сети

$U_{л} = \sqrt{2} * U_{л}$. При напряжении 380 В максимальное напряжение на диоде VD1 равно:

$$U_{VD1} = K_{OH} * K_3 * \sqrt{2} * U_{л} = 1,1 * 1,05 * 1,41 * 380 = 619 \text{ В} \quad (3)$$

$K_{OH} = 1,1$ — коэффициент, учитывающий отклонение напряжения трехфазной питающей сети; $K_3 = 1,05$ — коэффициент запаса, учитывающий разброс параметров элементов цепи заряда конденсатора; $U_{л} = 380$, В — эффективное значение линейного напряжения между фазами «В» и «А».

Заряд конденсатора С2 происходит по второй цепи, которая аналогична первой: фаза «В» – С2 – VD2 – R2 — фаза «С». Методика расчета токов, сопротивлений и максимального обратного напряжения U_{VD2} аналогичны расчету первой цепи с конденсатором С1.

Расчет емкости конденсатора, необходимой для реализации динамического торможения с заданной интенсивностью, производится с учетом сопротивления обмоток статора электродвигателя постоянному току ($R_{обм} \approx 1 \text{ Ом}$). Для получения удовлетворительного торможения величина постоянного тока ($I_{дт}$) должна в 4–5 раз превышать ток холостого хода (I_{xx}) асинхронного двигателя.

$$I_{дт} = (4 \dots 5) * I_{xx} = 76 \text{ А} \quad (4)$$

Общее сопротивление:

$$R_{общ} = \frac{U_{л}}{I_{дт}} = \frac{380}{76} = 5 \text{ Ом} \quad (5)$$

Дополнительное сопротивление:

$$R_{доп} = R_{общ} - R_{обм} = 4 \text{ Ом} \quad (6)$$

Необходимая емкость конденсаторной батареи:

$$C = \frac{3180}{R_{доп}} = 795 \text{ мкФ} \quad (7)$$

При выборе электрооборудования для устройства динамического торможения с конденсаторным источником необходимо учитывать пусковые токи, а также токи динамического торможения, величину напряжения, которое будет на обкладках конденсатора. Для уменьшения значения напряжения

на обкладках конденсатора можно подключать два или более конденсатора последовательно, при этом также будет теряться емкость.

Результаты измерения напряжения и тока в элементах устройства динамического торможения после заряда конденсатора сведены в таблицу 2, а также представлены экспериментальные схемы на рис. 3.

Таблица 2. — Результаты измерения напряжения и тока в элементах УДТ

Напряжение U, В (1 конденсатор)	Ток I, А	Напряжение U, В (2 конденсатора)	Ток I, А	Напряжение U, В (2 конденсатора)	Ток I, А
Uсети = 232 AC	I1 = 0,4	Uсети = 232 AC	I1 = 0,4	Uсети = 402,3 AC	I1 = 0,3
Uvd = 329 AC	I2 = 0,1	Uvd = 329 AC	I2 = 0,1	Uvd = 570 AC	I2 = 0,1
Uc = 329 AC	I3 = 0,1	Uc = 164 AC	I3 = 0,1	Uc = 285 AC	I3 = 0,1
UR = 0	I4 = 0,1	Uc = 164 AC	I4 = 0,1	Uc = 285 AC	I4 = 0,1
		UR = 0		UR = 0	

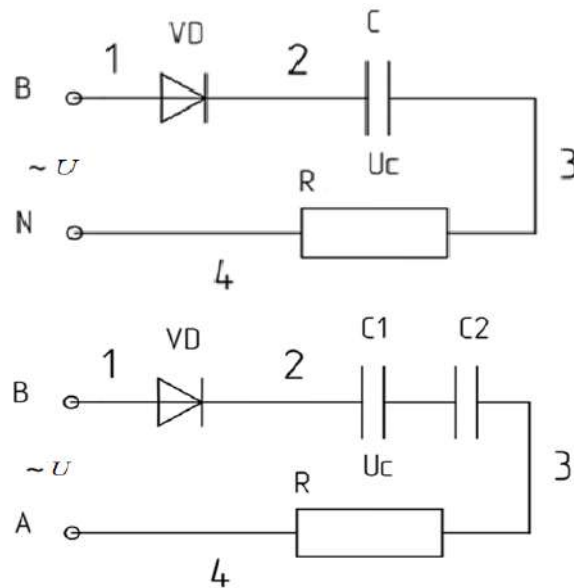


Рис. 3. Электрические схемы экспериментов

Данные эксперименты были проведены для исследования уровня напряжения на обкладках конденсаторов при различных напряжениях сети (Uc — фазное или линейное), а также способах подключения конденсаторов (1 или 2 последовательно). Согласно полученным значениям, появляется возможность упростить задачу по выбору электрооборудования.

В качестве примера можно выбрать конденсаторы CD60 1500, силовые выпрямительные диоды Д132 и резисторы ПЭВ 3 Вт, технические характеристики данных элементов цепи динамического торможения сведены в таблицу 3.

Таблица 3. — Технические характеристики элементов цепи динамического торможения

Конденсатор	
Номинальная емкость	1500 мкФ
Номинальное напряжение	450 В
Диод силовой выпрямительный Д132	
Величина преобразуемого тока	80 А
Напряжение	100–1600 В
Трубчатый резистор ПЭВ-50	
Номинальное сопротивление	110–910 Ом
Предельное рабочее напряжение	1400 В

Список использованной литературы

1. Ковчин, С. А. Теория электропривода: учебник для вузов / С. А. Ковчин, Ю. А. Собинин. — СПб : Энергоатомиздат, 1994. — 496 с.
2. Копырин В. С. Тормозные режимы систем «преобразователь частоты — двигатель) / В. С. Копырин, М. М. Соколов. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 72 с.
3. Прошин, В. М. Электротехника : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. М. Прошин. — 6-е изд. — М. : Издательский центр «Академия», 2017. — 288 с.
4. Розанов Силовая электроника: учебник для вузов / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кваснюк. — 4-е издание. — М. : Издательский дом МЭИ, 2017. 632 с.
5. Устройство для динамического торможения трехфазного асинхронного электродвигателя: а. с. 1690153 СССР.
6. Устройство для динамического торможения трехфазного асинхронного электродвигателя: а. с. 1123083 СССР.
7. Устройство для управления трехфазным асинхронным электродвигателем: пат. 2296415 Рос. Федерации.

УДК 621.316

Шепелев А. О., Ткаченко В. А.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЗАДАНИЯ НАГРУЗОК НА МЕТОДЫ РАСЧЕТА
УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ С УЧЕТОМ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

г. Ханты-Мансийск

Аннотация. В работе рассмотрена задача анализа влияния способа задания нагрузок на методы расчета установившихся режимов (УР) электрических систем (ЭС) с учетом тепловых процессов. Произведена оценка режимных параметров, таких как ток, напряжение, переток активной мощности, и их зависимость от способа задания нагрузок при учете температурных режимов элементов электрических систем. Также в статье проанализирована численная устойчивость методов, учитывающих тепловые процессы в элементах по сравнению с классическими методами, не учитывающими тепловые процессы.

Ключевые слова: *установившийся режим, метод внутренней температурной коррекции, способ задания нагрузок, тепловые процессы.*

Shepelev A. O., Tkachenko V. A.

Yugra State University, Khanty-Mansiysk

INFLUENCE OF THE METHOD OF SETTING LOADS ON THE METHODS OF
POWER FLOW WITH CONSIDERING THERMAL PROCESSES

Khanty-Mansiysk

Abstract. The paper considers the problem of analyzing the influence of the method of setting loads on the methods for power flow (PF) of electrical systems (ES), taking into account thermal processes. An assessment of regime parameters such as current, voltage, active power flow, and their dependence on the method of setting loads, taking into account the temperature regimes of elements of electrical

systems, was made. The article also analyzes the numerical stability of methods that take into account thermal processes in elements in comparison with classical methods that do not take into account thermal processes.

Keywords: *power flow, method of internal temperature correction, method of setting loads, thermal processes.*

Постановка проблемы

В последнее время учет дополнительных факторов, которые могут повлиять на параметры УР ЭС становится все более популярным. С увеличением роли цифровизации в энергетике (особенно учет процессов и явлений в режиме реального времени [1]), растет и число факторов, которые могут быть учтены в ходе расчета режима. Однако учет дополнительных факторов может отрицательно повлиять на устойчивость численных методов, используемых в практике расчета режимов. Одним из факторов, который можно учесть при расчете УР ЭС, является температурный фактор [2; 3; 4; 5]. Фактическую температуру проводника воздушной линии электропередачи можно определить с помощью достаточно простого выражения, описывающего уравнение теплового баланса проводника [3]:

$$\Delta P_0 (1 + \alpha \Theta_{жс}) = d_{np} \left[\pi \alpha_{вын} (\Theta_{внеш} - \Theta_{окр}) + \pi \varepsilon_n C_0 (T_{внеш}^4 - T_{окр}^4) - A_s q_{солн} \right] \quad (1)$$

Взаимосвязь между температурой, потерями активной мощности и сопротивлением в ЭС изучена достаточно хорошо. Температура проводника, хотя она и зависит от множества факторов, таких как температура окружающей среды, скорость ветра, угол атаки ветра, нагрев солнечной радиацией, является главным образом функцией потерь. Аналогично потери в проводнике являются функцией сопротивления, которое, в свою очередь, является функцией температуры. Повышение температуры и сопротивления от температуры наблюдаются во всех известных элементах ЭС [5]. Особенно важно учитывать температурные режимы элементов при проектировании ЭС, прежде всего в регионах с суровыми климатическими условиями (значительные скачки температуры окружающей среды, значительные скорости ветра и т. д.).

Важно отметить, что каждый элемент ЭС имеет свои собственные допустимые значения температурных режимов, которые указываются в техни-

ческих характеристиках и руководствах по эксплуатации. При эксплуатации ЭС необходимо соблюдать рекомендации по температурному режиму, чтобы предотвратить возможные аварийные режимы.

Температурная зависимость активных сопротивлений элементов электрической сети может значительно ухудшить сходимость численных методов расчета установившихся режимов [6]. Также известно, что на сходимость (метода Ньютона и его модификаций) влияет уровень нагрузок [7]. Обычно в общем виде нагрузки задаются с помощью статических характеристик по частоте и напряжению. Но частота в современной энергосистеме РФ изменяется в очень узком диапазоне, поэтому стоит рассматривать только статические характеристики по напряжению.

В данной работе представлен анализ влияния способа задания нагрузок на методы расчета УР ЭС с учетом тепловых процессов в элементах. Рассматриваемая в работе тестовая схема состоит из двух узлов. Решение уравнений УР реализовано на основе метода внутренней температурной коррекции (ВТК) [8].

Теория

Как описано в ряде работ, метод ВТК позволяет считать, что активные сопротивления на каждом шаге постоянны (т. е. при расчете установившегося режима). Таким образом получается, что размерность матрицы Якоби остается такой же, как и при классическом методе Ньютона. Но внутри каждой итерации величина активных сопротивлений (а именно матрица проводимостей) корректируется на каждой итерации с учетом определенной величины температуры элемента. Таким образом, уравнения установившегося режима по методу ВТК будут аналогичны уравнениям невязок, формируемых как в методе Ньютона, с той лишь разницей, что проводимости будут различны на каждой итерации за счет влияния тепловых режимов элементов:

$$\Delta P_i(P_i, U, \delta, \Theta) = U_i^2 g_{\Theta ii} - U_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k U_j (g_{\Theta ij} \cos(\delta_{ij}) - b_{\Theta ij} \sin(\delta_{ij})) + P_i, \quad (2)$$

$$\Delta Q_i(Q_i, U, \delta, \Theta) = U_i^2 b_{\Theta ii} - U_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k U_j (b_{\Theta ij} \cos(\delta_{ij}) + g_{\Theta ij} \sin(\delta_{ij})) + Q_i. \quad (3)$$

Например, температуру провода воздушной линии электропередачи можно оценить по следующим выражениям:

$$\Theta_{i,j} = -\sqrt{\frac{\beta}{2}} + \sqrt{\frac{A_1}{\sqrt{8 \cdot \beta}} - \frac{\beta}{2}} - 273,15, \quad (4)$$

где

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{A_1^2}{16} + \sqrt{\frac{A_1^4}{256} - \frac{A_0^3}{27}}} + \sqrt[3]{\frac{A_1^2}{16} - \sqrt{\frac{A_1^4}{256} - \frac{A_0^3}{27}}}, \quad (5)$$

$$A_1 = \frac{\alpha_{\text{вын},j}}{\varepsilon_n \cdot C_0} - \frac{\alpha \cdot \Delta P_0}{\pi \cdot d_{\text{пр},j} \cdot \varepsilon_n \cdot C_0}, \quad (6)$$

$$A_0 = \frac{(273,15 \cdot \alpha - 1) \cdot \Delta P_0}{\pi \cdot d_{\text{пр},j} \cdot \varepsilon_n \cdot C_0} - \frac{A_s \cdot q_{\text{солн},j}}{\pi \cdot \varepsilon_n \cdot C_0} - \frac{\alpha_{\text{вын},j} \cdot T_{\text{окр}}}{\varepsilon_n \cdot C_0} - T_{\text{окр}}^4. \quad (7)$$

Среднюю температуру обмоток силового трансформатора можно оценить по выражению [9]:

$$\Theta_{\text{обм,ср}} = \frac{\frac{\Delta P_0}{A_m} + \Theta_{\text{окр}}}{1 - \frac{\Delta P_0 \cdot \alpha_{\text{ном}}}{A_m}}. \quad (8)$$

Исходные данные. Параметры исследуемой схемы

Тестовая схема состоит из двух узлов — базисного и нагрузочного — и одной ветви, выполненной сталеалюминиевым проводом марки АС-240/32 (рис. 1). Исходные данные по двухузловой тестовой схеме приведены в таблицах 1 и 2. Параметры окружающей среды представлены в таблице 3. Рассмотренные в работе способы задания нагрузок представлены в таблице 4.

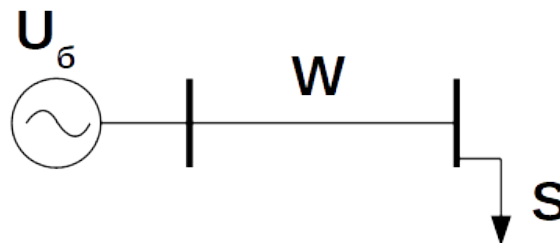


Рис. 1. Схема двухузловой схемы

Таблица 1. — Расчетные параметры провода

Фактический диаметр провода ВЛЭП $d_{пр}$	0,0216 м
Паспортное значение активного сопротивления r_{20}	0,118 Ом/км
Паспортное значение индуктивного сопротивления x_0	0,405 Ом/км
Паспортное значение емкостной проводимости b_0	2,808 мкСм/км
Линейный температурный коэффициент сопротивления \langle	0,00403 °C ⁻¹
Степень черноты поверхности провода Σ_n	0,6
Поглощательная способность провода для солнечной инсоляции A_s	0,6
Длительно-допустимая температура провода $\cup_{доп}$	70 °C [10]

Таблица 2. — Параметры двухузловой схемы

Напряжение базисного узла	$U_1 = 242$ кВ, $\delta_1 = 0$ град.
Номинальное напряжение сети	$U_{ном} = 220$ кВ
Полная мощность нагрузки	$S_{нагр} = 250 + j90$ МВА
Угол атаки ветра относительно провода	$k_v = 1$
Коэффициент затененности провода	$k_{эт} = 0,9$
Угол между осью провода и солнечными лучами	$\phi_s = \pi/2$

Таблица 3. — Условия охлаждения и значения солнечной радиации

Параметр	Численное значение или расчетная формула
Температура окружающей среды $\Theta_{окр}$	0 °C
Атмосферное давление $P_{атм}$	101216 Па
Скорость ветра V	0,6 м/с
Прямая солнечная радиация $q_{s,пр}$	500 Вт/м ²
Рассеянная солнечная радиация $q_{s,расс}$	100 Вт/м ²
Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{вын}$	$\alpha_{вын} = 0,044 \frac{k_v (P_{атм} V)^{0,6}}{(T_{окр} d_{пр})^{0,4}}$
Суммарная солнечная радиация $q_{солн}$	$q_{солн} = k_{эм} q_{s,пр} \sin \phi_s + \pi q_{s,расс}$

Таблица 4. — Способы задания нагрузок

Постоянная мощность	СХН – полином (вариант 1 [11])	СХН – полином (вариант 2 [12])	Постоянное сопротивление	Постоянный ток
1	2	3	4	5
$P = const;$ $Q = const$	$P(U); Q(U)$	$P(U); Q(U)$	$R = const;$ $X = const$	$I = const$

Результаты экспериментов

Были произведены численные эксперименты по расчету установившегося режима двухузловой электрической сети с учетом и без учета температурных режимов элементов при различных способах задания нагрузок. Два способа оценки сходимости методов расчета установившихся режимов. Стоит отметить тот факт, что некоторые способы задания нагрузок не подходят для расчета режимов электрических сетей высоких классов напряжения (110 кВ и выше). И автор не претендует на доказательство этого факта. Произведенные эксперименты лишней раз показывают, что такие способы задания нагрузок, как их задание постоянным сопротивлением и постоянным током, приводят к результатам, не соответствующим технической постановке задачи расчета установившегося режима. По произведенным численным экспериментам видно, что задание нагрузок постоянным током приводит к результатам, значительно отличающимся от других способов задания нагрузок, а затраченное число итераций значительно выше.

Результаты численного моделирования режима двухузловой сети при различных способах задания нагрузок с учетом и без учета тепловых процессов представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5. — Результаты расчета установившегося режима методом ВТК при различных способах задания нагрузок (с учетом температуры)

Способ	U, кВ	$P_{нагр}, \text{МВт}$	$P_{нач}, \text{МВт}$	$\Delta P, \text{МВт}$	$I_{лин}$	$\Theta, ^\circ\text{C}$	k, шт
1	209,65	250	269,37	19,37	726,7	60,52	4
2	210,7	243,45	261,42	18,03	705,1	57,04	4
3	212,43	236,42	252,87	16,43	677,7	52,85	5
4	211,62	240,47	257,69	17,25	692,1	55,03	4
5	212,85	234,02	249,9	15,96	669,4	51,61	5

Таблица 6. — Результаты расчета установившегося режима классическим методом Ньютона при различных способах задания нагрузок (без учета температуры)

Способ	U, кВ	$P_{нагр}$, МВт	$P_{нач}$, МВт	ΔP , МВт	$I_{лин}$	Θ , °С	$k_{ВТК}$
1	211,83	250	266,48	16,48	719,1	-	3
2	212,48	244,67	260,4	15,72	702,4		4
3	213,73	238,72	253,36	14,72	679,7		5
4	213,1	242,16	257,41	15,26	692,1		5
5	213,99	236,52	251,04	14,44	673,3		6

Выводы по проведенному исследованию

В соответствии с произведенными численными экспериментами при различных способах задания нагрузок можно сделать следующие выводы:

1) При расчете установившихся режимов с учетом температурной зависимости активных сопротивлений результат был получен со всеми представленными способами задания нагрузок.

2) Задание нагрузки постоянным током с учетом влияния тепловых процессов в элементах электрической сети является достаточно грубым, поскольку температура проводника составляет около 51,61 °С, что значительно отличается от других результатов (в случае задания постоянной мощности разница составляет почти 10 °С). Однако уровень потерь при таком способе задания нагрузок оказался ниже, чем в остальных способах, но этот факт и не удивителен. Ток, протекающий по линии, в данном эксперименте также оказался значительно ниже.

3) Способы задания нагрузок с помощью СХН полиномами второй степени (2-й и 3-й способы), позволяют получить наиболее точные результаты. И в целом при учете и неучете температурных процессов в элементах данные способы показали устойчивое получение решения.

4) Задание нагрузок постоянной активной и реактивной мощностью показало в целом наименьшее число затраченных итераций, но значительный рост значений мощностей, тока и снижение напряжения в узле нагрузки. Поэтому данный способ стоит рекомендовать только в тех случаях, если неизвестна реальная зависимость потребляемой активной и реактивной мощности от напряжения или если подстанция оборудована трансформатором с устройством регулирования под нагрузкой (РПН).

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (код темы: FENG-2023-0005).

Список использованной литературы

1. Неуймин, В. Г. Внедрение системы мониторинга запасов устойчивости при планировании и управлении электроэнергетическим режимом ОЭС Сибири / В. Г. Неуймин, А. Ю. Останин, А. А. Томалев // Энергия единой сети. — 2019. — № 6. — С. 32–36.
2. Войтов, О. Н. Алгоритм учета температуры провода при расчете потокораспределения в электрической сети / О. Н. Войтов, Е. В. Попова // Электричество. — 2010. — № 9. — С. 24–30.
3. Гиршин, С. С. Математическая модель расчета потерь мощности в изолированных проводах с учетом температуры / С. С. Гиршин, А. А. Бубенчиков, В. Н. Горюнов, Е. В. Петрова // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2009. — № 3 (83). — С. 176–179.
4. Герасименко, А. А. Учет схемно-режимных и атмосферных факторов при расчете технических потерь электроэнергии в распределительных сетях / А. А. Герасименко, Г. С. Тимофеев, А. В. Тихонович // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии. — 2008. — № 2. — С. 188–206.
5. Frank S., Sexauer J., Mohagheghi S. Temperature-Dependent Power Flow // IEEE Transactions on Power Systems, vol. 28, no. 4, pp. 4007–4018, Nov. 2013.
6. Шепелев, А. О. Анализ сходимости численных методов расчета установившихся режимов с учетом температурной зависимости активных сопротивлений / А. О. Шепелев // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России, Сургут, Россия, 23–24 апреля 2020. — С. 153–160.
7. Горнштейн, В. М. Методы оптимизации режимов энергосистем / В. М. Горнштейн, Б. П. Мирошниченко, А. В. Пономарёв, В. А. Тимофеев, А. Г. ; под ред. В. М. Горнштейна. — М. : Энергия, 1981. — 336 с.
8. Гиршин, С. С. Разработка усовершенствованных методов расчета установившихся режимов электроэнергетических систем с учетом температурной зависимости активных сопротивлений ВЛ / С. С. Гиршин, А. О. Шепелев // Электрические станции. — 2019. — № 11. — С. 44–54.

9. Shepelev, A. O. Consideration of Active Resistances Temperature Dependency of Power Transformers When Calculating Power Losses in Grids / A. O. Shepelev, E. V. Petrova, O. A. Sidorov. — DOI: 10.1109/ICIEAM.2018.8728811 // Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM): 4th International Conference, 15–18 May 2018, Russia. — Moscow, 2018. — P. 8728811-1–8728811-5.

10. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. С изменением №1: ГОСТ 839-2019. — М.: ИПК Издательство стандартов. — 2019. — 45 с.

11. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов / В. И. Идельчик. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 592 с.

12. Konyukhova, E. A. Choosing the power of capacitor banks in the electrical networks of industrial plants with taking into account voltage regimes // Электричество. — 1998. — № 1. — С. 18–25.

УДК 621

Шулятицкий С. В., Кондрашкина Е. Г.
Сургутский государственный университет, г. Сургут

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА РАБОТЫ
ТУРБОГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ
ВИБРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Аннотация. Цифровые двойники способствуют стремительному развитию современных компаний последнее время. С помощью них упрощается поддержка технических систем, возрастает эффективность, сокращаются риски ошибок и сбоев, что повышает стабильность работы. Данные возможности позволяют бизнесу максимально повысить доходность от инвестиций, увеличить конкурентоспособность и нарастить и приумножить клиентскую базу.

Ключевые слова: цифровой двойник, вибродиагностика, эффективность, мониторинг, предотвращение, повышение производительности.

Shulyatitsky S. V., Kondrashkina E. G.
Surgut State University, Surgut

TURBOGENERATOR OPERATION
MONITORING SYSTEM BASED
ON VIBRATION CONTROL

Annotation. Digital twins contribute to the recent rapid development of modern companies. They simplify the support of technical systems, increase efficiency, reduce the risk of errors and failures, which increases the stability of operation. These capabilities allow businesses to maximize return on investment, increase competitiveness and grow and multiply their customer base.

Keywords: digital twin, vibration diagnostics, efficiency, monitoring, prevention, performance improvement.

Цифровой двойник позволяет по входным данным оборудования предсказать ключевые параметры объекта. При помощи технологии цифровых двойников возможно решать различные типы задач диагностики состояния объекта, оптимизации работы, предсказания.

Для обеспечения эффективной работы нефтегазодобывающего предприятия в первую очередь необходимо поддерживать основные показатели производственной деятельности на высоком уровне:

- качество и количество продукции;
- скорость обработки данных;
- безопасность производства;
- оптимизация технологических процессов.

Аварии и простои технологического оборудования сильно влияют на данные показатели и снижают эффективность работы предприятия. Поэтому в последние несколько лет обслуживание промышленных систем в их рабочих режимах является одной из основных стратегических проблем, стоящих перед отраслью, от проектирования машины до ее эксплуатации.

Таким образом, диагностическая система необходима для обеспечения бесперебойной и непрерывной работы динамических систем и для повышения их производительности за счет обеспечения большей надежности. Действительно, диагностическая система используется для обеспечения системы управления необходимыми реальными данными рабочего состояния динамической системы в исправном и в неисправном режиме. С другой стороны, диагностическая система должна удовлетворять требования надежности, чтобы избежать практических случаев необнаружения отказа и ложных срабатываний, что означает предотвращение возможных случайных и катастрофических ситуаций. Диагностические системы основаны главным образом на сравнении фактического поведения системы с эталонным, представляющим исправную работу. Это сравнение позволяет выявить поведенческие изменения, вызванные появлением неисправностей.

Кроме того, операторам необходим инструмент прогнозирования для оценки вероятности отказа промышленных систем, чтобы определить их приоритетность ремонта и проверки до того, как произойдет отказ. Следовательно, существует необходимость в разработке объективной модели прогнозирования отказов для энергетического оборудования, основанной

на исторических авариях. Модель поможет операторам предпринять необходимые действия для предотвращения аварийного отказа.

Вибродиагностика является одной из универсальных и продвинутых методов диагностики роторных машин, данный метод необходим для выявления дефектов основанных на анализе элементов оборудования и характеристик вибрации узлов. Изменение параметров вибрации различных элементов роторной машины следует из-за возникших дефектов в ходе эксплуатации.

Следует учесть, что зачастую вибрация является не только признаком, но и причиной развития дефектов. В действительности на производстве возникают случаи, когда вибрация нарастает лавинообразно и на данном этапе требуется экстренная остановка энергетического оборудования для предотвращения разрушения.

В ходе наработки статистического материала по связи между характеристиками диагностических параметров и состоянием объекта по каждому виду оборудования разрабатываются диагностические алгоритмы, включающие в себя также эталонные уровни и правила принятия решения о принадлежности объекта к тому или иному виду технического состояния.

Разработав предиктивную модель производства, необходимо обеспечить ее работоспособность в динамике. Разработчики ПО для взаимодействия с моделями стремятся минимизировать участие человека в процессе. В этом состоит принципиальное отличие цифрового двойника от обыкновенной трехмерной визуализации. Основа данного этапа — обучение и последующее самообучение моделей для выполнения поставленных задач. Машинное обучение является классом методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач. Для построения таких методов используются средства математической статистики, численных методов, методов оптимизации, теории вероятностей, теории графов, различные техники работы с данными в цифровой форме.

Список использованной литературы

1. Извеков, В. И. Проектирование турбогенераторов: учеб. пособие для вузов / В. И. Извеков, Н. А. Серихин, А. И. Абрамов. — М. : Издательство МЭИ, 2005. — 440 с.

2. Klempler, G. Operation and Maintenance of Large Turbo Generators / G. Klempler, I. Kerszenbaum. — Copyright © 2004 Institute for Electrical and Electronics Engineers, Inc. — 580 p. — ISBN 0-471-61447-5.

3. Гольдин, А. С. Вибрация роторных машин / А. С. Гольдин. — М. : Машиностроение, 1999. — 344 с.

4. Барков, А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. — СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. — 169 с.

5. Акт технического расследования причин аварии, происшедшей 17 августа 2009 года в филиале ОАО «РусГидро» — «Саяно-Шушенская ГЭС имени П. С. Непорожного» [Электронный ресурс]/ Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2009. — URL: [http:// www.rushydro.ru/ file/ main/ global/ press/ news/ 8526.html/ Akt_tehrassledovaniya_prichin_avarii_na_SShGES.pdf](http://www.rushydro.ru/file/main/global/press/news/8526.html/Akt_tehrassledovaniya_prichin_avarii_na_SShGES.pdf) (Дата обращения: 5.04.2022)

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

УДК 621

Харитонов К. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
И ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ
СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

г. Сургут

Аннотация. Трансформаторы играют важную роль в бесперебойном электроснабжении потребителей, однако имеют большую стоимость и большие трудозатраты на обслуживание. Аварии на трансформаторах — события сравнительно редкие, но чрезвычайно значительные по своим последствиям. Одной из мер предупреждения аварий является Система мониторинга и диагностики силовых трансформаторов.

Ключевые слова: *электрическая энергия, трансформатор, система мониторинга.*

Kharitonov K. A.

Surgut State University, Surgut

ORGANIZATION OF MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM
FOR MEDIUM VOLTAGE TRANSFORMERS

Surgut

Abstract. Transformers play an important role in the uninterrupted power supply of consumers, but they have a high cost and high labor costs for maintenance.

Transformer accidents are relatively rare events, but extremely significant in their consequences. One of the measures to prevent accidents is the Monitoring and Diagnostics System of power transformers.

Keywords: *electrical energy, transformer, monitoring system.*

Система мониторинга силовых трансформаторов предназначена для решения большого числа задач, таких как непрерывное измерение, регистрация, отображение и сигнализация — как аварийная, так и предупредительная — состояния основных параметров трансформаторного оборудования, таких как контроль температуры масла, контроль напряжения в обмотках и так далее, в том числе в предаварийных и аварийных режимах в процессе эксплуатации, что в свою очередь повышает шансы провести своевременные плановые предупредительные работы для нормальной работы силового трансформатора:

- адаптивное управление тепловым режимом работы трансформаторного оборудования позволяет оперативно реагировать на повышение температуры в любой части силового трансформатора, тем самым понижает шансы на разрушение бумажной изоляции трансформатора или испарения трансформаторного масла;
- автоматическая диагностика и оперативное прогнозирование технического состояния трансформаторного оборудования с помощью математических моделей.

При проектировании объекта «Подстанция 2x160000-220/10/10. Управления по переработке газа. Западно-Сургутское месторождение» управлением энергетики ПАО «Сургутнефтегаз» и специалистами УПГ в технических условиях на проектирование согласно СТО 56947007-29.200.10.011-2008 [1] был проработан вопрос установки Системы мониторинга для двух трансформаторов ТРДЦН-160000/220 на ПС 220/10/10 кВ «Искра».

В Системе мониторинга выполнены следующие основные функции параметров силового трансформатора:

- контроль токов в обмотках высшего напряжения (далее — ВН), среднего напряжения (далее — СН), низшего напряжения (далее — НН);
- контроль напряжений в обмотках ВН, СН, НН;
- контроль температуры верхних слоев масла;

- контроль температуры наиболее нагретой обмотки;
- определение кратности и длительности допустимых перегрузок;
- контроль газосодержания масла;
- контроль влагосодержания масла;
- определение степени старения изоляции;
- контроль активных элементов системы охлаждения, автоматическое управление системой охлаждения по любым алгоритмам, в т. ч. по ГОСТ 11677-85 [2], ГОСТ Р 52719-2007 [3];
- создание и хранение базы данных технического состояния контролируемых объектов, срабатывания аварийной и предупредительной сигнализации с метками времени, привязанными к единому системному времени;
- формирование архивов долговременного хранения диагностической информации.

Система мониторинга выстраивается по трехуровневой схеме.

Уровень I включает в себя первичные датчики и измерительные системы, предназначенные для измерения первичных технологических параметров состояния трансформаторного оборудования.

Уровень II (уровень промышленных контроллеров, блок мониторинга) — это совокупность контроллеров, программируемых реле, которые обеспечивают анализ сигналов, полученных от первичных датчиков и приборов (от уровня I), и дальнейшую передачу информации в цифровом виде на верхний уровень Системы мониторинга (уровень III) или в АСУ ТП (при ее наличии).

Уровень III (системный шкаф) предназначен для обеспечения централизованного приема информации от уровня II, дистанционного конфигурирования и проверки исправности оборудования, визуализации получаемой информации, накопления общего архива баз данных, а также для дальнейшей передачи информации в АСУ ТП (при ее наличии).

Экранная форма интерфейса пользователя разделена на пять основных областей:

1. Электрические параметры.

Контроль электрических параметров реализован в виде визуализации текущих (действующих) электрических параметров и зафиксированных перенапряжений в соответствии с реализованной математической моделью по ГОСТ 1516.3.

2. Изоляция.

Контроль и оценка состояния изоляционных материалов (трансформаторное масло и бумажная изоляция) основаны на прямых измерениях и результатах расчета математических моделей.

3. Вводы.

Контроль и оценка состояния высоковольтных вводов основаны на прямых измерениях и результатах расчета математических моделей.

4. Охлаждение.

Контроль и оценка теплового режима основаны на прямых измерениях и результатах расчета математической модели (тепловой модели трансформатора).

5. Сигнализация.

В области «Сигнализация» выводятся сообщения о срабатывании аварийной и предупредительной сигнализации контролируемого трансформаторного оборудования.

Текущие сообщения Системы мониторинга требуют внимания оперативного персонала для своевременного контроля параметров силового трансформатора.

В зависимости от значимости сообщения разделяются по типам: информационные, предупредительные (подсвечиваются желтым цветом) и аварийные (подсвечиваются красным цветом).

Благодаря данной Системе мониторинга на одном из трансформаторов ТРДЦН-160000/220 ПС «Искра» Управления по переработке газа ПАО «Сургут-нефтегаз» заблаговременно было выявлено превышение концентрации растворенного газа (водорода) в трансформаторном масле, что свидетельствует о наличии частичных искровых, дуговых разрядов внутри бака трансформатора, что, в свою очередь, отрицательно влияет на технические характеристики силового трансформатора и повышает шанс возникновения электрической дуги.

Согласно гарантийным обязательствам заводом-изготовителем был выполнен осмотр активной части трансформатора, в результате которого обнаружено, что гибкий проводник заземления электростатического экрана стержня фазы «А» касается магнитопровода, что вызывало замыкание между активной сталью (магнитопровода) и металлоконструкциями активной части, что, в свою очередь, приводит к разрушению изоляции силового трансформатора.

Таким образом, Система мониторинга в действительности позволила выявить дефект на ранней стадии, быстро принять необходимые меры по устранению дефектов в силовых трансформаторах и избежать значительных затрат на ремонт и замену трансформатора.

Список использованной литературы

1. СТО 56947007-29.200.10.011-2008. Системы мониторинга силовых трансформаторов автотрансформаторов. Общие технические требования.
 2. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
 3. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
 4. ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.
- УДК 621.311.6

УДК 621.311.6

Аков Э. И.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА
ПИТАНИЯ ДЛЯ НЕОБСЛУЖИВАЕМОЙ МАЛОМОЩНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

г. Сургут

Аннотация. Статья посвящена описанию автономного интеллектуального источника питания, рассчитанного на долгосрочное время работы необслуживаемой маломощной электроники. Устройство использует невозобновляемые и возобновляемые источники энергии, включая альтернативный источник энергии в качестве солнечной энергии. Алгоритмом работы источника питания предусматривается заряд накопителей энергии, выбор надлежащего источника энергии для подключения к схеме стабилизации выходного напряжения, формирование и передача информации о текущих параметрах источника и прогнозе выработки энергоресурса.

Ключевые слова: интернет вещей, источник питания, инсоляция, солнечная батарея, аккумулятор, батарея, суперконденсатор, микроконтроллер.

Akov E. I.

Surgut State University, Surgut

DESIGNING OF AN AUTONOMOUS INTELLIGENT POWER SUPPLY FOR
MAINTENANCE-FREE LOW-POWER ELECTRONICS

Surgut

Abstract. The article is devoted to the description of an autonomous intelligent power supply designed for long-term operation of maintenance-free low-power electronics. The device uses non-renewable and renewable energy sources, including an alternative energy source as solar energy. The algorithm of the power supply operation provides for charging energy storage devices, selecting

the appropriate energy source to connect to the output voltage stabilization circuit, generating and transmitting information about the current parameters of the source and the forecast of energy resource generation.

Keywords: *Internet of things (IoT), power supply, insolation, solar battery, accumulator, battery, supercapacitor, microcontroller.*

С развитием технологий IoT стало доступным построить сеть, содержащую десятки и сотни различных датчиков и гаджетов. При нынешних темпах прогресса ожидается, что к 2025 году количество дистанционных беспроводных сенсорных узлов в мире приблизится к 75 миллиардам (рис. 1). Однако для достижения такого результата существует множество нерешенных проблем. Одна из них заключается в обеспечении долговременной автономной работы узлов сети при отсутствии централизованного электроснабжения. Требуется универсальное решение для питания маломощной электроники, которое было бы дешевым, эффективным и независимым с целью удовлетворения потребностей пользователя [1].

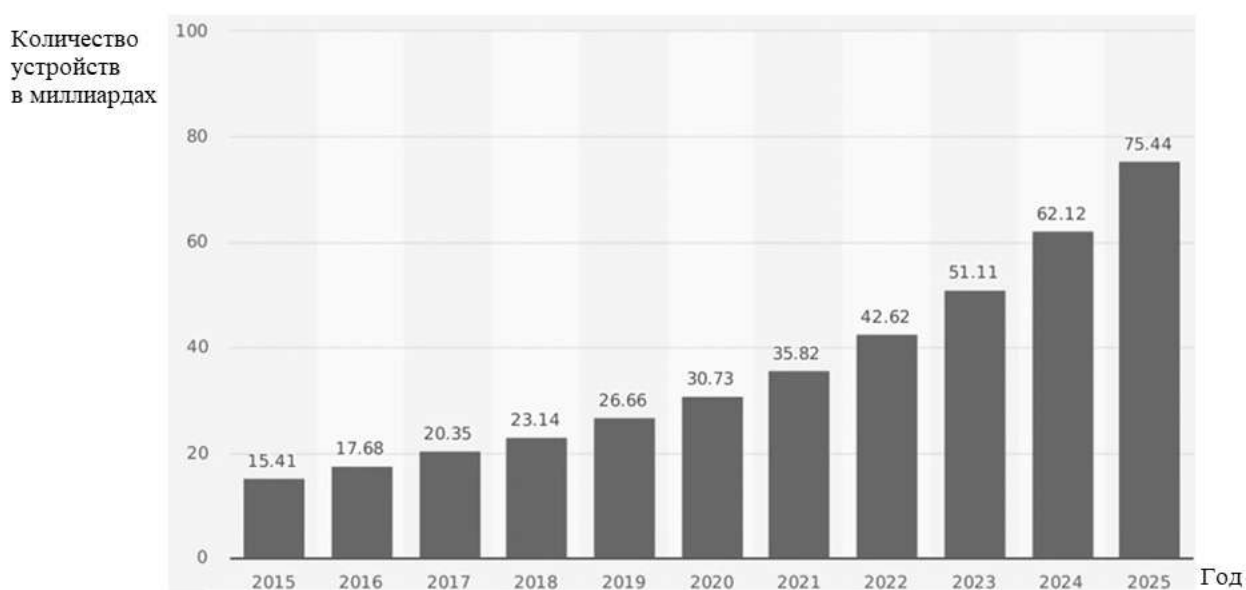


Рис. 1. Диаграмма оценки распространенности IoT-устройств в мире

На сегодняшний день используемые аккумуляторы могут обеспечить длительный срок службы и являются доступными по цене для питания маломощной электроники в необслуживаемых зонах, однако они требуют

периодической зарядки, а по окончании ресурса — замены. Это может оказаться неудобным, затратным или даже невозможным для некоторых удаленных объектов [2].

Длительную бесперебойную работу необслуживаемых устройств могут обеспечивать автономные интеллектуальные источники питания (АИИП). На рис. 2 представлена функциональная схема описываемого устройства.



Рис. 2. Функциональная схема АИИП

В качестве возобновляемого альтернативного источника энергии выбрана солнечная энергия вследствие ее доступности, эффективности и дешевизны в сравнении с другими видами энергии [3]. На рис. 3 представлена диаграмма положения солнца в городе Сургут за летнее и зимнее солнцестояния, что соответствует наиболее и наименее солнечным дням. Из диаграммы следует, что средняя высота солнца над горизонтом за год будет около 30 градусов над горизонтом.

С целью обеспечения необходимого функционала устройства и минимизацией его формфактора на рис. 4 представлена следующая структурная схема [4].

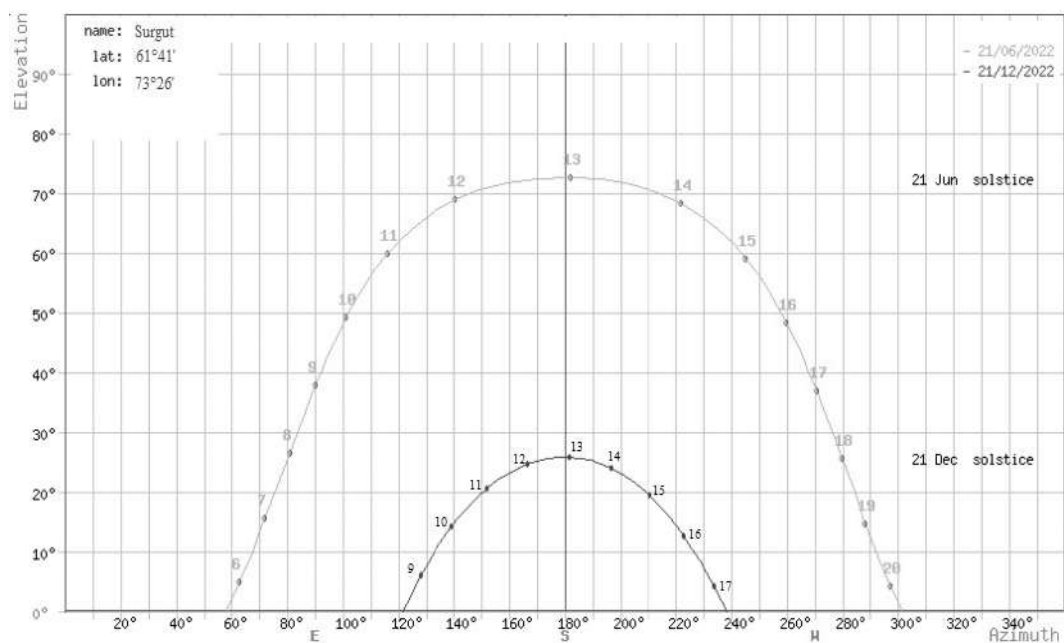


Рис. 3. Диаграмма положения солнца в городе Сургут в дни летнего и зимнего солнцестояния

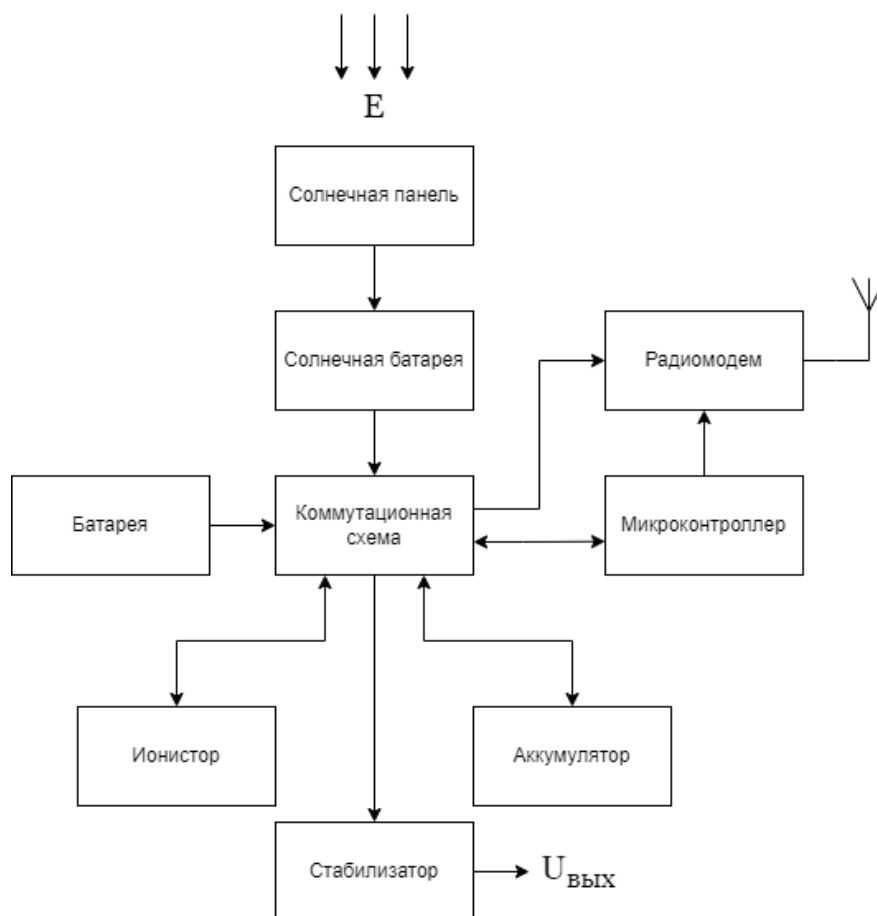


Рис. 4. Структурная схема АИИП

В АИИП для электропитания предусмотрено использование аккумуляторов, солнечных батарей, суперконденсаторов и непerezаряжаемых батарей в качестве резервного источника питания.

Суперконденсатор (или ионистор) — конденсатор большой удельной емкости с низким внутренним сопротивлением, обладающий большим числом циклов заряд/разряд (около 100 тысяч) и стабильно работающий при низких температурах окружающей среды [5].

Аккумуляторы в отличие от ионисторов имеют во много раз меньшее число циклов заряд/разряд, но и меньшее изменение напряжения при разряде. Аккумуляторы имеют большое внутреннее сопротивление, которое значительно зависит от степени заряда и температуры [4].

Описываемый АИИП предполагает в своем составе использование микроконтроллера с радиомодемом для возможности удаленного контроля и получения необходимой информации, такой как прогноз оставшихся энергоресурсов и текущие параметры устройства.

Интеллектуальный функционал устройства обеспечивается следующим алгоритмом (рис. 5). В солнечное время дня электропитание осуществляется от солнечных батарей, в то же время от солнечных батарей производится зарядка суперконденсатора и аккумуляторов. В отсутствие необходимого уровня инсоляции солнечной энергии питание производится от суперконденсатора, а при его полном разряде — от аккумулятора. При израсходовании же энергии солнечных батарей и накопителей питание производится от батарей, одновременно с этим производится измерение напряжения солнечных батарей и накопителей для того, чтобы при наличии энергетического ресурса питание производилось от них. Также для вычисления информации об оставшемся энергоресурсе АИИП происходит запоминание периода работы каждого элемента. В случае достижения критического уровня емкости батарей предусмотрен сигнал сообщения об аварии.

В статье описываются функциональные возможности, состав и алгоритм автономного интеллектуального источника питания, предназначенного для длительной необслуживаемой работы маломощной электроники. Длительная эксплуатация без технического обслуживания обеспечивается за счет использования энергии солнечных панелей, батарей, аккумуляторов и суперконденсаторов. Информация о текущих параметрах ресурса и прогнозе времени работы источника может передаваться по радиоканалу.

АИИП может использоваться для питания периферийных устройств, узлов IoT в метеорологических системах, в системах контроля, измерения и наблюдения в труднообслуживаемых зонах.

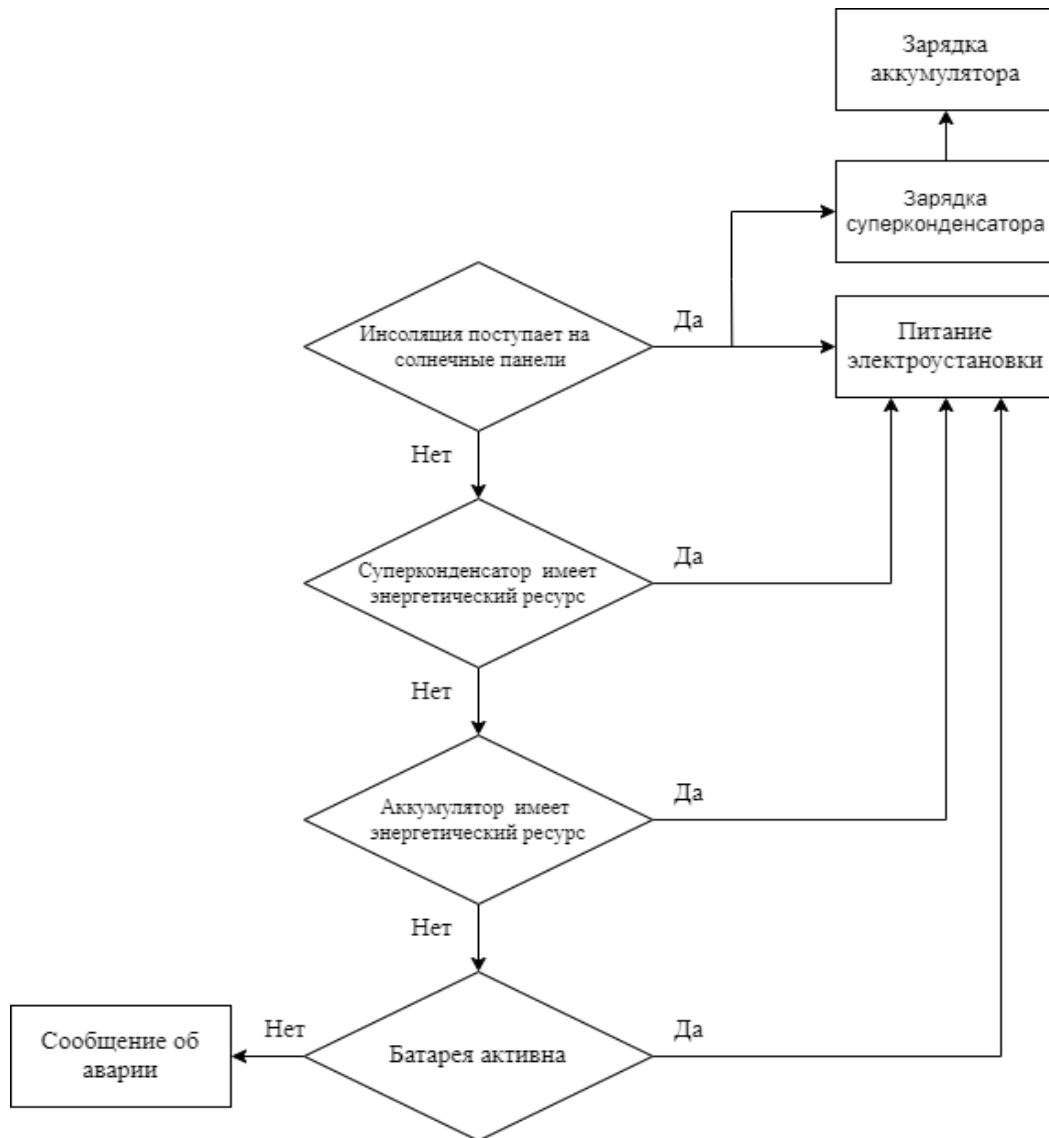


Рис. 5. Алгоритм работы АИИП

Список использованной литературы

1. Рентюк, В. Развитие «Интернета вещей»: проблемы и их решения / В. Рентюк // Беспроводные технологии. — 2019. — № 1 (54). — С. 38–44.
2. Виноградов, П. Ю. Возможные пути решения проблемы надежного электропитания для IoT / П. Ю. Виноградов // Актуальные проблемы

инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018): сборник научных статей: в 4 томах / Под редакцией С. В. Бачевского, составители: А. Г. Владыко, Е. А. Аникевич. Том 3. — Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2018. — С. 79–82.

3. Виссарионов, В. И. Солнечная энергетика / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина. — М. : Издательский дом МЭИ. — 2008. — С. 276.

4. Демко, А. И. Источник питания автономного прибора / А. И. Демко, О. Ю. Семенов // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020: сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции, Сургут, 23–24 апреля 2020 года. — Сургут : Знание-М, 2020. — С. 286–290.

5. 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.

УДК 621.311.4

Манусов В. З.¹, Иванов Г. В.², Петухов И. Ю.²

¹Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

г. Сургут

Аннотация. Рассмотрена математическая модель, позволяющая определить эффективность системы электроснабжения. Модель учитывает такие параметры потребителя, как категория надежности электроснабжения, требования к качеству электрической энергии, мощность и характер потребления электрической энергии.

Ключевые слова: *эффективность систем электроснабжения, категория надежности электроснабжения, показатели качества электрической энергии, график электрических нагрузок, предприятия нефтегазовой отрасли.*

Manusov V. Z.¹, Ivanov G. V.², Petukhov I. Y.²

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

²Surgut state University, Surgut

PERFORMANCE INDICATORS OF POWER SUPPLY SYSTEMS OF OIL
AND GAS INDUSTRY ENTERPRISES

Surgut

Abstract. A mathematical model is considered to determine the efficiency of the power supply system. The model takes into account such consumer parameters as the category of reliability of power supply, requirements for the quality of electric energy, power and the nature of electric energy consumption.

Keywords: *efficiency of the power supply system, category of reliability of power supply, indicators of quality of electric energy, schedule of electrical loads, oil and gas industry enterprises.*

Технологические процессы добычи и транспортировки углеводородов осуществляются при высоком расходе электрической энергии, потребляемая ими мощность может достигать десятков МВ·А. Кроме того, электроустановки предприятий добычи и транспортировки углеводородов размещаются на значительной территории: в составе месторождений может насчитываться более десятка добывающих скважин, расположенных на кустовых площадках, разбросанных по всему месторождению. При этом электрооборудование предприятий указанной отрасли, как и многих других промышленных предприятий, предъявляет повышенные требования к качеству электроэнергии и бесперебойной работе источников питания, поскольку перерыв электроснабжения технологических установок, как правило, приводит к значительным экономическим потерям.

При проектировании систем электроснабжения вновь вводимых в эксплуатацию объектов, так и при реконструкции существующих систем электроснабжения предприятий добычи и транспортировки углеводородов должны учитываться не только обозначенные выше факты, но и то, что в системе электроснабжения предприятия трансформация электрической энергии выполняется несколько раз, поскольку имеются электроприемники разного класса напряжения. Выбор той или иной схемы питания электроустановок предприятий должен осуществляться на основании коэффициентов, характеризующих эффективность системы электроснабжения конкретного предприятия. При этом в нормативно-технической документации и литературных источниках отсутствует четкое определение показателей эффективности систем электроснабжения (СЭС). Опираются такими понятиями, как «качество электроснабжения», «экономичность передачи электроэнергии», «надежность электроснабжения».

Представим показатель эффективности систем электроснабжения в виде математической модели:

$$\sum_1^n I_{эi(t1...t2)} = f(T_{пер}, T_{некач.ЭЭ}, T_{перепр}) \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_1^m (T_{\text{пл}i} + T_{\text{В}i})_{(t_1 \dots t_2)} = T_{\text{пер}} \leq \sum_1^m T_{\text{пер НТД}}(t_1 \dots t_2); \quad (2)$$

$$\sum_1^j T_{\text{некач ЭЭ}i}(t_1 \dots t_2) \leq \sum_1^j T_{\text{некач ЭЭ НТД}}(t_1 \dots t_2); \quad (3)$$

$$\sum_1^k T_{\text{перегр}i}(t_1 \dots t_2) \leq \sum_1^k T_{\text{перегр НТД}}(t_1 \dots t_2); \quad (4)$$

где $\sum_1^n I_{\text{Э}i}(t_1 \dots t_2)$ — издержки, обеспечивающие функционирование рассматриваемой системы электроснабжения;

$1 \dots n$ — количество случаев привлечения средств (издержки) за рассматриваемый промежуток времени;

$1 \dots m$ — количество отключений (плановых и аварийных) за рассматриваемый промежуток времени;

$1 \dots j$ — количество случаев выхода параметров качества электроэнергии за нормы ГОСТ 32144-2013 (с учетом времени выхода, регламентированного ГОСТ) за рассматриваемый промежуток времени;

$1 \dots k$ — количество случаев перегрузки электрооборудования (с учетом времени, регламентированного соответствующей нормативно-технической документацией) за рассматриваемый промежуток времени;

$t_1 \dots t_2$ — рассматриваемый промежуток времени эксплуатации системы электроснабжения, например, один год;

$\sum_1^m (T_{\text{пл}i} + T_{\text{В}i})_{(t_1 \dots t_2)}$ — сумма времени перерывов в электроснабжении потребителей, возникших за промежуток времени $t_1 \dots t_2$ и связанных с плановыми или аварийными отключениями, то есть время плановых отключений $T_{\text{пл}}$ и время восстановления $T_{\text{В}}$ после отказа, ч;

$\sum_1^m T_{\text{пер НТД}}(t_1 \dots t_2)$ — сумма времени допустимых нормативными документами или договорными условиями перерывов в электроснабжении для промежутка времени $t_1 \dots t_2$, ч;

$\sum_1^j T_{\text{некач ЭЭ}i}(t_1 \dots t_2)$ — сумма времени выходов показателей качества электроэнергии за нормативные значения, возникших за промежуток времени $t_1 \dots t_2$, ч;

$\sum_1^j T_{\text{некач ЭЭ НТД}}(t_1 \dots t_2)$ — сумма времени допустимых нормативными документами выходов показателей качества электроэнергии из интервала нормируемых значений для промежутка времени $t_1 \dots t_2$, ч;

$\sum_1^k T_{\text{перегр}i(t_1\dots t_2)}$ — сумма времени аварийной перегрузки электрооборудования, возникшей за промежуток времени $t_1\dots t_2$, ч;

$\sum_1^k T_{\text{перегр НТД}(t_1\dots t_2)}$ — сумма времени допустимыми нормативными документами перегрузок электрооборудования для промежутка времени $t_1\dots t_2$, ч.

В представленной математической модели через временные промежутки $T_{\text{пер}}$ и $T_{\text{некач ЭЭ}}$ опосредованно учитывается потребитель рассматриваемой системы электроснабжения. Временной промежуток $T_{\text{перегр}}$ учитывает режим работы электрооборудования системы электроснабжения.

Показатель $T_{\text{пер}}$ определяется с учетом категории надежности потребителя согласно ПУЭ. По требованиям к качеству электрической энергии возможно определение показателя $T_{\text{некач ЭЭ}}$. Показатель $T_{\text{перегр}}$, относящийся к элементам системы электроснабжения, также можно определить через данные потребителя — через график электрических нагрузок.

Рассмотрим схему электроснабжения предприятия добычи углеводородов.

Источником питания является подстанция 35/6 кВ, расположенная на территории месторождения. Электроснабжение подстанции осуществляется по взаиморезервируемым ВЛ 35 кВ. На подстанции установлено два трансформатора 35/6 кВ мощностью 6300 кВ·А каждый.

ЗРУ 6 кВ подстанции состоит из блочного здания, включающего:

- комплектные ячейки 6 кВ (18 шт.);
- шкаф собственных нужд ПС;
- система отопления, освещения и вентиляции.

Релейные шкафы, шкаф оперативного тока расположены в ОПУ.

От распределительного устройства 6 кВ рассматриваемой подстанции питаются 6 кустов нефтедобывающих скважин.

Кусты скважин отнесены к первой категории надежности электроснабжения. Для приема, преобразования и распределения электроэнергии на каждом кусте располагается двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция, мощность трансформаторов и данные об электрической нагрузке по кустам представлены в таблице 1.

Каждая КТП 6/0,4 кВ питается по двум взаиморезервируемым ВЛ 6 кВ от различных секций РУ 6 кВ. Основными потребителями электроэнергии являются асинхронные двигатели для привода электроцентробежных погружных насосов.

Таблица 1. — Мощность трансформаторов и электрическая нагрузка по кустам скважин

Потребитель	$S_{\text{НОМ}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВ}\cdot\text{Ар}$	$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$P_c, \text{кВт}$	$Q_c, \text{кВ}\cdot\text{Ар}$
К-1	2x1600	1398,0	350,4	1441,2	1118,4	280,3
К-2	2x1600	1216,0	246,9	1240,8	972,8	197,5
К-3	2x1600	1382,0	196,9	1396,0	1105,6	157,5
К-4	2x1600	1301,0	379,5	1355,2	1040,8	303,6

Анализ издержек предприятия на поддержание системы электроснабжения в рабочем состоянии позволил построить соответствующую зависимость (рис. 1).

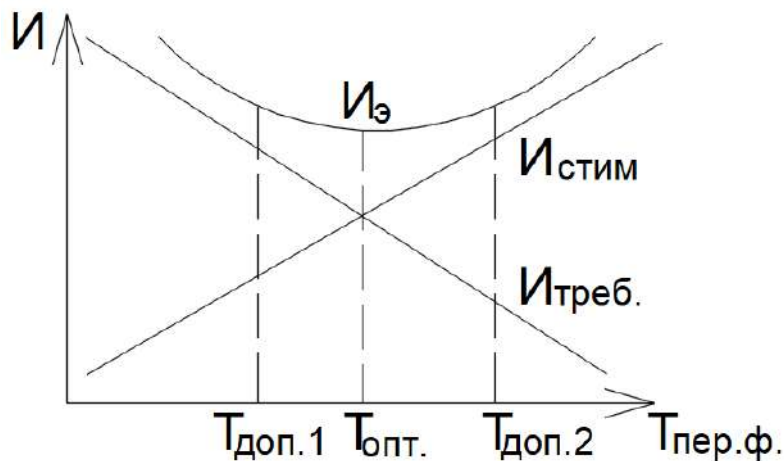


Рис. 1. Зависимость издержек предприятия от времени перерывов в электроснабжении потребителей

Рассмотрим полученную кривую относительно значения времени, соответствующего минимальным издержкам:

- правая часть кривой показывает рост издержек предприятия при увеличении времени простоя электрооборудования, связанного с ремонтами, перегрузками, авариями. Эти издержки направлены на замену оборудования, ремонтные работы, компенсации ущерба, возникшего в результате перерыва электроснабжения потребителей;
- левая часть кривой показывает издержки предприятия, направленные на мероприятия, которые позволят уменьшить время простоя электрооборудования: внедрение систем диагностики электрооборудования, замена устаревшего электрооборудования на современное и т. п.

Следовательно, можно построить зависимость издержек предприятия от различных факторов. По кривым зависимостей можно сделать выводы о соответствии системы электроснабжения требованиям надежности, качества электроэнергии и времени перегрузки электрооборудования.

Рассмотренная модель позволяет математически определить эффективность любой системы электроснабжения и учитывает такие параметры потребителя электрической энергии, как категория надежности электроснабжения, требования к качеству электрической энергии, мощность электроустановок потребителя. Кроме того, по представленной модели выявляется наиболее перспективное (в плане повышения эффективности системы электроснабжения) направление корректировки СЭС.

Список использованной литературы

1. Виноградов, А. В. К определению эффективности систем электроснабжения / А. В. Виноградов // Вестник НГИЭИ. — 2017. — № 7 (74). — С. 26–35.
2. Зацепина, В. И. Зависимости показателей безотказности систем электроснабжения при возмущающих факторах / В. И. Зацепина // Энергообеспечение и строительство : Сборник материалов III Международной выставки Интернет-конференции. В 2 ч. Часть 1. — Орел : Изд-во ООО ПФ «Картуш», 2009. — С. 42–46.
3. Бабаназарова, Н. К. Обоснование весовых коэффициентов показателя эффективности системы электроснабжения предприятия / Н. К. Бабаназарова // Перспективное развитие науки, техники и технологий, Курск, 18 октября 2013 г. — Курск : Закрытое акционерное общество «Университетская книга». — С. 166–169.

УДК 621.314.572

Домахин Е. А., Аниброев В. И., Попов Н. С., Вильбергер М. Е.

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОПОЛОГИЙ И ПОДХОДОВ
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИНУС-ФИЛЬТРОВ
ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПИТАНИЕМ
ОТ МНОГОУРОВНЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ,
ВЫПОЛНЕННОГО ПО СХЕМЕ С Н-МОСТАМИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается электропривод на базе высоковольтного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором с питанием от многоуровневого преобразователя частоты, выполненного по каскадной схеме с Н-ячейками. Питание электродвигателя выполняется через кабельную линию, что совместно с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения приводит к ухудшению показателей качества электроэнергии. В статье рассматриваются три топологии синусного фильтра и подходы к выбору их параметров. На основе разработанной имитационной модели электропривода выполняется сравнительный анализ рассматриваемых топологий.

Ключевые слова: *высоковольтный асинхронный двигатель, многоуровневый преобразователь частоты, синус-фильтр, имитационное моделирование.*

Domakhin E. A., Anibroev V. I., Popov N. S., Vilberger M. E.

Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk

COMPARATIVE STUDY OF TOPOLOGIES AND DESIGN APPROACHES
FOR SINE FILTERS IN HIGH VOLTAGE INDUCTION MOTOR DRIVE FED BY
CASCADED H-BRIDGE FREQUENCY CONVERTER

Surgut

Abstract. The paper deals with high voltage AC induction motor electric drive based on cascaded H-bridge frequency converter. The motor is fed through cable line which in turns with converter output voltage pulse-width modulation leads to electrical energy harmonic distortion. To mitigate harmonic distortion of electric drive system the article considers three ways of sine filter design. Simulation analysis of proposed topologies is done to perform comparative analysis.

Keywords: *high voltage induction motor, multilevel frequency converter, sine filter, simulation modeling.*

Одним из основных компонентов электропривода является высоковольтный преобразователь частоты. Применение полупроводниковых преобразователей приводит к возникновению отклонений в форме токов и напряжений — как потребляемых электроприводом из сети, так и в форме токов и напряжений, питающих приводные двигатели. Отклонение от синусоидальности и ШИМ выходного напряжения преобразователя частоты являются причинами возникновения гармонических составляющих тока и напряжения, перенапряжений при коммутации, вызывают дополнительные потери электроэнергии, приводят к ускоренному износу электрооборудования [4]. Для высоковольтного электропривода, имеющего в своем составе силовые кабели для питания электродвигателя, указанные недостатки приводят к повышенному износу и старению изоляции питающего кабеля, вызванных перегревом от гармонических составляющих тока и перенапряжениями при коммутациях силовых ключей преобразователя [2]. С увеличением длины силового кабеля влияние негативных факторов усугубляется.

Устранение указанных недостатков возможно за счет применения дополнительных устройств фильтрации искажений и гармонических состав-

ляющих, т. е. фильтров. В высоковольтном электроприводе распространение получили подходы с применением LC-фильтров, или синус-фильтров [7; 8]. Объектом для исследования является высоковольтный регулируемый асинхронный электропривод насосного агрегата, выполненный на основе многоуровневого каскадного высоковольтного ПЧ на базе H-мостов. Питание высоковольтного АД осуществляется при помощи кабельной линии.

1. Функциональная схема исследуемого объекта. Имитационное моделирование исходной системы без синусного фильтра

Функциональная схема исследуемого объекта в программном комплексе приведена на рис. 1. Имитационная модель была разработана на основе функциональной схемы и реализована в программном комплексе MATLAB-Simulink. Многоуровневый преобразователь частоты (МПЧ) на базе H-мостов (силовых ячеек) подключается к сети через трансформатор Т1 с расщепленной вторичной обмоткой, регулирование режимами работы АД осуществляется с применением законов скалярного управления [3], АД подключается к выходу МПЧ через кабельную линию (КЛ) общей длиной 2 км. На выходе МПЧ опционально может быть установлен синус-фильтр (СФ), для улучшения формы выходного напряжения. В исходном варианте схемы СФ не установлен. Параметры, соответствующие типовым характеристикам промышленных вариантов МПЧ на базе каскадных преобразователей с H-мостами [6], приведены в таблице 1. Параметры высоковольтного АД приведены в таблице 2, КЛ — в таблице 3. ЭП насосного агрегата (НА) работает с моментом сопротивления «вентиляторного» типа на валу АД, характерным для данного механизма. В ЭП реализован закон частотного управления для случая квадратичного характера нагрузки на валу АД [3].

Таблица 1. — Параметры Многоуровневого каскадного преобразователя частоты с H-ячейками

Выходное напряжение, кВ	Количество силовых ячеек в фазе	Номинальное напряжение ячейки, В	Число уровней напряжения для каждой фазы	Частота ШИМ, кГц
6	5	690	11	5

Таблица 2. — Параметры высоковольтного АД

Тип	Число фаз	$\cos \varphi$	Мощность, кВт	Напряжение, В	Скорость вращения, об/мин	КПД, %
A4-400У-4МУ3	3	0.88	630	6000	1500	95.2

Таблица 3. — Параметры кабельной линии

Удельное сопротивление, Ом/км	Удельная индуктивность, мГн/км	Удельная емкость, мкФ/км
0.42	0.322	0.29

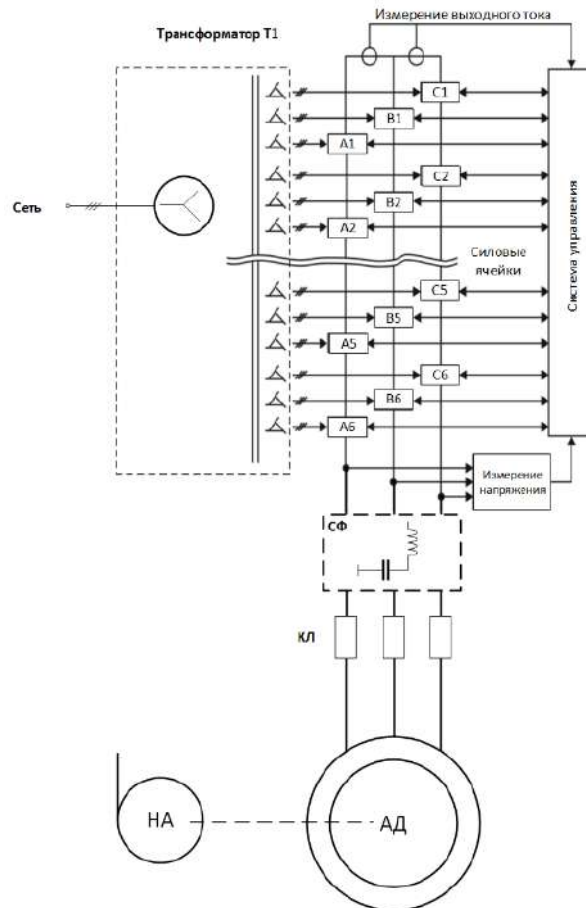


Рис. 1. Функциональная схема исследуемого объекта

Осциллограмма напряжения АД в установившемся режиме работы для исследуемой математической модели при работе ЭП НА с номинальной

мощностью приведена на рис. 2. Показатели гармонического анализа токов и напряжений в модели приведены в таблице 4, где также указаны амплитудные значения токов и напряжений основной гармонической.

Анализ показателей качества токов и напряжений, с одной стороны, показывает преимущества применения многоуровневого преобразователя в составе ЭП: коэффициент гармонического искажения выходного напряжения составляет 5.63%, что соответствует теоретическим показателям [5]; с другой стороны, показывает негативное влияние длинной КЛ на показатели качества. Высокий уровень искажения в выходном токе МПЧ и питающем напряжении АД негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках КЛ и АД, увеличивая нагрузку на изоляцию и снижая срок службы; снижает общий КПД системы; снижает показатели ЭМС [1].

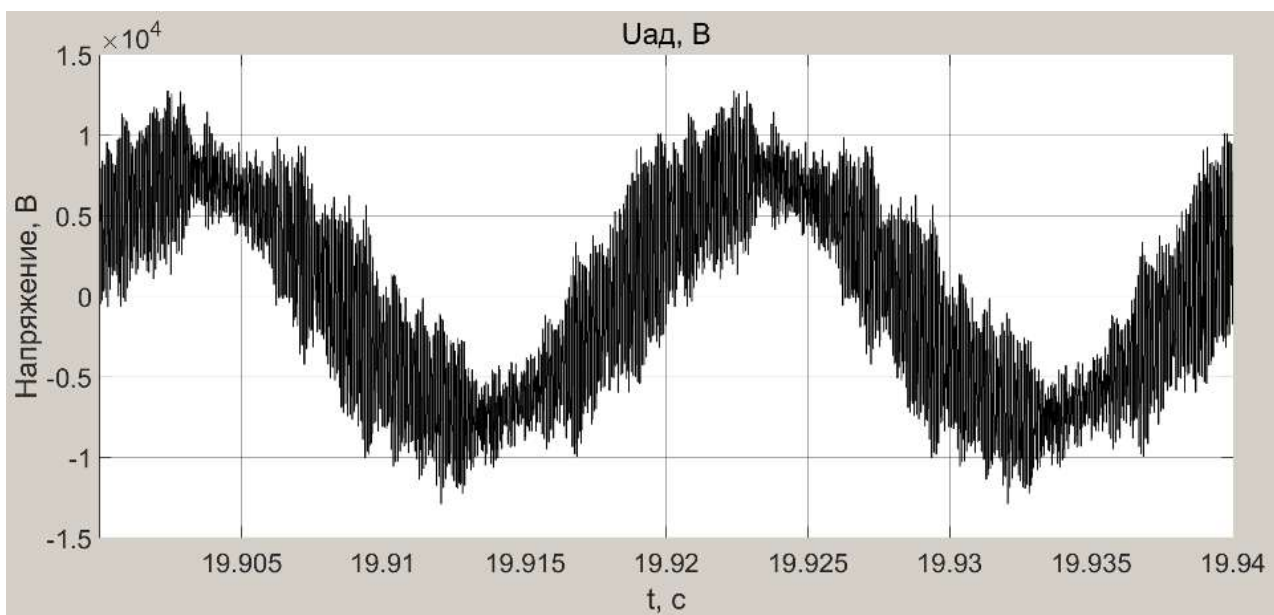


Рис. 2. Оциллограмма напряжения АД

2. Топологии синусных фильтров и подходы к выбору их параметров

А) Выходной LC- фильтр

В [7, 8] предлагается методика синтеза LC-фильтра, подключаемого на выход МПЧ, параллельно нагрузке (изображен на схеме рис. 3).

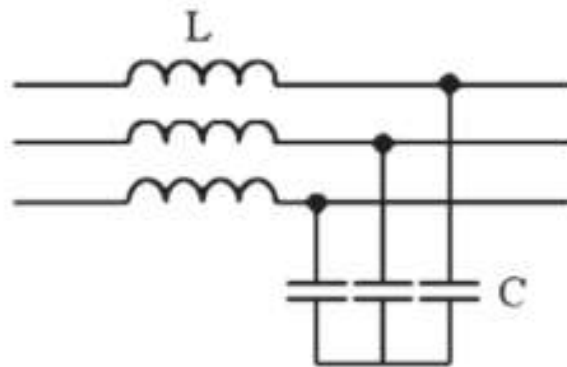


Рис. 3. Выходной LC-фильтр

Параметры фильтра приведены в таблице 5. На рис. 4 приведена осциллограмма напряжения АД. Показатели гармонического анализа токов и напряжений в модели приведены в таблице 6.

Анализ процессов в системе с LC-фильтром показывает, что применение фильтра значительно улучшает гармонический состав и форму напряжения КЛ, напряжения АД в сравнении с исходным случаем без фильтра. Показатели синусоидальности удовлетворяют нормам ГОСТ 32144-2013. Минимизируется несинусоидальность формы напряжения питания и, как следствие, негативное влияние на изоляцию КЛ и АД, улучшаются показатели ЭМС системы.

Вместе с этим наблюдается увеличение коэффициента несинусоидальности выходного тока МПЧ, происходящего за счет шунтирования фильтром гармонических составляющих. Из-за протекания гармонических токов в элементах LC-фильтра происходит токовая загрузка его компонентов.

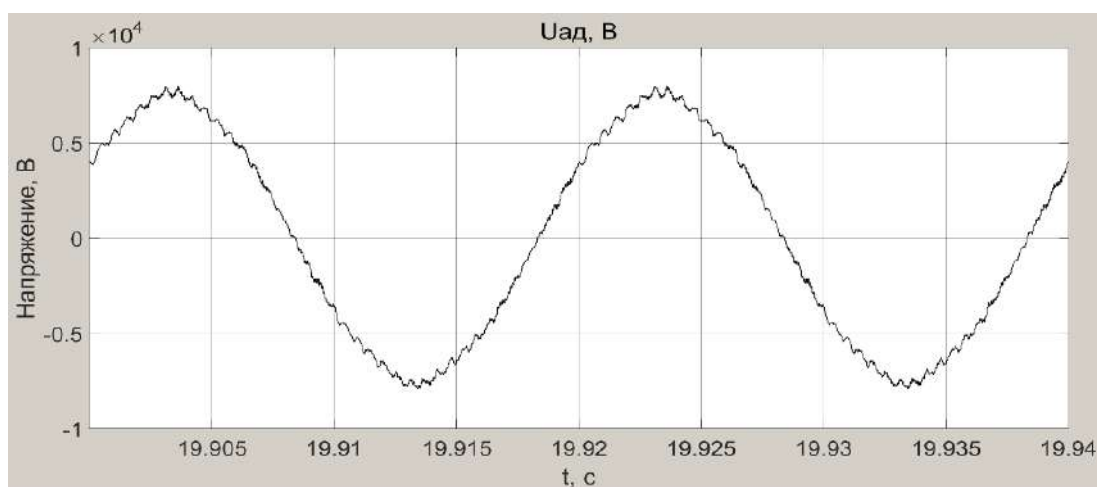


Рис. 4. Осциллограммы напряжения АД

Б) Выходной RLC-фильтр

Для ограничения токовой загрузки элементов фильтра возможен вариант применения активного сопротивления, включенного последовательно с емкостным элементом LC-фильтра. Топология RLC-фильтра представлена на рис. 5.

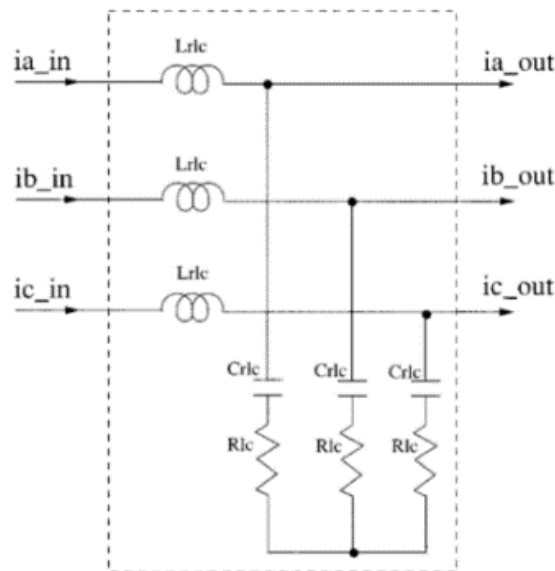


Рис. 5. Топология RLC-фильтра

Параметры фильтра, определенного с применением данного подхода, приведены в таблице 5.

В силу близости к форме осциллограмм (рис. 4), осциллограмма напряжения АД в исследуемой системе в данном случае не приводится. Показатели гармонического анализа токов и напряжений в модели приведены в таблице 6. Как видно из анализа полученных показателей анализа формы напряжений и токов в системе, применение активного сопротивления в составе синус-фильтра позволяет достичь небольшого снижения коэффициента несинусоидальности выходного тока МПЧ, вместе с тем несинусоидальность формы напряжений КЛ и АД повышается, но остается в рамках ограничений ГОСТ 32144-2013.

В) Выходной каскадный LC-фильтр

Топология каскадного LC-фильтра изображена на рис. 6. Фильтр выполнен в виде каскада последовательной LC-цепи и стандартного LC-фильтра. Настройка резонансной частоты последовательного LC-фильтра

выполняется на частоту ШИМ МПЧ для минимизации влияния в системе составляющих, равных и кратных частоте ШИМ.

Параметры фильтра, определенного с применением данного подхода, приведены в таблице 5. Осциллограмма напряжения АД в исследуемой системе не указана в силу близости к форме осциллограммы напряжения, представленной ранее. Показатели гармонического анализа токов и напряжений в модели приведены в таблице 6. Как показывает анализ полученных показателей синусоидальности, применение каскадного LC-фильтра позволяет значительно снизить несинусоидальность формы выходного тока МПЧ.

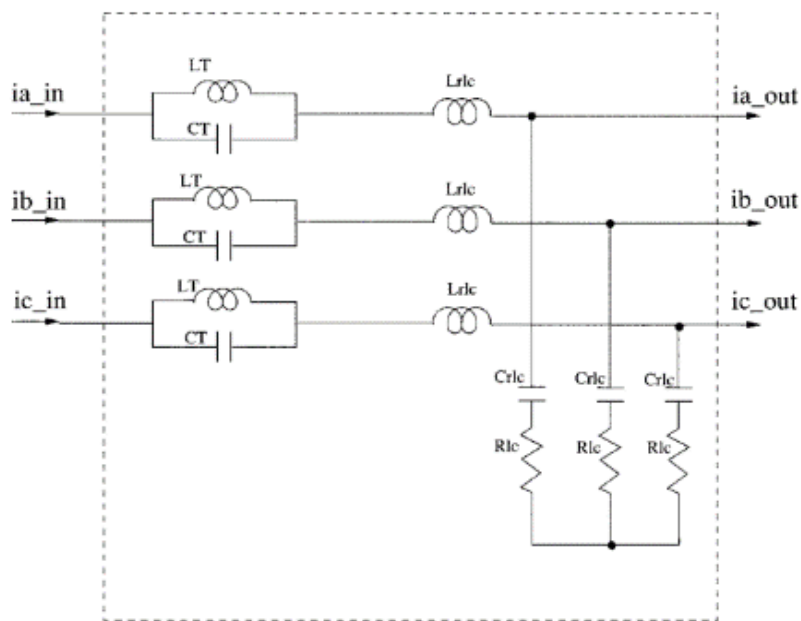


Рис. 6. Топология каскадного LC-фильтра

Таблица 4. — Показатели гармонического анализа токов и напряжений для исходной системы и системы с применением синус-фильтров

Вариант	$U_{мпч}^m$ В	$K_{U_{мпч}}^и$ %	$I_{мпч}^m$ А	$K_{I_{мпч}}^и$ %	$U_{ад}^m$ В	$K_{U_{ад}}^и$ %	$I_{ад}^m$ А	$K_{I_{ад}}^и$ %	$U_{кл}^m$ В	$K_{U_{кл}}^и$ %
Без фильтров	7679	5.63	129.2	53.95	7489	53.79	129.6	3.19	См. $U_{мпч}^m$	См. $K_{U_{мпч}}^и$
LC-фильтр	7679	5.63	122.2	85.18	7481	3.37	129.7	2.81	7671	3.25
RLC-фильтр	7679	5.63	123.2	82.70	7481	4.46	129.7	2.78	7671	3.46
Каскадный LC-фильтр	7679	5.63	123.5	12.09	7464	4.85	129.9	2.71	7654	2.77

Таблица 5. — Параметры синус-фильтров

Вариант	L_{ϕ} , мГн	C_{ϕ} , мкФ	R_{ϕ} , Ом	$L_{\text{нф}}$, мГн	$C_{\text{нф}}$, мкФ
LC-фильтр	0.45	15	-	-	-
RLC-фильтр	0.45	15	10.95	-	-
Каскадный LC-фильтр	0.45	15	-	0.9	1.13

3. Выводы

Анализ полученных в работе результатов позволяет сделать ряд выводов:

1. Без применения фильтра в системах высоковольтного ЭП, передающих питание по кабельным линиям, возможны режимы работы, не удовлетворяющие требованиям ГОСТ 32144-2013 в области показателей синусоидальности формы напряжений;

2. Применение LC-фильтров (синус-фильтров) различных топологий позволяет достичь требуемых показателей синусоидальности формы напряжений и токов при выполнении условия разнесения собственных резонансных частот в системе с резонансной частотой, на которую выполняется настройка фильтра;

3. За счет применения специальных топологий LC-фильтров возможно улучшение рабочих характеристик системы. Применение RLC-фильтра позволяет снизить токовую нагрузку на фильтр и силовые ключи МПЧ от высших гармонических выходного тока. При этом остальные показатели не выходят за предельные границы ГОСТ 32144-2013.

4. Применение каскадной схемы включения LC-фильтров позволяет значительно улучшить формы выходного тока МПЧ, снижая нагрузку на МПЧ и фильтр. При этом происходит снижение действующего значения напряжения питающего КЛ и АД, что необходимо учитывать при расчете фильтра. Также данная топология подразумевает применение компонентов последовательного LC-фильтра, рассчитанных на полное значение тока нагрузки.

Список использованной литературы

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

2. Зализный, Д. И. Влияние преобразователей частоты на изоляцию силовых кабелей нефтедобывающих станций / Д. И. Зализный, О. Г. Широков,

С. Н. Кухаренко, Е. Ю. Устименко // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. — 2011. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-preobrazovateley-chastoty-na-izolyatsiyu-silovyh-kabeley-neftedobyvayuschih-stantsiy> (Дата обращения: 16.02.2022).

3. Ковчин, С. А. Теория электропривода: Учебник для вузов / С. А. Ковчин, Ю. А. Сабинин. — СПб. : Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2000. — 496 с.

4. Мещеряков, В. Н. Устройство компенсации гармонических искажений тока в системах с тиристорным преобразователем напряжения / В. Н. Мещеряков, А. М. Евсеев // ЭС и К. — 2017. — № 3 (36). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustroystvo-kompensatsii-garmonicheskikh-iskazheniy-toka-v-sistemah-s-tiristornym-preobrazovatelem-napryazheniya> (Дата обращения: 16.02.2022).

5. Bin Wu, High-Power Converters and AC Drives, Wiley-IEEE Press, 2017, 480 p.

6. Danfoss drives Руководство по эксплуатации. URL: https://drives.ru/upload/Instruction_VEDADRIVE_VD-P_28_08_19.pdf (Дата обращения: 16.02.2022).

7. Ponnaluri S., Krishnamurthy V. and Kanetkar V., “Generalized system design and analysis of PWM based power electronic converters,” Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Fifth IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial Applications of Electrical Energy (Cat. No.00CH37129), 2000, pp. 1972–1979 vol.3.

8. Xinyu Hong, Changqing Zhu, Shu An, Youcheng Zhao, Simulation analysis of transient output characteristics of inverter with asynchronous motor load based on second-order filtering link, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 49, 2022.

УДК 621.311.182

Иванов М. Н., Капранов И. С.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО
МОРСКОГО ПУТИ

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные проблемы качества электроэнергии при установке дизель-генераторных установок в условиях Крайнего Севера.

Ключевые слова: *малая генерация, синхронные двигатели, дизель-генераторные электростанции, газотурбинные генераторные электростанции.*

Ivanov M. N., Kapranov I. S.

Siberian State University of Water Transport,
Novosibirsk

USE OF SMALL GENERATION IN THE WATER AREA OF THE NORTHERN SEA
ROUTE

Novosibirsk

Abstract. This article discusses the main problems of electricity quality during the installation of diesel generator sets in the conditions of the far North.

Keywords: *small generation, synchronous motors, diesel generator power plants, gas turbine generator power plants.*

Север России имеет очень значимое историческое и геополитическое влияние на развитие экономики страны. Правильное распределение разных ресурсов этих территорий может послужить хорошей базой для экономики страны. На северных территориях сосредоточено более 80% полезных

ископаемых и много экологически чистых районов. Северные территории — это стратегическое место не только для нашей страны, но и для всего мира [4]. Поэтому нужно обеспечить районы севера электроэнергией, но из-за труднодоступности местности тянуть ЛЭП может быть нецелесообразно с экономической точки зрения. В связи с этим есть решение поставить мобильные генераторные установки и разместить вдоль рек, морей для возможности поставки комплектующих, топлива, расходников.

Малая генерация — это источники электроэнергии мощностью до 25 МВт. Она может быть в разных исполнениях, например газотурбинная установка, дизельная установка, солнечные электростанции. Мы рассмотрим дизель-генераторные установки, так как они более распространены и унифицированы.

Качество частоты напрямую зависит от частоты вращения двигателя, поэтому на двигатели устанавливают регуляторы оборотов. В самом простом случае, когда генератор работает автономно, это механический регулятор, который настраивают так, чтобы при нагрузке 75–90% частота была 50 Гц, но в случае недогрузки, например 10–30% загрузки он номинального значения частота изменится и будет в пределах 52–53 Гц.[5].

Отклонение частоты (Гц) определяется по формуле

$$\Delta f = f_T - f_{ном} \quad (1)$$

где $f_{ном} = 50$ Гц — номинальное значение; f_m — значение основной частоты напряжения, измеренное согласно требованиям ГОСТ 30804.4.30-2013, Гц.

Отклонение частоты зависит от многих случайных событий, поэтому величина Δf является непрерывно распределенной случайной величиной, связана с полем событий и характеризуется таблицей вероятностей [3].

$$\left(\begin{array}{c} \Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \dots, \Delta f_i, \dots, \Delta f_n \\ P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n \end{array} \right), \quad (2)$$

где $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \dots, \Delta f_i, \dots, \Delta f_n$ — различные значения отклонения частоты в течение суток, Гц; $P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n$ — вероятности появления этих значений.

Однако существуют приборы, которые не допускают такого серьезного отклонения по частоте, и не имеет значения, на какой нагрузке работает генератор. Это приборы на основе микропроцессоров, тиристорных

преобразователях и др. Генератор должен работать по астатической характеристике, для этого его оснащают дорогими дополнительными устройствами, которые поддерживают постоянную частоту вращения, такие как пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор. Поэтому при выборе генератора с такой системой управления необходимо убедиться в том, что наша нагрузка не допускает отклонения частоты и установка таких устройств экономически оправдана.

Нам нужно учитывать суточный график нагрузки и использовать регулятор частоты, который бы предугадывал график нагрузки и имел обратную связь через программно-логический контролер (ПЛК) с энергоемкими потребителями, для подготовки энергосистемы к резким перепадам потребляемой мощности.

При применении малой генерации в условиях удаленности от единой энергосистемы возникает проблема в балансе мощности. Баланс мощности может изменяться при изменениях генерируемой или потребляемой мощностей. Допустим, что произошло отключение части генерирующей мощности, а нагрузка осталась прежней. Если в системе отсутствует резерв, то возникает дефицит реактивной и активной мощностей ($\Delta P_2 < 0$; $\Delta Q_2 < 0$). С другой стороны, если, например, отключается часть нагрузки, то возникает избыток как реактивной, так и активной мощностей ($\Delta P_2 > 0$; $\Delta Q_2 > 0$), что приводит к увеличению напряжения и частоты в системе.

Для стабилизации стандартной частоты необходимо выбирать из учета особенностей энергосистемы резерв активной мощности. Рассмотрим данный случай на примере режима работы идеализированной ЭЭС, которая условно поделена на две подсистемы (рис. 1 а). При этом подсистема I генерирует, а подсистема II потребляет мощность (нагрузка). На рис. 1 б приведены статические характеристики по частоте этих систем [3].

Предположим, что при некоторой суммарной активной мощности $P_{ном}$ характеристики I и II пересекаются в точке 1 (рис. 1) и система при этом работает с номинальной частотой $f_{ном}$. Допустим, что мощность нагрузки в данной системе увеличилась до P' , чему будет соответствовать характеристика II' нагрузки. Если характеристика питающей части системы при этом остается неизменной, то пересечение характеристик I и II' произойдет в точке 2. Это означает, что частота системы в этом режиме будет уменьшаться. В этом случае система будет продолжать работать на частоте $f' < f_{ном}$.

Работоспособность системы при неизменном значении частоты возможна только при переходе на другую статистическую характеристику I' . Это происходит при работе автоматического регулятора на генераторе. Из приведенных характеристик (рис. 1 б) видно, что только при наличии резерва активной мощности, который определяется разностью ординат 1 и 3 точек, возможно регулирование частоты

$$P_p = P_3 - P_1, \quad (3)$$

где P_3 и P_1 — соответственно активная мощность в точке 3 и в точке 1, МВт.

Активную мощность резерва P_p можно ввести с помощью дополнительного расхода топлива первичным двигателем генераторной установки [3].

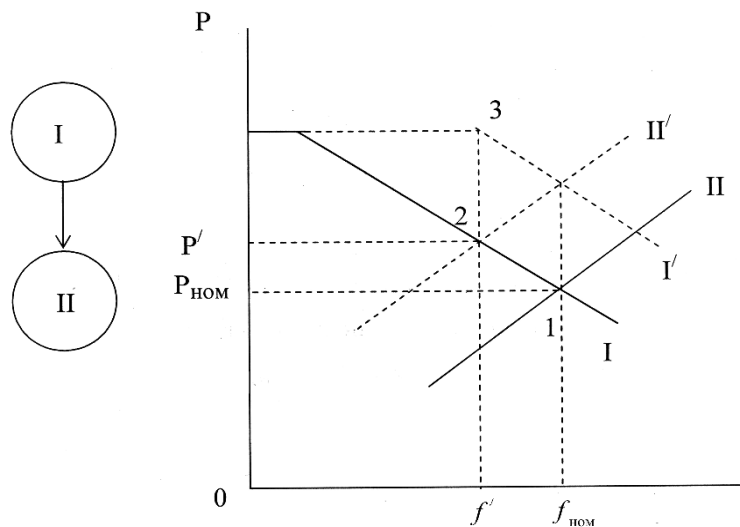


Рис. 1. Статические характеристики по частоте, передающей I и приемной II систем

Вывод. Основной причиной отклонения частоты в электроэнергетической системе является нарушение баланса активной мощности. Другими словами, условием обеспечения нормируемых значений частоты в соответствии с ГОСТами [1, 2] является соблюдение баланса активной мощности в ЭЭС. Развитие севера стратегически важно, и для обеспечения его качественной электроэнергией необходимо установить дизель-генераторы с системами ПИД и ПЛК для отслеживания нагрузки и стабилизации частоты и напряжения.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — 19 с.
2. ГОСТ Р 54149–2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен впервые (2013–01–01). — М. : Стандартинформ, 2012. — 15 с.
3. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е. В. Иванова; под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. — 432 с.
4. Лайши Юлия. Перспективы экономического развития севера РФ // Справочник от автора 24. 2022. URL: https://spravochnick.ru/ekonomika/ponyatie_ekonomicheskogo_razvitiya/perspektivy_ekonomicheskogo_razvitiya_severa_rf/
5. Электроспецтехника // Качество частоты напряжения. 2020. — URL: <http://sgt-energo.ru/rekomendacii/kak-vybrat-elektrostantsiyu/kachestvo-chastoty-napryazheniya/>

УДК 621.317.333.4

Кустов А. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОБНАРУЖЕНИЕ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ВЛ-6 КВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕФЕКТОПОИСКОВОГО КОМПЛЕКСА

г. Сургут

Аннотация. Воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) являются важной составляющей электроэнергетической инфраструктуры, обеспечивающей передачу электрической энергии на длинные расстояния. Однако в процессе эксплуатации ВЛЭП могут возникать различные дефекты, такие как однофазные замыкания. Однофазное замыкание — это непредвиденное соединение фазы с землей или другим проводом, что может вызвать повреждение оборудования и прерывание электроснабжения. Для обнаружения таких дефектов на ВЛ-6 кВ применяются специализированные комплексы дефектопоиска, которые позволяют оперативно выявлять и локализовать места однофазных замыканий с высокой точностью. В данной статье рассмотрим вопросы обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ с использованием дефектопоискового комплекса.

Ключевые слова: однофазное замыкание, замыкание на землю, дефектопоисковый комплекс.

Kustov A. A.

Surgut State University, Surgut

DETECTION OF SINGLE-PHASE SHORT CIRCUITS ON 6 KV OVERHEAD
POWER LINES USING A DEFECT DETECTION COMPLEX

Surgut

Abstract. Overhead power transmission lines (OHTL) are an important component of the electric power infrastructure, providing the transmission of

electrical energy over long distances. However, during the operation of OHTL, various defects may occur, such as single-phase short circuits. A single-phase short circuit is an unexpected connection of phase wire to the ground or another wire, which can cause equipment damage and disruption of power supply. Specialized defect detection complexes are used for detecting such defects on 6 rV OHTL, which allow for the prompt identification and localization of the locations of single-phase short circuits with high accuracy. In this article, we will consider the issues of detecting single-phase short circuits on 6 rV OHTL using a defect detection complex.

Keywords: *single-phase short circuit, short circuit to the ground, defect search complex.*

Дефектопоисковые комплексы — это комплексное оборудование, предназначенное для обнаружения дефектов на ВЛЭП, таких как замыкания на землю, пересечения проводов, разрывы изоляции и другие. Они состоят из различных датчиков, приемников, анализаторов сигналов и программного обеспечения, позволяющего анализировать данные и определить место дефекта с высокой точностью. Дефектопоисковые комплексы могут быть разных типов, включая комплексы на основе радиолокационных, оптических, акустических и других принципов работы. Для обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ часто применяют комплексы на основе радиолокационных и оптических технологий [1].

Одним из важных аспектов обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ является выбор оптимального дефектопоискового комплекса, который будет эффективно работать в данной ситуации. Для этого необходимо учитывать ряд факторов, таких как топология линии, тип дефектов, условия эксплуатации, требования к точности и скорости обнаружения, а также бюджетные ограничения.

Одним из распространенных методов обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ является использование радиолокационных дефектопоисковых комплексов. Радиолокация — это технология, основанная на излучении электромагнитных волн и измерении их отражения от объектов, в данном случае — от дефектов на линии. Радиолокационные комплексы обладают высокой точностью и способностью проникать сквозь металлические и диэлектрические препятствия, что позволяет обнаруживать дефекты даже

в условиях сложной топологии линии. Однако такие комплексы имеют высокую стоимость и требуют квалифицированного персонала для их эксплуатации и анализа полученных данных.

Еще одним методом обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ является использование оптических дефектопоисковых комплексов. Оптическая технология основана на использовании лазерных лучей и оптических датчиков, которые могут обнаруживать дефекты на основе изменения оптических свойств материала проводов, таких как отражение, пропускание и рассеяние света. Оптические комплексы обладают высокой чувствительностью и способностью обнаруживать дефекты на ранних стадиях их развития. Они также обладают преимуществами в виде отсутствия электромагнитных помех, возможности дистанционного и автоматического контроля и более низкой стоимости по сравнению с радиолокационными комплексами. Однако оптические комплексы имеют свои ограничения, такие как чувствительность к атмосферным условиям, наличию пыли, дыма и других факторов, что может повлиять на точность и надежность обнаружения дефектов.

Еще одним методом обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ является использование акустических дефектопоисковых комплексов. Акустическая технология основана на измерении акустических сигналов, которые возникают при прохождении электрического тока через дефекты на линии. Акустические комплексы могут обнаруживать дефекты на основе анализа изменения акустических характеристик, таких как амплитуда, частота и фаза звуковых волн. Акустические комплексы могут быть более экономически эффективными и простыми в использовании по сравнению с другими методами, так как они не требуют специализированной инфраструктуры. Однако они могут иметь ограниченную чувствительность и точность в определении местоположения дефектов, особенно в условиях шума и других внешних помех.

Обнаружение однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ с использованием дефектопоискового комплекса требует также анализа данных и принятия решений на основе полученных результатов. Для этого может использоваться программное обеспечение, которое анализирует и интерпретирует данные от дефектопоискового комплекса и предоставляет оператору информацию о наличии и местоположении дефектов. Оператор может принимать решения о дальнейших мерах по исправлению дефектов, таких как ремонт или замена поврежденных элементов линии.

Однако, несмотря на преимущества и эффективность дефектопоисковых комплексов, они также имеют свои ограничения. Например, они могут обнаруживать только те дефекты, которые находятся в пределах их зоны обнаружения, и не способны обнаружить дефекты в удаленных или труднодоступных местах. Они также могут иметь ложные срабатывания или пропуски, что может потребовать дополнительной проверки и анализа. Кроме того, процесс обнаружения и анализа данных от дефектопоисковых комплексов может потребовать опытных и обученных операторов, чтобы правильно интерпретировать результаты и принимать решения на основе них.

Для более точного и надежного обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ с использованием дефектопоисковых комплексов необходимо также учитывать различные условия эксплуатации линии, такие как погодные условия, окружающая среда, состояние изоляции и другие факторы. Например, влажность, снег, лед, сильный ветер и другие метеорологические условия могут влиять на результаты обнаружения и требовать дополнительных адаптаций и настроек дефектопоисковых комплексов.

Помимо обнаружения однофазных замыканий, дефектопоисковые комплексы также могут использоваться для обнаружения других типов дефектов на ВЛ-6 кВ, таких как многополюсные замыкания, изоляционные повреждения, дефекты опор и другие. Это делает их универсальными инструментами для контроля и обследования состояния электрических линий.

Одним из примеров дефектопоискового комплекса, который может быть использован для обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ, является комплекс, основанный на методе ультразвуковой дефектоскопии.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на измерении времени распространения ультразвуковых волн внутри материала, что позволяет обнаруживать дефекты на основе изменений скорости распространения волн.

Комплекс может состоять из ультразвуковых датчиков, приемных и передающих блоков, системы обработки сигналов и программного обеспечения для анализа и интерпретации данных.

Для обнаружения однофазных замыканий с использованием ультразвукового дефектопоискового комплекса, датчики монтируются на поверхности линии и передают ультразвуковые волны внутрь материала линии. Если на линии есть дефект, такой как однофазное замыкание, ультразвуковые волны будут отражаться от этого дефекта и возвращаться к датчикам. Это

приводит к изменениям во времени распространения ультразвуковых волн, которые могут быть зарегистрированы дефектопоисковым комплексом.

Полученные данные обрабатываются системой обработки сигналов, которая может производить анализ спектра ультразвуковых волн, сравнивать их с базовыми значениями и выявлять аномалии, указывающие на наличие однофазных замыканий. Программное обеспечение также может предоставлять визуализацию данных, чтобы операторы могли анализировать результаты более наглядно и принимать решения на основе них.

Одним из преимуществ ультразвуковой дефектоскопии является ее высокая точность и способность обнаруживать даже небольшие дефекты. Она также не требует прерывания эксплуатации линии, что делает ее удобным методом для проведения инспекций в реальном времени. Однако, как и в случае других дефектопоисковых комплексов, ультразвуковая дефектоскопия также имеет свои ограничения. Например, она может быть затруднена в условиях плохой видимости, таких как сильные осадки или плотная растительность, которая может ограничивать проникновение ультразвуковых волн внутрь материала.

Выбор метода обнаружения однофазных замыканий на ВЛ-6 кВ с использованием дефектопоискового комплекса зависит от ряда факторов, таких как доступность оборудования, условия эксплуатации, требования к точности и надежности обнаружения. Операторы электроэнергетических компаний должны учитывать различные аспекты, чтобы выбрать наиболее подходящий метод для своих нужд.

Список использованной литературы

1. Кравченко, А. Г. Анализ методов и средств автоматического обнаружения однофазных замыканий на воздушных линиях электропередачи / А. Г. Кравченко, А. А. Макаров, А. Г. Никонов // Вестник ТГУ. — 2017; 22(3). — С. 614–624.

2. Гурин, В. А. Автоматическое обнаружение и классификация однофазных замыканий на линиях 6–10 кВ / В. А. Гурин, М. Г. Головкин, А. Ю. Денисов // Электричество. — 2013; (12). — С. 19–23.

3. Липский, О. А. Автоматическое обнаружение однофазных замыканий на линиях электропередачи / О. А. Липский, А. Ю. Виноградов, А. А. Пучко. 2014; (1). — С. 37–41.

УДК 621.316

Кондратенко Е. В.¹, Егорова Е. В.¹, Иванов Д. М.¹, Сальников В. Г.²

¹Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет», г. Сургут

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье рассмотрено и выполнено тематическое исследование эффективности мероприятий по снижению потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях. Проведено исследование эффективности компенсации реактивной мощности.

Ключевые слова: *снижение потерь электрической энергии, компенсирующие устройства, управление нагрузкой, трансформаторы, реактивная мощность, статическая и динамическая устойчивость.*

Kondratenko E. V.¹, Egorova E. V.¹, Ivanov D. M.¹, Salnikov V. G.²

¹Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

²Surgut State University, Surgut

DEVELOPMENT OF MEASURES TO INCREASE THE EFFICIENCY
OF WORK IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS

Novosibirsk

Abstract. In this article, a study of the effectiveness was carried out and thematic measures were carried out to reduce energy losses in attracting potential customers. A study was made of the efficiency of measuring reactive power.

Keywords: *energy consumption reduction, compensating devices, load control, transformers, reactive power, static and dynamic loads.*

Увеличение темпа развития промышленности, сельского хозяйства, а также непрерывный рост генерации и потребления электроэнергии неизбежно приводят к росту потерь электроэнергии в электрических сетях. Кроме того, постоянное увеличение потерь электроэнергии требует введения современных технических решений, новейших конструкций и оборудования или полной замены электротехнического оборудования на оборудование большей мощности.

Помимо всего, на потери оказывают большое воздействие и социальные факторы, такие как уровень жизни населения, внутренняя политика страны, численность населения, географическое расположение и другое.

Одновременно с непрерывным ростом электропотребления повышаются и требования к надежности электроснабжения потребителей, качеству электроэнергии, экономически обоснованным уровням потерь электроэнергии, предъявляемых к генерирующим и передающим компаниям.

Снижение потерь электроэнергии считается непростой комплексной задачей, которая требует существенных капитальных затрат, предназначенных для процесса развития электрических сетей, для создания сетей нового поколения [1; 2].

Мероприятия по снижению электрических потерь в распределительных электрических сетях делятся на три группы: организационные, технические и мероприятия по усовершенствованию системы учета электрической энергии (мощности).

Организационные мероприятия включают в себя мероприятия по улучшению эксплуатации электрических сетей и оптимизации схем и режимов их работы.

К техническим мероприятиям относятся мероприятия по реконструкции (усилению), перевод на более высокий уровень напряжения (с 6 кВ на 10 кВ; с 10 кВ на 20 кВ) и строительство новых распределительных электрических сетей.

К мероприятиям по усовершенствованию системы учета электрической энергии относятся мероприятия по снижению нетехнических потерь (неточность приборов учета, нарушение подключения схем приборов учета).

Наиболее распространенными методами снижения потерь электроэнергии в разных странах считается установка компенсирующих устройств, реконфигурация фидера и установка распределенной генерации близко к местам потребления электрической энергии.

Основной целью является анализ потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях, а также возможные способы снижения этих потерь, используемые в нашей стране и за рубежом.

Достижение установленной цели предполагает необходимость решения следующих задач:

1. Рассмотреть наиболее эффективные и популярные в настоящее время способы по снижению потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях.

Рассмотрим несколько основных способов снижения потерь в распределительных сетях.

2. Отключение трансформатора в режимах малых нагрузок на подстанциях с двумя и более трансформаторами.

Отключение трансформаторов в режимах малых нагрузок на подстанциях с двумя и более трансформаторами — один из наиболее эффективных способов по снижению потерь электрической энергии. Данное мероприятие является наиболее распространенным и широко применяется во всем мире, так как его реализация не требует больших инвестиционных затрат.

Эффект от выполнения отключений в режимах малых нагрузок одного из трансформаторов на подстанциях с двумя и более трансформаторами определяется соотношением снижения потерь холостого хода трансформаторов и возрастания нагрузочных потерь. Однако применение данного мероприятия имеет ограничение: в составе присоединенной нагрузки на подстанции не должно быть потребителей первой категории по надежности электроснабжения.

3. Управление нагрузкой трансформаторов.

Известно, что потери трансформатора составляют значительную часть из общих потерь. Например, исследование, проведенное Национальной лабораторией Ок-Ридж, показало, что распределительные трансформаторы составляют 26% потерь при передаче и распределении электроэнергии от общих потерь. В настоящее время внедряются системы управления нагрузкой трансформатора (англ. Transformer load management). Измерения практически в режиме реального времени обеспечивают актуальную информацию о загрузке и непредвиденное увеличение нагрузки [5].

База данных предоставляет собой историю загрузки каждого трансформатора, чтобы оценить потери, а также определить оптимальный размер

для замены трансформатора при необходимости. Перегруженные или недогруженные трансформаторы, а также трансформаторы с истекшим сроком службы обнаруживаются и регистрируются с использованием сводок и предупреждений на приборной панели, после чего данная информация может быть использована для оптимизации нагрузки трансформатора, чтобы гарантировать, что они работают в пределах их допустимого диапазона нагрузок.

4. Применение устройств компенсации реактивной мощности.

При передаче реактивной мощности по электрической сети увеличивается протекающий ток, что уменьшает пропускную способность сети и снижает напряжения в узлах сети, увеличивает потери напряжения, а также потери электрической энергии, что приводит к дополнительным затратам на передачу электрической энергии [1].

Обеспечение баланса реактивной мощности в узле электроэнергетической системы в целях регулирования напряжения и снижение потерь электрической энергии (мощности) в распределительных сетях осуществляется с применением устройств компенсации реактивной мощности (далее по тексту — УКРМ). Кроме того, компенсирующие устройства (далее — КУ) в системах передачи повышают пропускную способность линии электропередачи по условиям статической и динамической устойчивости, увеличивают устойчивость нагрузки и предотвращают «лавину напряжения».

В электрических сетях выбор УКРМ выполняется при проектировании и при решении ряда эксплуатационных задач [5; 3]

Для выбора номинальной мощности и места установки конденсаторных установок в электрической сети для оптимального снижения потерь электроэнергии инженеры широко используют «правило 2/3». Такой подход был разработан в 1956 году и применяется для размещения конденсаторных установок по линии с примерно равномерно распределенной нагрузкой. «Правило 2/3» было разработано исходя из проведенных исследований, в результате которых было выявлено, что оптимальное место для размещения конденсаторных установок — это точка в электрической цепи, где поток реактивной мощности равен половине номинальной мощности конденсаторной установки. В качестве примера рассмотрим изображенный на рис. 1 график изменения реактивной мощности, протекающей от источника к нагрузкам. Пусть вырабатываемая реактивная мощность на подстанции составляет 3 МВАр,

согласно «правилу» для равномерно распределенной нагрузки, оптимальная мощность конденсаторной установки составляет $2/3$ от реактивной мощности, т. е. составляет 2 МВАр. А оптимальное место для размещения КУ составляет $2/3$ расстояния от подстанции до конца линии. Согласно данному «правилу» для примерно равномерно-распределенной нагрузки источник подстанции обеспечивает реактивной мощностью первую часть линии, а КУ — реактивной мощностью вторую часть линии.

Обобщение «правила $2/3$ » для применения n конденсаторов в цепи состоит в определении величины каждого из $2 / (2n + 1)$ УКРМ, расположенного на линии. Таким образом, чтобы применить три конденсатора, необходимо определить величину каждого до $2/7$ от общего количества необходимых переменных и расположить их на единицу расстояния $2/7$, $4/7$ и $6/7$ длины линии от источника [2; 4]

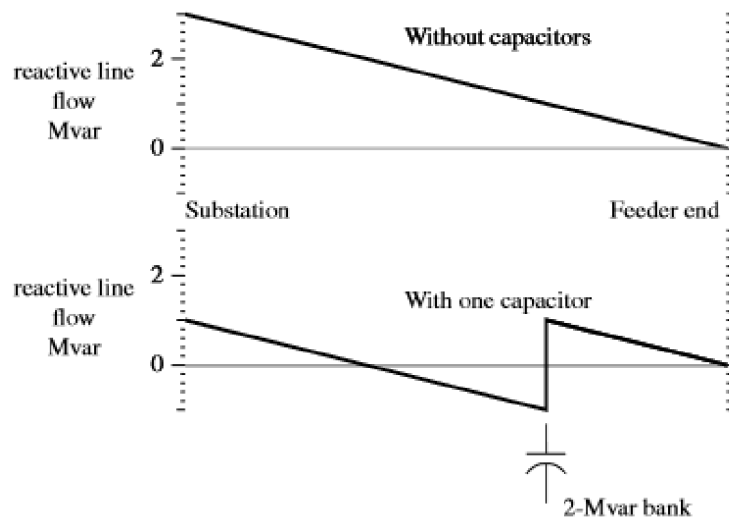


Рис. 1. Установка конденсаторных батарей мощностью величиной 2 МВАр по «правилу $2/3$ »

В 1981 году Грейнджер и Ли предложили наиболее простой метод для установки КУ в цепи с любым видом нагрузки, а не только с равномерно распределенной нагрузкой. Основная идея заключается в том, чтобы определить точку в схеме, где реактивная мощность равна половине номинальной мощности конденсатора. Согласно этому «правилу $1/2$ кВАр» конденсатор отправляет половину своей реактивной мощности далее по потоку, а другая половина отправляется назад против потока мощности (рис. 2) [3].

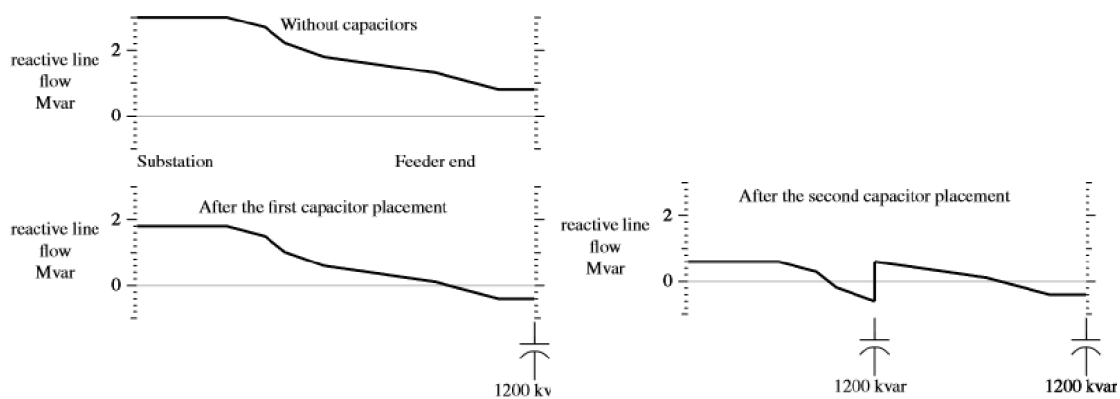


Рис. 2. Установка конденсаторных батарей мощностью величиной 200 кВАр по «правилу 1/2 кВАр»

На сегодняшний день потери электроэнергии являются важнейшим аспектом рассмотрения современной энергетики, поскольку их величина не только дает оценку техническому состоянию сетей, но и является рычагом управления экономической деятельности сетевых организаций.

Из проведенного анализа результатов применения различных мероприятий в целях снижения потерь электрической энергии в различных электроэнергетических системах России и за рубежом получены следующие выводы:

1. Среди различных мероприятий значительное снижение потерь электроэнергии может быть достигнуто путем применения мероприятий, связанных с реконструкцией, модернизацией и строительством сетей.

2. Основным и наиболее эффективным является установка компенсирующих устройств, около 90% всего необходимого снижения достигается с ее помощью, и последние 10% [2] с помощью других технических мероприятий, которые окупаются в сроки, приемлемые для инвесторов программ снижения потерь.

3. Стоит отметить, что распределенная энергетика является также наиболее эффективной и показывает ощутимый потенциал в направлении минимизации потерь, поскольку наряду с минимизацией потерь она обладает многими другими преимуществами.

Список использованной литературы

1. 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 : НГАВТ, 2013. — 559 с.

2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. с 01.07.2014 г. — М. : Стандартинформ, 2014. — 16 с.

3. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических системах / Е. В. Иванова; под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. тран., 2006. — 432 с.

4. Сальников, В. Г. Обработка экспериментальных данных показателей качества электрической энергии по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности / В. Г. Сальников, Д. М. Иванов, Ю. М. Денчик [и др.] // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 2016661752 от 20.10.2016. — М. : ОФЭРНиО, 2016.

5. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01.01.99. — Мн. : Стандарты, 1998. — 31 с.

УДК 621.316

Лагутенко А. Р.

ПАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПУТЕМ ПЕРЕХОДА НА БОЛЕЕ ВЫСОКОЕ
НАПРЯЖЕНИЕ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассматриваются основные способы оптимизации потерь электроэнергии в электрических сетях. Исследуется влияние изменения класса напряжения на потери энергии в линиях, а также выбор оптимального напряжения с учетом стоимости оборудования и длины линии.

Ключевые слова: электроснабжение, распределительные сети, потери энергии, оптимизация.

Lagutenko A. R.

PJSC “Surgutneftegaz”, Surgut

OPTIMIZATION OF ELECTRIC ENERGY LOSSES IN POWER LINES
BY TRANSITION TO A HIGHER VOLTAGE

Surgut

Abstract. This article discusses the main ways to optimize electricity losses in electrical networks. The effect of changing the voltage class on energy losses in lines is studied, as well as the choice of the optimal voltage, taking into account the cost of equipment and the length of the line.

Keywords: power supply, distribution networks, energy losses, optimization.

Электроэнергетика является важнейшей отраслью современной промышленности, которая обеспечивает жизненно важные потребности общества в электрической энергии. Однако при передаче электроэнергии

по высоковольтным линиям электропередачи возникают потери напряжения, что, в свою очередь, снижает эффективность работы всей системы. В данной статье рассматривается оптимизация потерь электрической энергии в линиях электропередачи путем перехода на более высокое напряжение и использование самонесущих изолированных.

В России переход на более высокое напряжение в линиях электропередачи широко применяется для оптимизации потерь электрической энергии и повышения эффективности работы энергосистемы.

Один из примеров — переход на 20 кВ в электросетях города Кургана. В рамках реализации программы модернизации электросетей были заменены линии электропередачи напряжением 10 кВ на линии напряжением 20 кВ. Были установлены новые трансформаторные подстанции и обновлено оборудование. Это позволило сократить потери энергии на 25%, а также повысить эффективность работы системы и улучшить качество электроснабжения.

Таким образом, переход на более высокое напряжение в линиях электропередачи является эффективным способом сокращения потерь электрической энергии и повышения эффективности работы энергосистемы, и в России этот метод широко используется при модернизации электросетей.

Эффективность передачи электроэнергии на различных напряжениях

При передаче электроэнергии по ЛЭП существуют технические ограничения, к которым относятся:

1) Допустимые отклонения напряжения.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [1], положительные и отрицательные отклонения напряжения ($\delta U_{(+/-)}$) в точке передачи электроэнергии не должны превышать 10% от номинального значения напряжения.

Для определения положительных и отрицательных отклонений напряжения используем следующие формулы:

$$\delta U_{(+)} = \left[\frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \right] \times 100;$$

$$\delta U_{(-)} = \left[\frac{U_0 - U_{m(-)}}{U_0} \right] \times 100.$$

2) Допустимая длина воздушной линии.

Согласно СТО 34.01-21.1-001-2017 [4], длина отходящих ЛЭП от РУ не должна превышать:

- 15–20 км — для линий 10 кВ;
- 20–40 км — для линий 20 кВ;
- 50–60 км — для линий 35 кВ.

Отметим, что превышение допустимой длины воздушной линии может привести к таким проблемам, как:

А. Потеря сигнала: когда воздушная линия становится слишком длинной, это может привести к потере сигнала. Сигнал может ослабляться и искажаться по мере увеличения расстояния между источником и приемником. Это приводит к ошибкам в передаче данных или даже к полной потере сигнала.

В. Интерференция: если воздушная линия находится слишком близко к другим проводникам, это может привести к электромагнитной интерференции, которая приводит к шуму на линии и ошибкам в передаче данных.

С. Нежелательные отражения: если воздушная линия слишком длинная, то отраженные сигналы могут вернуться на источник слишком поздно, что приведет к нежелательным отражениям. Это может привести к искажению сигнала и ошибкам в передаче данных.

Д. Потеря мощности: слишком длинная воздушная линия может привести к потере мощности. А это значит, что приемник не получит достаточно мощности, чтобы считать сигнал правильно. Это может привести к ошибкам в передаче данных или даже к полной потере сигнала.

3) Допустимые потери электроэнергии.

При определении допустимых потерь электроэнергии необходимо руководствоваться приказом Минэнерго России от 07.11.2014 № 506 «Об утверждении методики определения нормативов потерь электрической энергии при ее передаче по электрическим сетям».

Превышение допустимых потерь электроэнергии может иметь ряд нежелательных последствий, например тепловые проблемы, повышенные затраты и экологические проблемы.

Оценка эффективности передачи электроэнергии по воздушным линиям электропередачи 10–35 кВ

Исследования, направленные на повышение эффективности передачи электроэнергии по воздушным линиям электропередачи, проводились для

участка цепи длиной 1 км, выполненного из неизолированных сталеалюминиевых проводов марки АС с сечением от 25 мм² до 70 мм². Был произведен расчет максимально возможной длины линии передачи электроэнергии, учитывая допустимые потери напряжения, мощности и энергии в воздушных линиях.

Расчетный ток, протекающий по воздушной линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_H}$$

Выбор сечений определяется по экономической плотности тока:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I}{j_{\text{эк}}}$$

Сечение проверили по длительно допустимому току.

Потери напряжения в воздушной линии:

$$\Delta U_{\text{вл}} = \frac{S_p \times \cos\varphi \times r_0 + S_p \times \sin\varphi \times x_0}{U_H^2} \times l \times 100\%;$$

Максимально допустимая длина воздушной линии:

$$L_{\text{доп}} = \frac{\Delta U_{\text{доп}}}{\Delta U_{\text{вл}}}$$

Потери мощности в воздушной линии:

$$\Delta P = 3 \times I_p^2 \times r_0 \times l \times 10^{-3}$$

Количество часов максимальных потерь за год:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{нб}}}{10^4}\right)^2 \times 8760$$

Расчет производился для передаваемой мощности 500 кВ·А в диапазоне напряжений от 10 до 35 кВ.

На основании выполненных расчетов была получена зависимость длины воздушной линии от передаваемой мощности (рис. 1) и зависимость потерь электроэнергии на воздушной линии от передаваемой мощности (рис. 2).

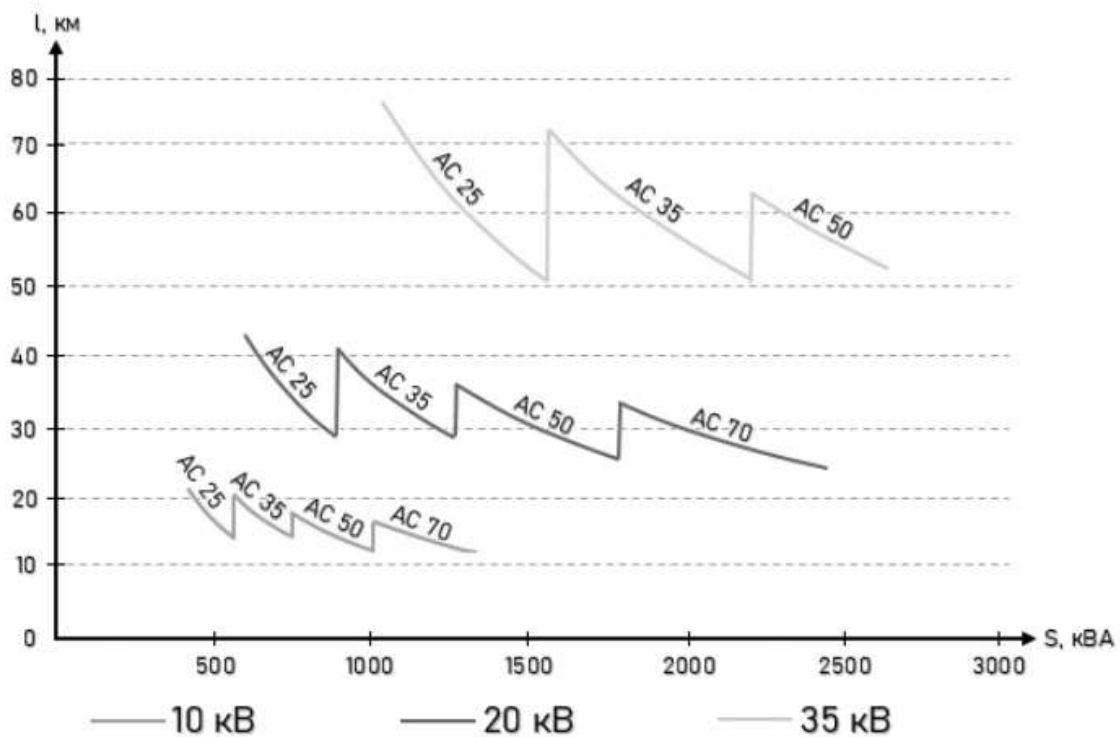


Рис. 1. Зависимость длины воздушной линии от передаваемой мощности

Из рис. 1 видно, что применение напряжения 20 кВ вместо 10 кВ позволяет увеличить длину распределительной сети в два раза, сохраняя при этом потери напряжения на прежнем уровне и значительно уменьшив сечение воздушной линии. Радиус охвата воздушными линиями с напряжением 20 кВ составляет около 30 км, в то время как при напряжении 10 кВ этот радиус составляет 15 км. Таким образом, можно расширить зону обслуживания потребителей, что позволит сократить количество понижающих подстанций 110/10 кВ (220/10 кВ), заменив их меньшим количеством. Это имеет особенно большое значение для местностей с большим расстоянием между потребителями.

Из рис. 2 видно, что увеличение номинального напряжения приводит к существенному уменьшению потерь электроэнергии при передаче одинаковой мощности по проводу меньшего сечения. В зависимости от передаваемой мощности потери активной мощности в линиях 20 кВ сокращаются в 2–3 раза по сравнению с линиями 10 кВ. Следовательно, возможно передавать большую мощность потребителю по линиям. Однако наименьшие потери активной мощности достигаются при передаче энергии на напряжении 35 кВ.

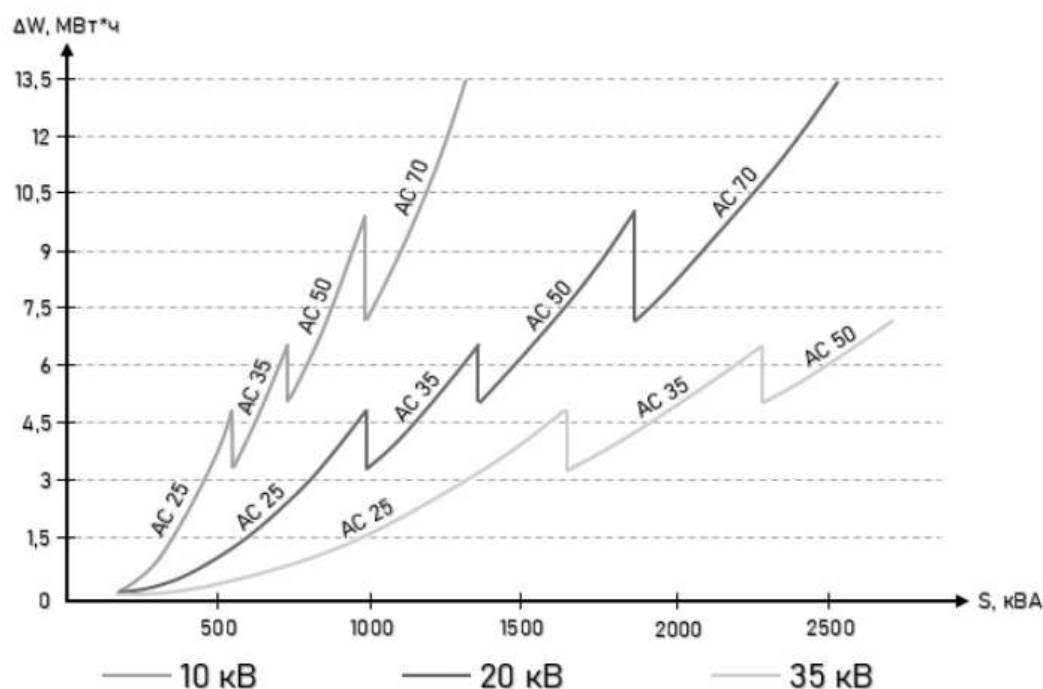


Рис. 2. Зависимость потерь электроэнергии в воздушной линии от передаваемой мощности

Выводы

1. При передаче электроэнергии по линиям электропередачи необходимо учитывать допустимые отклонения напряжения, длину воздушной линии и потери электроэнергии. Эти параметры влияют на стабильность, безопасность и качество поставляемой электроэнергии, поэтому при проектировании следует выбрать оптимальный класс напряжения сети, сечение и марку провода.

2. При переходе с напряжения 10 кВ на 20 кВ в распределительных сетях, потери энергии в линиях передачи электроэнергии сокращаются в 2–3 раза, в зависимости от передаваемой мощности. Кроме того, сечения проводов уменьшаются в 2 раза, а радиус оптимальной передачи электроэнергии увеличивается до 30 км. Если длина линии не превышает 30 км, то лучше использовать напряжение 20 кВ, а не 35 кВ, чтобы избежать высоких затрат на оборудование.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии

в системах электроснабжения общего назначения: дата введения 2014.07.01 — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 30.03.2023). — Текст: электронный.

2. Логинова, С. Е. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38–20 кВ с самонесущими изолированными и защищенными проводами. Книга 4. Система защищенных проводов напряжением 6–20 кВ. / С. Е. Логинова, А. В. Логинов, В. М. Ударов. — СПб : ENSTO — ОАО «НТЦ электроэнергетики» — РОСЭП, 2017.

3. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд. (с изменениями) — URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (Дата обращения: 30.03.2023). — Текст: электронный.

4. СТО 34.01-21.1-001-2017. Распределительные электрические сети напряжением 0,4–110 кВ. Требования к технологическому проектированию: дата введения 02.08.2017 — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734156.pdf> (Дата обращения: 30.03.2023). — Текст: электронный.

5. Бадалян, Н. П. Кабельные и воздушные линии электропередачи : учеб. пособие / Н. П. Бадалян [и др.]; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. — Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. — 260 с. — URL: <https://dspace.www1.vlsu.ru/bitstream/123456789/7626/1/01788.pdf> (Дата обращения: 30.03.2023). — Текст: электронный.

6. ГОСТ 839-2019. Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи: дата введения 30.10.2019 — URL: <https://meganorm.ru/Data/730/73055.pdf> (Дата обращения: 30.03.2023). — Текст: электронный.

7. Кабышев, А. В. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие / А. В. Кабышев, С. Г. Обухов. — Томск : Изд-во ТПУ, 2006. — 248 с.

8. Крючков, И. П. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев; под редакцией И. П. Крюčkова, В. А. Старшинова. — Москва : МЭИ, 2016. — 568 с. ISBN 978-5-7046-1937-6.

9. Хорошилов, Н. В. Электропитающие системы и электрические сети: учебное пособие / Н. В. Хорошилов, А. В. Пилюгин, Л. В. Хорошилова [и др.]. — Старый Оскол : ТНТ, 2015. — 352 с. ISBN 978-5-94178-279-6.

УДК 621.311

Осипов Д. С.¹, Осипова Н. Д.²

¹Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

²Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ
ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

г. Сургут

Аннотация. В работе представлена методика расчета действующих значений токов и напряжений для несинусоидальных режимов с помощью вейвлет-коэффициентов. Вейвлет-преобразование является альтернативой преобразованию Фурье. Вейвлет-преобразование позволяет сжимать цифровой поток данных при передаче информации. Разработанная методика позволит определять активную и реактивную мощности высших гармоник для каждой частоты в отдельности в условиях нестационарности режима. Представлен численный расчет для смоделированного сигнала с содержанием частот 50, 150 и 250 Гц.

Ключевые слова: *вейвлет-преобразование, высшие гармоники, несинусоидальность, активная мощность, реактивная мощность.*

Osipov D. S.¹, Osipova N. D.²

¹Yugra State University, Khanty-Mansiysk

²Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg

WAVELET PACKET TRANSFORM IN ALGORITHM FOR CALCULATING THE
INTEGRAL CHARACTERISTICS OF STEADY-STATE MODES OF ELECTRICAL
NETWORKS

Surgut

Abstract. The paper presents a method for calculating the effective values of currents and voltages for non-sinusoidal modes using wavelet coefficients. The

wavelet transform is an alternative to the Fourier transform. The wavelet transform allows you to compress the digital data stream when transmitting information. The developed technique will allow determining the active and reactive power of the higher harmonics for each frequency separately under conditions of non-stationary mode. A numerical calculation is presented for a simulated signal with a frequency content of 50, 150 and 250 Hz.

Keywords: *wavelet transform, higher harmonics, non-sinusoidality, active power, reactive power.*

Вейвлет-преобразование находит применение для анализа динамики сложных нестационарных процессов в электроэнергетических системах. Вейвлет-преобразование применяется для сжатия и фильтрации цифрового потока данных, характеризующих нормальные, аварийные и послеаварийные режимы электрических сетей. Для анализа показателей качества электроэнергии, в частности несинусоидальных режимов, получило распространение пакетное вейвлет-преобразование. Математический аппарат вейвлет-преобразования значительно сложнее преобразования Фурье, однако ряд преимуществ при анализе нестационарных режимов объясняет интерес исследователей в развитии и адаптации данного метода для решения широкого круга задач при анализе высших гармоник. Для выбора технических решений по фильтрации высших гармоник необходима информация о действующих значениях токов, напряжений, длительности их присутствия. Представим методику расчета действующих значений токов и напряжений, а также составляющих мощности через вейвлет-коэффициенты.

В соответствии с теорией вейвлет-разложения, функция напряжения и тока могут быть представлены коэффициентами пакетного вейвлет-разложения глубины разложения j :

$$i(t) = \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}(k) \cdot \psi(t) \quad (1)$$

$$u(t) = \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} u_{j,m}(k) \cdot \psi(k) \quad (2)$$

При этом в зависимости от исходной дискретизации сигнала Fd и глубины разложения j группа вейвлет-коэффициентов узла m будет соответствовать определенному частотному диапазону. Варьируя параметры Fd, j для каждого узла m , можно поставить в соответствие некий частотный диапазон гармонической или интергармонической группы.

В общем случае для нестационарных режимов электрических сетей токи и напряжения различных гармоник являются случайной величиной. Активная мощность при несинусоидальных режимах определяется суммой активных мощностей высших гармоник. В работе [2] С. С. Смирнов приводит исследование величины и знака активной мощности несинусоидальных режимов в системе электроснабжения железных дорог с учетом режимов рекуперативного торможения. Автор считает, что вклад нелинейной нагрузки в уровни напряжения высших гармоник следует определять с помощью статистической обработки данных о параметрах несинусоидальных режимов [2, с. 49].

Применяя алгоритм вейвлет-разложения заданной глубины, активная мощность частотного диапазона, определяемая соответствующими вейвлет-коэффициентами, может быть найдена по формуле:

$$P_{j,m} = \frac{1}{n} \left(\sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}(k)u_{j,m}(k) \right) \quad (3)$$

Разложение тока $i(t)$ по ортогональным проекциям (1) на напряжение $u(t)$, сопряженное по Гильберту напряжение $H\{u\}$ и искажающую орту представлено в монографии [1]. Искажающая компонента тока $i_u(t)$ получена как геометрическая разность вектора тока $i(t)$ и двух ортогональных компонент (привод. по [1, с. 16]):

$$i_u(t) = i(t) - i_a(t) - i_p(t), \quad (4)$$

$$i_u(t) = i(t) - \frac{\int_0^T u(t)i(t)dt}{\int_0^T u^2(t)dt} u(t) - \frac{\int_0^T H\{u\}i(t)dt}{\int_0^T H^2\{u\}dt} H\{u\}. \quad (5)$$

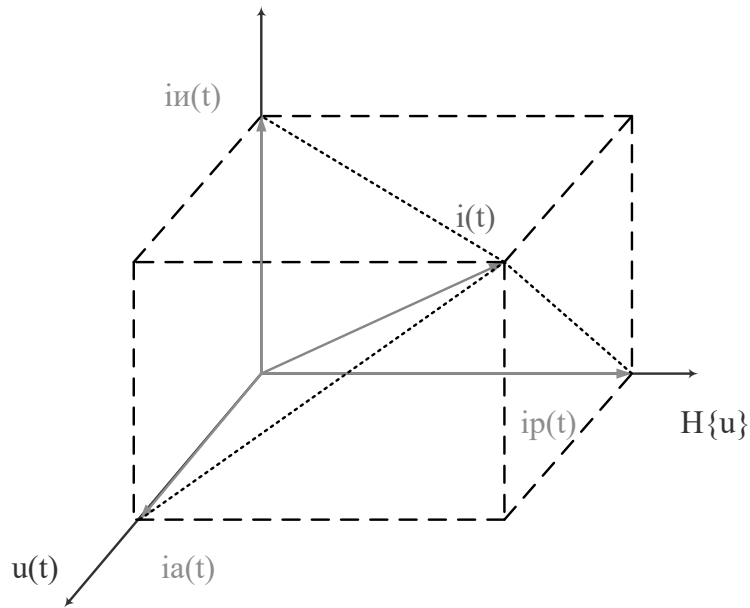


Рис. 1. Проекция вектора тока на ортогональные базисы

В соответствии с теорией, предложенной Фризе для расчета реактивной мощности при несинусоидальных режимах, ток может быть представлен из двух компонент: активной и реактивной составляющей.

$$i = i_a + i_r. \quad (6)$$

В этом случае реактивную мощность можно определить по формуле:

$$Q = UI_r = \sqrt{U^2 I^2 - U^2 I_a^2}. \quad (7)$$

На основании формул (2) и (3), можно записать выражение для определения активной проводимости ветви через вейвлет-коэффициенты пакетного вейвлет-преобразования:

$$g = \frac{P_{j,m}}{(U_{j,m})^2} = \frac{\frac{1}{n} \left(\sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}(k) u_{j,m}(k) \right)}{\frac{1}{n} \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} u_{j,m}^2(k)} \quad (8)$$

В этом случае активная составляющая тока будет определяться как произведение активной проводимости и напряжения, записанных через вейвлет-коэффициенты:

$$i_a = g u_{j,m} = \frac{\frac{1}{n} \left(\sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}(k) u_{j,m}(k) \right)}{\frac{1}{n} \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} u_{j,m}^2(k)} \cdot \frac{1}{n} \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} u_{j,m}(k) \quad (9)$$

Действующее значение активного тока определяем по:

$$I_a = \sqrt{\frac{1}{2^N} \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_a^2(k)} = \sqrt{\frac{1}{2^N} \sum_{2^{-j}nm}^{2^{-j}n(m+1)-1} i_{j,m}^2(k)} \quad (10)$$

Коэффициент искажения синусоидальности:

$$K_u = \frac{I_{(v)}}{I_{(50)}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^2 \sum_{k=0}^{k_m} (i_{j,k}^D)^2}{\sum_{k=0}^{k_m} (i_{3,k}^A)^2 + \sum_{k=0}^{k_m} (i_{3,k}^D)^2}} \quad (11)$$

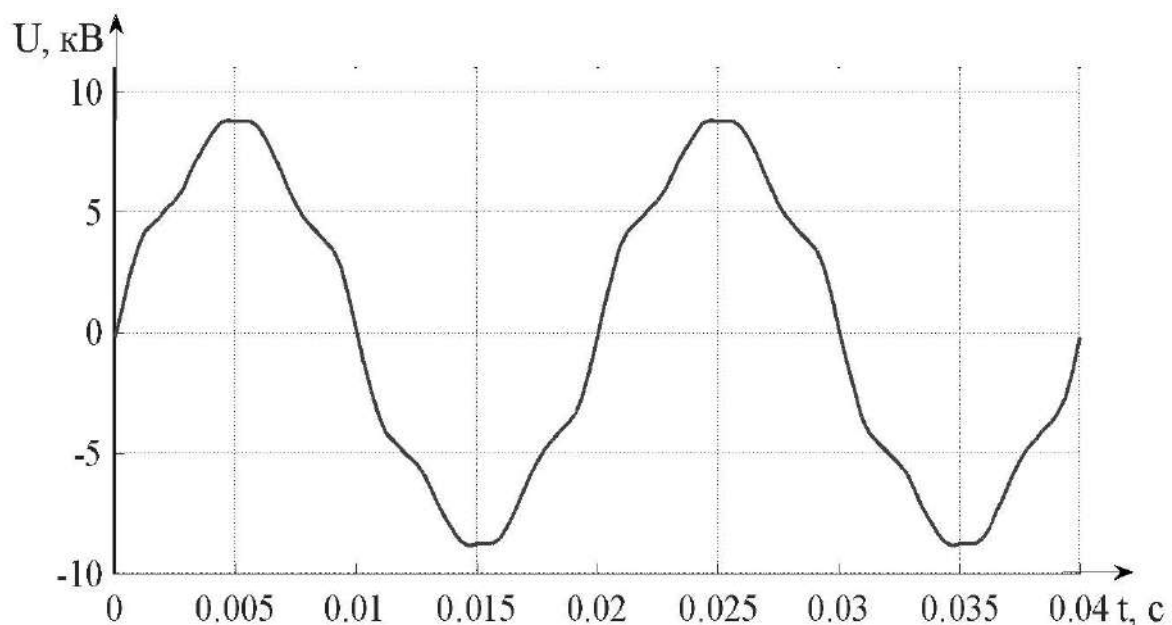


Рис. 2. Осциллограмма напряжения

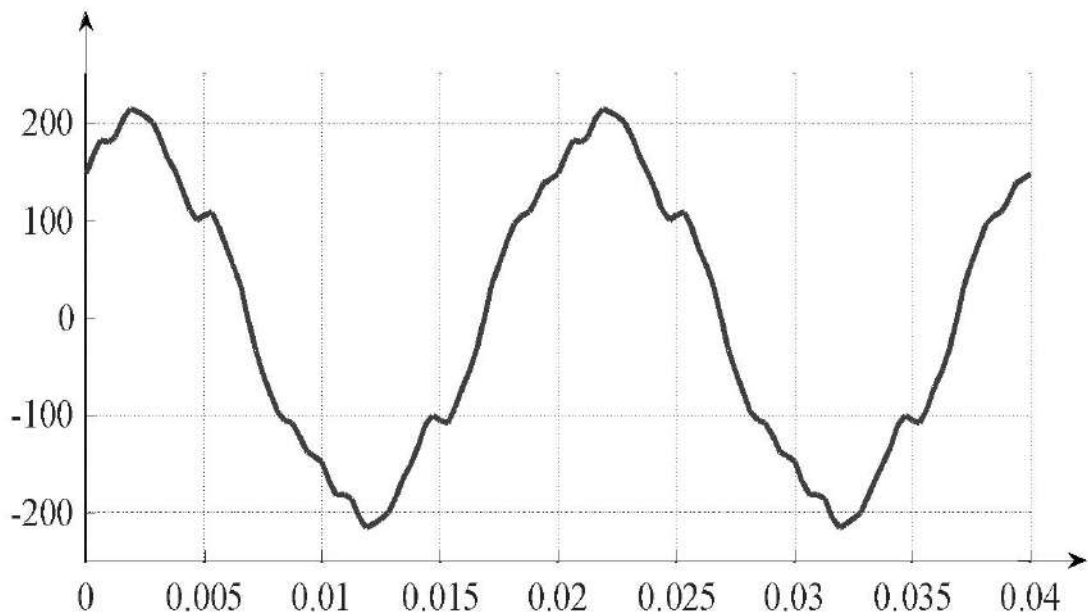


Рис. 3. Оциллограмма сигнала тока

Таблица 1. — Расчет параметров режима по вейвлет-коэффициентам

Параметр	Частота, Гц	Обозначение, единица измерения	Фактическое значение	Значение, вычисленное через вейвлет-коэффициенты
Активная составляющая тока	50	I_{a1} , А	402,3	402,2
	250	I_{a5} , А	68,4	69,1
	350	I_{a7} , А	42,1	43,1
Активная мощность	50	P_1 , кВт	4 386	4 380
	250	P_5 , кВт	746	752
	350	P_7 , кВт	459	463
Реактивная мощность и мощность искажения	50	Q_1 , кВАр	3 156	3 158
	250	Q_5+N_5 , кВАр	560	559
	350	Q_7+N_7 , кВАр	362	360

Определенные по разработанной методике интегральные характеристики параметров режимов ЭЭС (действующие значения токов, напряжений, мощности) позволят повысить точность технико-экономических расчетов, направленных на внедрение фильтро-компенсирующих устройств для подавления ВГ [3].

Исследование проводилось в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Разработка моделей вейвлет-анализа нестационарных режимов электрических сетей для повышения надежности и эффективности электроснабжения потребителей», код темы: FENG-2023-0005).

Список использованной литературы

1. Агунов, А. В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А. В. Агунов. — СПб. : СПбГМТУ, 2009. — 134 с.
2. Смирнов, С. С. Свойства активных мощностей гармоник искажающих нагрузок / С. С. Смирнов // Электричество. — 2010. — № 9. — С. 45–49.
3. Ali Z. M., Alenezi F. Q., Kandil S. S., Abdel Aleem S. H. E. Practical considerations for reactive power sharing approaches among multiple-arm passive filters in non-sinusoidal power systems // International journal of electric power and energy systems. — 2018. — vol. 103, December. — pp. 660–675. DOI: 10.1016/j.ijepes.2018.06.044

УДК 621.311

Руди Д. Ю., Шитик Т. В.
ОИВТ (филиал) «СГУВТ»

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА-АНАЛИЗАТОРА
«РЕСУРС-ПКЭ-1.7»

Аннотация. В статье представлена оценка показателей качества электроэнергии с помощью прибора-анализатора «Ресурс-ПКЭ-1.7».

Ключевые слова: качество электроэнергии, прибор-анализатор, электромагнитная совместимость.

Rudy D. Yu, Shitik T. V.
OIVT (branch) "SGUVT"

ASSESSMENT OF ELECTRICITY QUALITY INDICATORS USING THE
RESOURCE-PKE-1.7 ANALYZER DEVICE

Abstract. The article presents an assessment of the quality of electricity using the analyzer device "Resurs-PKE-1.7".

Keywords: power quality, analyzer device, electromagnetic compatibility.

Современные требования к измерениям были сформулированы примерно 10–13 лет тому назад, и сегодня рынок предлагает десятки приборов, позволяющих измерять параметры качества электроэнергии (ПКЭ) в соответствии с требованиями ГОСТа. Одним из таких приборов является прибор-анализатор «Ресурс-ПКЭ-1.7».

Прибор для измерений показателей качества электрической энергии «Ресурс-ПКЭ» (далее — прибор) предназначен для:

- автоматических измерений показателей качества электрической энергии (далее — ПКЭ) в соответствии с требованиями ГОСТ 13109–97 и оценки соответствия значений ПКЭ установленным нормам согласно ГОСТ 32145–2013 (ГОСТ Р 53333–2008);

- автоматических измерений ПКЭ в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30–2013, классы А и S.



Рис. 1. Внешний вид прибора

Область применения: измерения ПКЭ в однофазных и трехфазных трех- и четырехпроводных электрических сетях и системах электроснабжения при непосредственном подключении или с использованием измерительных трансформаторов напряжения.

Прибор измеряет коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения в диапазоне гармонических составляющих с номерами n от 2 до 40.

Прибор обеспечивает измерение параметров напряжения на двух диапазонах измерений с номинальными значениями фазного (междуфазного) напряжения $U_{ном}$.

Прибор оснащен одним или двумя каналами измерительных входов напряжения. Количество измерительных каналов зависит от модификации прибора. Каждый канал имеет три измерительных входа напряжения, работающих на двух диапазонах измерения с номинальными значениями 220/127 В и 127/100 В.

Прибор оснащен входами и выходами управления. Входы и выходы управления гальванически изолированы от других частей прибора и корпуса.

Входы управления имеют два логических состояния «включено» и «выключено». Выходы управления имеют два логических состояния «замкнуто» и «разомкнуто». Переключение выходов управления из одного состояния

в другое выполняется в соответствии с командами, указанными пользователем или получаемыми прибором по интерфейсам.

Входы управления имеют параметры:

- ток в состоянии «включено» от 16 до 25 мА;
- остаточное напряжение в состоянии «включено» не более 5,5 В;
- ток в состоянии «выключено» не более 0,2 мА.

Выходы управления имеют параметры:

- напряжение в состоянии «разомкнуто» не более 14 В;
- ток в состоянии «замкнуто» не более 100 мА.

Интервал измерения характеристик, входящих в минутный архив, начинается в момент равенства секунд таймера нулю.

Интервал измерения кратковременной дозы фликера равен 10 мин. и начинается при значении секунд, равных нулю, и значении минут, кратных 10 (00,10, 20, 30, 40, 50).

Интервал измерения длительной дозы фликера равен 2 ч и начинается при значении секунд и минут, равных нулю, и значении часов, кратных двум (00, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22).

Прибор модификаций «Ресурс-ПКЭ-1.7» позволяет использовать следующие интервалы времени:

- интервал времени наибольших нагрузок в течение суток;
- интервал времени наименьших нагрузок в течение суток;
- интервал времени, объединяющий интервалы времени наибольших нагрузок за каждые сутки одной недели;
- интервал времени, объединяющий интервалы времени наименьших нагрузок за каждые сутки одной недели.

Минутный архив может содержать результаты измерений средних за 1 мин. значений следующих характеристик:

- отклонение среднеквадратического значения напряжения;
- установившееся отклонение напряжения основной частоты;
- установившееся отклонение напряжения прямой последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- коэффициент искажения синусоидальности напряжения;

- коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения;
- отклонение частоты (для модификаций «Ресурс-ПКЭ-Х.Х-ХХ»);
- отрицательное $\delta U(-)$ и положительное $\delta U(+)$ отклонения напряжения.

В приборе модификаций «Ресурс-ПКЭ-Х.7-ХХ-Х» архив средних за 10 минут значений дополнительно к списку характеристик минутного архива содержит:

- коэффициент m -й интергармонической составляющей напряжения;
- кратковременную дозу фликера.

В приборе модификаций «Ресурс-ПКЭ-Х.7-ХХ-Х» архив средних за 2 часа значений дополнительно к списку характеристик минутного архива содержит:

- коэффициент m -й интергармонической составляющей напряжения;
- длительную дозу фликера.

Суточный архив (архив за 24 ч) состоит из результатов измерений за одни сутки.

Результаты измерений за сутки представлены в виде наибольших (наименьших) и верхних (нижних) значений ПКЭ. Наибольшее (наименьшее) значение ПКЭ — наибольшее (наименьшее) из всех измеренных в течение 24 ч значений ПКЭ. Верхнее (нижнее) значение ПКЭ — верхняя (нижняя) граница интервала, в котором находятся 95% измеренных за 24 ч значений ПКЭ.

Верхнее и нижнее значения установившегося отклонения напряжения являются границами отрезка, которому принадлежат 95% значений, измеренных за интервал времени суток, соответствующий отдельным зонам (зоне наибольших/наименьших нагрузок).

Относительное время выхода значений ПКЭ за нормально и предельно допустимые значения ($T1$ и $T2$) рассчитывается за 24 ч.

Относительное время выхода значений установившегося отклонения напряжения за нормально и предельно допустимые значения ($T1$ и $T2$) рассчитывается для каждой выделенной временной зоны (зоны наибольших/наименьших нагрузок).

Архив значений статистических характеристик за 7 сут содержит результаты измерений в форме, приведенной в таблице 6. Наибольшее, наименьшее, верхнее и нижнее значения ПКЭ, время $T1$ и $T2$ рассчитываются за интервал времени 7 сут.

В приборе модификаций «Ресурс-ПКЭ-1.7» измерение статистических значений ПКЭ возможно только за один из интервалов: сутки или 7 дней (неделя).

Дата и время начала провала, прерывания и перенапряжения, значения глубины провала, коэффициент временного перенапряжения и длительность для каждого контролируемого напряжения сохраняются в архиве провалов, прерываний и перенапряжений. В течение 10 календарных секунд для прибора модификаций «Ресурс-ПКЭ-1.7» и одной минуты для прибора модификаций «Ресурс-ПКЭ-1.7» по каждой фазе может быть зафиксировано не более 50 событий одного типа (провал, прерывание, перенапряжение). Информация о последующих событиях за этот интервал времени будет включена только в суммарную длительность событий данного типа за время испытаний (1 сут или 7 сут).

В архиве отклонений содержатся:

- граничное значение измеряемого параметра;
- измеренное значение;
- время фиксации выхода за граничное значение.

Прибор сохраняет все оперативные данные и обеспечивает непрерывную работу часов при отключении электропитания на время не менее 15 сут.

Таймер прибора обеспечивает отсчет реального времени (часы, минуты, секунды), также в приборе ведется отсчет календарного времени (день, месяц, год).

В приборе предусмотрена функция перехода на зимнее и летнее время согласно введенным датам перехода.

Прибор модификаций «Ресурс-ПКЭ-Х.7-ХХ-А» обеспечивает синхронизацию времени с национальной шкалой координированного времени Российской Федерации UTC (SU) с помощью GPS-приемника, входящего в комплект поставки.

Прибор ведет протокол собственной работы, в котором указываются события и соответствующие им время и дата. В протоколе фиксируются следующие события:

- включение/отключение питания прибора;
- установка/снятие пароля первого уровня;
- установка/снятие пароля второго уровня;
- изменение исходных данных;

- установка времени и даты;
- коррекция времени;
- пуск прибора в работу;
- калибровка измерительных каналов.

Прибор позволяет передавать данные по интерфейсам RS-232 и RS-485 во внешнее устройство (компьютер, модем, преобразователь).

Прибор может работать как автономно, так и в составе автоматизированных информационно-измерительных систем.

До запуска в работу прибора возможно введение следующих исходных данных:

- номинальных, нормально и предельно допустимых значений ПКЭ;
- конфигурации входных каналов и коэффициентов трансформации по напряжению;
- текущего значения времени и даты;
- настройки режимов работы входов и выходов управления.

После запуска прибора можно корректировать показания таймера в пределах ± 20 с один раз за календарные сутки.

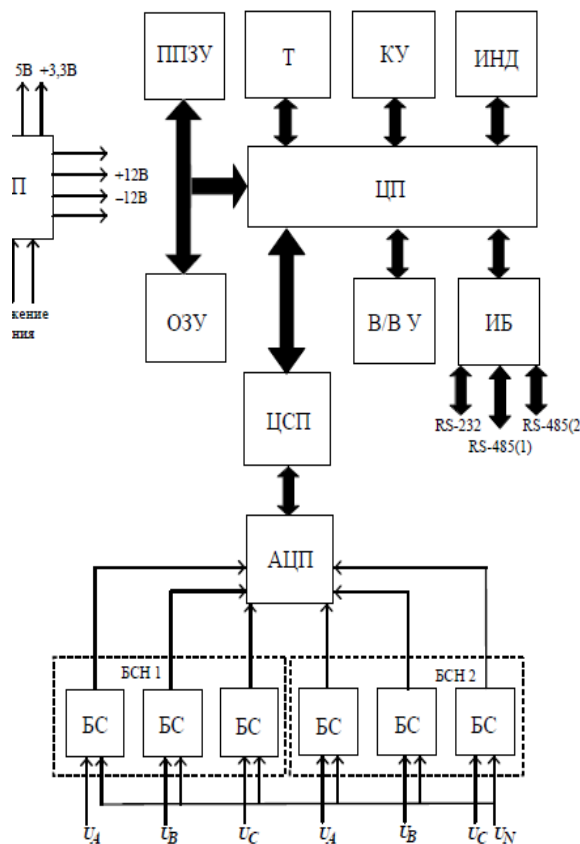


Рис. 2. Структурная схема прибора

Структурная схема прибора представлена на рис. 2.

Блоки согласования напряжений (БСН) состоят из трех идентичных каналов, состоящих из блоков согласования напряжения (БС). БС предназначены для сопряжения измеряемого сигнала с диапазоном измерений аналого-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП преобразует, измеренные входные напряжения с постоянной частотой дискретизации 64 кГц, в цифровой код и передает результаты в цифровой сигнальный процессор (ЦСП) по последовательному синхронному интерфейсу. ЦСП производит спектральный анализ входных сигналов, основанный на быстром преобразовании Фурье (БПФ). По результатам БПФ рассчитываются действующие значения напряжений и коэффициенты n -х гармонических составляющих напряжения. Центральный процессор (ЦП) получает от ЦСП данные, накапливает их в энергонезависимой памяти и производит статистическую обработку измерительной информации. ЦП управляет работой графического индикатора и определяет состояние кнопок управления.

Оперативное запоминающее устройство предназначено для временного хранения данных и промежуточных расчетов.

В перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве (ППЗУ) содержатся данные, предназначенные для длительного хранения, а также информация об уставках и калибровочных коэффициентах.

Блок питания (БП) состоит из входного фильтра питания, преобразователя переменного напряжения в постоянное (AC-DC), преобразователя постоянного напряжения в постоянное (DC-DC) и выходного фильтра.

Энергонезависимый таймер (Т) используется для реализации функции часов, ведения календаря и привязки результатов измерений к времени.

Интерфейсный блок (ИБ) предназначен для обеспечения обмена информацией с внешними устройствами (компьютер, модем, преобразователь). ИБ поддерживает работу двух интерфейсов RS-232 и RS-485. Интерфейс RS-232 может работать в режиме RS-232 или в режиме RS-485, таким образом, возможна одновременная работа по двум независимым интерфейсам RS-485.

Входы/выходы управления (В/В У) предназначены для приема управляющих воздействий и выдачи сигналов управления в соответствии с алгоритмом, определенным пользователем.

Входы управления могут находиться в двух состояниях «включено» и «выключено», которые зависят от уровня входного сигнала. На выходах

управления формируются аналоговые сигналы, соответствующие состоянию «замкнуто» и «разомкнуто», учитывая заданные в программе условия и состояния входов управления.

Предназначен для длительной стационарной установки. Выполнен в корпусе стандартного трехфазного счетчика. Схема подключения полностью совпадает с подключением стандартных трехфазных счетчиков (рис. 3 и 4).

Максимальная простота построения АСКУЭ на основе использования данного ИСЭ. Отсутствие необходимости различного рода дополнительных устройств типа УСПД, накопителей, дополнительных контроллеров и т. д. Одна выделенная линия, подключаемая «шлейфом» ко всем ИСЭ и далее непосредственно в центральный компьютер, обеспечивает связь и построение АСКУЭ для РП или ЦП практически любой реально существующей размерности.

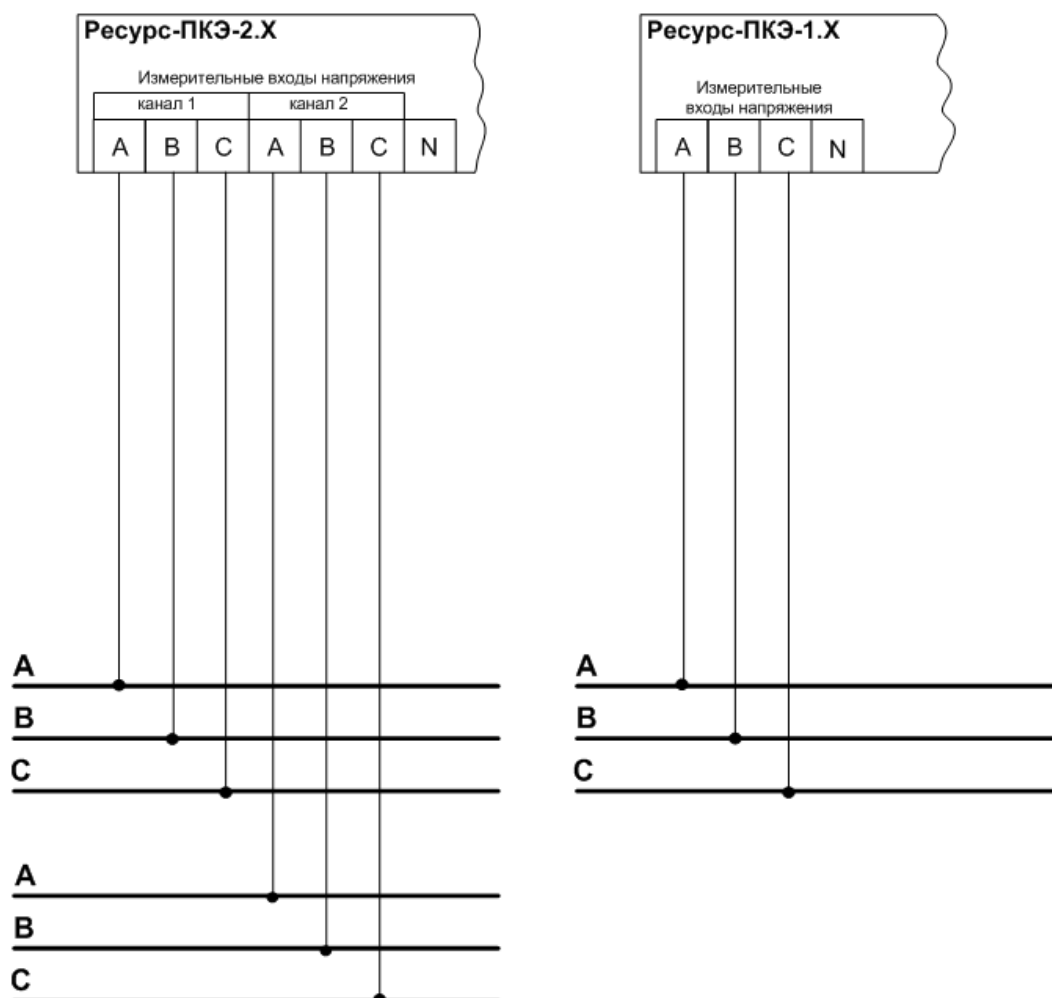


Рис. 3. Трехфазная трехпроводная схема измерения напряжения (220/380В)

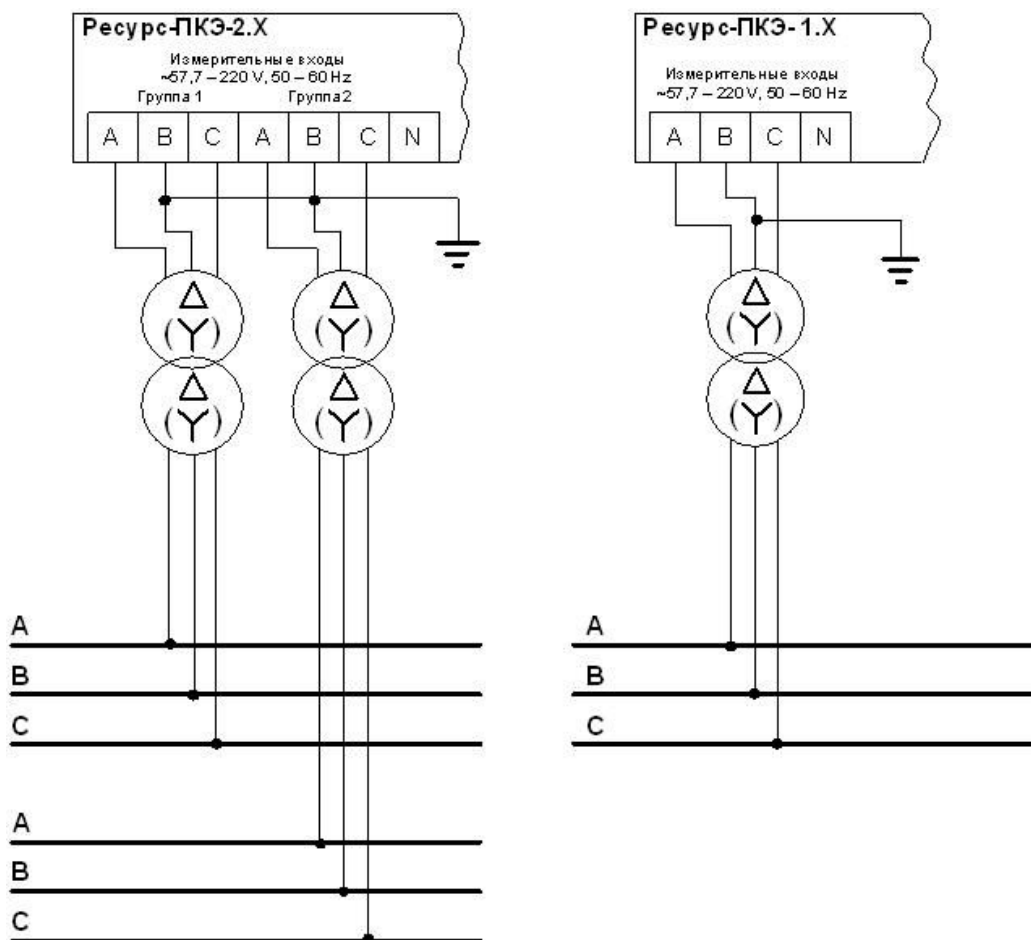


Рис. 4. Трехфазная трехпроводная схема измерения напряжения с трехфазным измерительным трансформатором напряжения

Возможность одновременного и независимого использования (получения информации) одной АСКУЭ двумя независимыми пользователями, например потребителем и продавцом электроэнергии.

Отсутствие ограничения на количество ступеней тарифов на электроэнергию в течение суток. Можно задавать отдельный тариф для каждого получаса в течение суток.

АСКУЭ контролирует не только величины отпущенной или потребленной электроэнергии, но и заданные режимные параметры в течение суток, например, реальные графики регулирования напряжений, показатели качества электроэнергии и т. д.

При работе в составе АСКУЭ прибор может по запросу, в режиме «реального времени», выдавать текущие значения токов нулевой последовательности в контролируемой линии, что очень важно для быстрейшего

нахождения участков сети с однофазными КЗ, по текущим значениям токов и напряжений позволяет контролировать отключение линий и секций шин, на которых установлен данный ИСЭ и т. д.

Это дорогой прибор (70–80 тыс. руб.), но надо полагать, что развитие технологий позволит снизить его стоимость и обеспечить массовое применение, т. е. подобные средства измерений (СИ) станут основными средствами учета электроэнергии и контроля ее качества.

Список использованной литературы

1. Лыгин, И. В. Сравнительные испытания многофункциональных счетчиков электроэнергии «Энергомера» с измерителями «Ресурс ПКЭ 1.1» / И. В. Лыгин // Физико-технические проблемы создания новых экологически чистых технологий в агропромышленном комплексе. V Российская научно-практическая конференция. — 2009. — С. 140–143.

2. Владимиров, В. Н. К вопросу улучшения условий электроснабжения сельскохозяйственных производственных потребителей / В. Н. Владимиров, М. И. Веселов, П. Р. Нагаев // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. — 2020. — № 1. — С. 38–41.

3. Владимиров, В. Н. К вопросу исследования высших гармоник на шинах трансформаторной подстанции напряжением 0,4 кВ / В. Н. Владимиров, М. И. Веселов, П. Р. Нагаев // Эффективность применения инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве. Сборник научных трудов международной научно-практической онлайн конференции, посвященной 10-летию образования Бухарского филиала Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. Отв. редактор Т. Х. Жураев. — 2020. — С. 16–19.

УДК 621.3.05

Ананьина Т. В., Иванова Е. В., Переладов М. Е., Дворцов П. П.
Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ В СИСТЕМАХ
С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

г. Новосибирск

Аннотация. Целью статьи является раскрытие проблемы электромагнитной совместимости в изолированных сетях с распределенной генерацией 6–35 кВ.

Ключевые слова: *распределенная генерация, низкие интегральные характеристики, автономная энергосистема, изолированная энергосистема, система питания «судно–берег».*

Ananyina T. V., Ivanova E. V., Pereladov M. E., Dvorcov P. P.
Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF NETWORKS
IN SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION

Novosibirsk

Abstract. The purpose of the article is to reveal the problem of electromagnetic compatibility in isolated networks with distributed generation of 6–35 kV.

Keywords: *distributed generation, low integrated characteristics, autonomous power system, isolated power system, shore-ship power supply system.*

Интенсивное разведывание новых месторождений полезных ископаемых на Дальнем Востоке, развитие инфраструктуры акватории Северного морского пути и наращивание темпов товарооборота в этих регионах требует возведения новых распределительных сетей и источников генерации.

По своей географической особенности северные регионы отличаются труднодоступностью (а также районы с активным слоем вечной мерзлоты), они составляют 65% всей территории России, что усложняет условия для строительства.

Статья затрагивает изолированные сети 6–35 кВ с распределенной генерацией, обеспечивающие питание потребителей по замкнутым электросетям, получающим питание от электростанций собственных нужд и по воздушным линиям (ВЛ) 110 кВ изолированных территорий РФ. К изолированным территориям относятся Магаданская область, Сахалинская область, Камчатский край, Чукотский автономный округ, Таймырский Долгано-Ненецкий район.

Воздействие окружающей среды и особенности технологических процессов влияют на режимы работы изолированных сетей 6–35 кВ. Электроснабжение в средней полосе, где сосредоточены промышленные потенциалы России, в меньшей степени подвержено технологическим нарушениям из-за более мягкого и умеренного климата, чего не скажешь про северные регионы, которые в 2–7 раз чаще сталкиваются с выходом из строя оборудования. Подобные явления (как инсоляционные, температурные и ветровые воздействия) имеют прямое действие. Но необходимо помнить и про сложную электромагнитную обстановку (ЭМО), обусловленную нестандартными уровнями электромагнитной совместимости (ЭМС) для кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП), распространяющихся по сетям. Усиливают проблему и широтные особенности данных регионов, такие как слабое геомагнитное поле Земли и геотермальные особенности местности Камчатского края, оказывающие косвенное воздействие на ЭМС сети.

Процесс электроснабжения с распределенной генерацией сталкивается с проблемами баланса мощности системы, поскольку отключение нескольких генераторов, а именно появление дефицита мощности, может привести к коллапсу электроснабжения, что крайне плохо отразится на потребителях 1-й категории. Аналогична ситуация с избытком генерации, что, в свою очередь, ведет к увеличению напряжения на шинах подстанции. Подобные выводы показывают, что функционирование этих сетей не соответствует требованиям эксплуатации, так как не обеспечивается устойчивость узлов нагрузки по напряжению. Внедрение вакуумных выключателей вместо

масляных в сетях 6–35 кВ обостряет проблему ЭМС. Генерирование в момент коммутации значительных импульсных напряжений можно отнести к недостаткам вакуумных выключателей.

Проблема обеспечения ЭМС технических средств рассматривалась многими авторами, и огромный вклад по теме внесли Апполонский С. М., Боровиков Ю. С., Воропай Н. И., Воршевский А. А., Горелова В. П., Горюнов В. Н., Гужов Н. П., Гусев А. С., Дед А. В., Добрусин Л. А., Жуков А. В., Закорюкин В. П., Зацепин В. И., Кармашев В. С., Карташов Н. И., Кечиев Л. Н., Крюков А. В., Курбацкий В. Г., Лизалек Н. Н., Лукутин Б. В., Маевский О. А., Манусов В. З., Мусин А. Х., Овсянников А. Г., Осипов Д. С., Паздерин А. В., Пупин В. М., Сальников В. Г., Самородов Г. И., Ушаков В. Я., Фёдоров В. К., Фишов А. Г., Хрущёв Ю. В. и др. (Россия); Карякин Р. Н., Короткевич М. А. и др. (Белоруссия); Жежеленко И. В. и др. (Украина); Говорун В. Ф., Трофимов Г. Г. и др. (Казахстан); Клопель В., Шваб А. и др. (Германия); Арриллага Дж., Боджер П., Брэдли Д. и др. (Англия), Барнс Дж., Пхадке А. и др. (США); Ciapessoni E. и др. (Италия); Sattinger W. и др. (Швейцария). Однако, как было отмечено ранее, рассматриваемая проблема многогранна и одна из научно-технических задач — повышение энергоэффективности сетей с распределенной генерацией с вакуумными выключателями в сетях от 6 до 35 кВ особенно актуальна для северных изолированных территорий.

На рис. 1 показано представление в виде блочной схемы автономной энергосистемы с распределенной генерацией. Автономная энергосистема представляет объединение электроэнергетической системы, тепловых сетей, источников энергии и потребителей электроэнергии и тепла.

Гибкость автономной энергосистемы на газотурбинных генераторах имеет как положительный, так и отрицательный характер, поскольку динамика переходных процессов в аварийных режимах работы увеличивается, что ведет к большим провалам по частоте и напряжению, а также ударным импульсным напряжениям. Основным решением является применение подготовительных мер, таких как обратная связь по напряжению и частоте, а также внедрение системы мониторинга суточного графика потребления нагрузки автономных энергосетей.

На основании Приказа ФАС России от 06.12.2022 № 933/22 «Об утверждении интервалов тарифных зон суток для потребителей на 2023 год (за исключением населения и (или) приравненных к нему категорий)» территории

технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем относятся к потребителям с плановой пиковой нагрузкой в часы с 1:00 по 14:00 и с 23:00 по 24:00 с января по декабрь (для Таймырского Долгано-Ненецкого района эти часы с 4:00 по 19:00). Это связано с вахтовой технологией работы. Создавая суточное планирование на производстве, соответствующее графику пикового потребления, возможно подготавливать систему к сбросу и набросу нагрузки. Данное мероприятие возможно осуществить, поскольку автономные изолированные системы с распределенной генерацией отличаются малой выработкой электроэнергии и небольшим числом потребителей относительно единой энергосистемы.

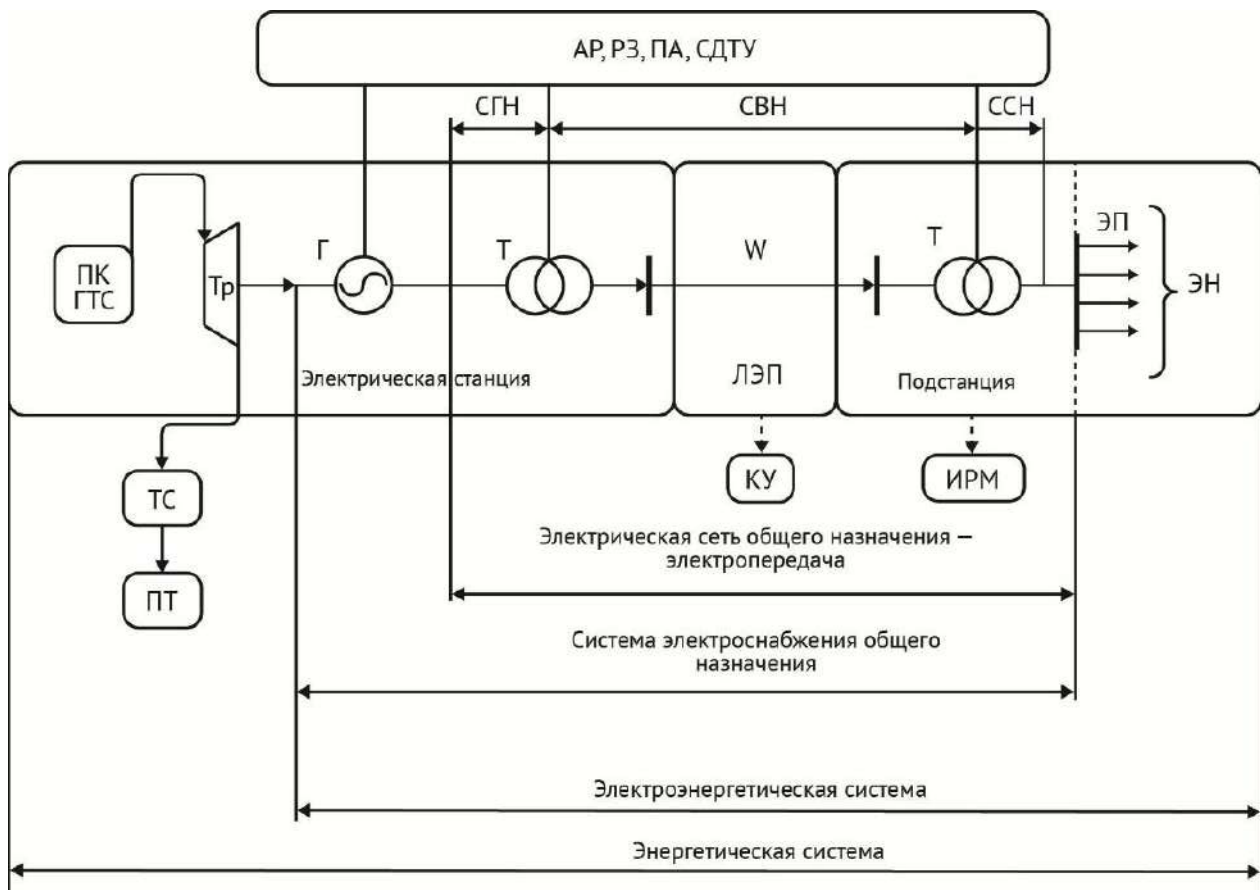


Рис. 1. Автономная энергосистема с распределенной генерацией: Г — генератор, W — линия электропередачи, КУ — компенсирующее устройство, ИРМ — источник реактивной мощности, Т — трансформатор, ЭП — потребители электроэнергии, АР — автоматические регуляторы, РЗ — устройства релейной защиты, ПА — противоаварийная автоматика, СДТУ — средства диспетчерского и технологического управления, ТС — тепловые сети, ПК — паровые котлы, ГТС — гидротехническое сооружение, Тр — турбина, ПТ — потребителей тепла

Рассмотрим Чаун-Билибинский энергоузел Чукотской изолированной системы в городе Певек. Автономная энергосистема представлена Чаунской ТЭЦ мощностью генерации 30 МВт, плавучей атомной теплоэлектростанцией «Академик Ломоносов» мощностью 64 МВт и распределительными сетями 110/35/6 кВ. По сети 110 кВ Певек соединен с Билибинской АЭС мощностью 36 МВт. План размещения представлен на рис. 2 [1].

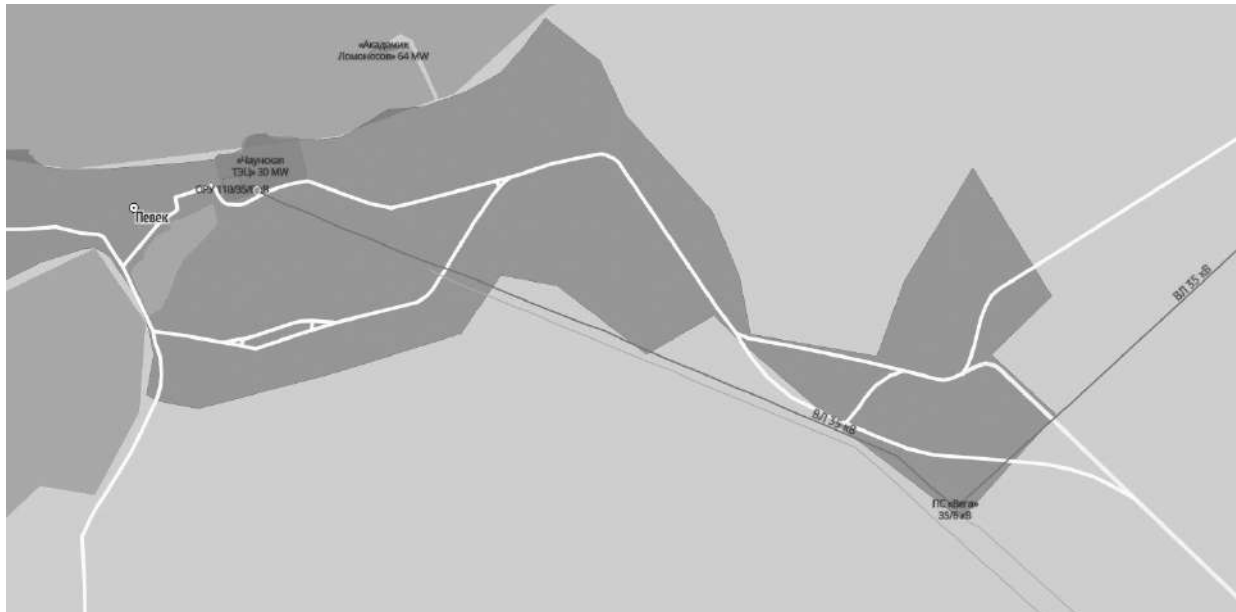


Рис. 2. План размещения Чаунской ТЭЦ, плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» и ПС Вега 35/6 кВ

Плавучая атомная теплоэлектростанция «Академик Ломоносов» решает ряд задач в данном регионе. Сейчас первый и второй энергоблоки работают на 38,8% и 17,2% своей мощности соответственно. Пока они несут вспомогательную роль для Чаунской ТЭЦ и Билибинской АЭС, но уже обеспечивают электроэнергией и теплом город Певек. Проблемой Билибинской АЭС является большой объем отработанного ядерного топлива из-за канальных водно-графитных реакторов, что наносит вред экологии региона. Станция работает в половину мощности после распада Союза и закрытия Билибинского горно-обогатительного комбината. С 14 января 2019 года станция вывела один энергоблок из четырех. Видна тенденция по снижению нагрузки на данный узел, и к 2026 году планируется вывести из эксплуатации Билибинскую АЭС. Сейчас второй энергоблок загружен на 51,8%, третий энергоблок загружен на 53,8%, четвертый энергоблок загружен на 52,1% [2].

Город Певек с населением 4000 человек в большей степени занимается золотодобычей в месторождениях, таких как «Двойное» и «Майское», и грузооборотом в порту акватории Северного морского пути. Являясь стратегическим портом в данном районе необходимо обеспечивать электроснабжением близлежащие населенные пункты и золоторудные прииски в соответствии с ГОСТ 32144-2013, удовлетворяя требованиям ЭМС. Усложняет задачу обеспечение питания береговой инфраструктуры от судовых атомных энергоблоков по системе «судно–берег».

Целью дальнейшей работы является разработка практически значимых научных положений и рекомендаций, позволяющих обеспечить устойчивость узлов нагрузки по напряжению изолированных сетей с распределенной генерацией от 6 до 35 кВ северных месторождений золотодобывающей отрасли.

Список использованной литературы

1. Схема ЛЭП и электроснабжения России // URL: <https://frexosm.ru/power> (Дата обращения: 11.04.2023)
2. The power reactor information system (PRIS) // URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx> (Дата обращения: 11.04.2023)

УДК 621.31

Горовой С. А.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

ПОДХОД ПО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВХОДНЫХ
ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В РАМКАХ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ

г. Ханты-Мансийск

Аннотация. Прогнозирование потребления электрической энергии и мощности является одной из приоритетных задач для оптимальной работы и развития электроэнергетической системы. Так как электроэнергия потребляется здесь и сейчас, не имея накопителей в промышленных масштабах, некачественный прогноз может привести к значительным финансовым потерям. В данной работе предлагается подход предварительного этапа прогнозирования потребления. Основывается данный подход на фильтрации входных данных на основе вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: *прогнозирование, вейвлет-преобразование, анализ временных рядов, потребление электроэнергии и мощности.*

Gorovoy S. A.

Yugra State University, Khanty-Mansiysk

THE APPROACH OF PRELIMINARY FILTERING OF INPUT DATA BASED
ON THE WAVELET TRANSFORM IN THE FRAMEWORK
OF CONSUMPTION PREDICTING

Khanty-Mansiysk

Abstract. Forecasting the consumption of electric energy and power is one of the priorities for optimal operation and development of the electric power system. Since electricity is consumed here and now, without having industrial-scale storage devices, a poor-quality forecast can lead to significant financial losses. In this paper,

the approach of the preliminary stage of predicting consumption is proposed. This approach is based on filtering input data based on the wavelet transform.

Keywords: *prediction, wavelet transform, time series analysis, electricity and power consumption.*

Прогнозирование потребления электрической энергии и мощности в настоящее время является одной из приоритетных областей исследования в электроэнергетике. Это также доказывает и то, что в федеральном законе «Об электроэнергетике» [4], принятом в марте 2003 года, одним из основных принципов оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике является обеспечение прогнозирования объемов производства и потребления электрической энергии.

Существует достаточно много различных методов прогнозирования, таких как мультипликативные авторегрессионные [6], динамически линейные, построенные на фильтрах Кальмана и т. д. [7]. Наибольшее распространение имеют такие методы прогнозирования, как линейные регрессионные модели [3] и модели, разделяющие нагрузку на две составляющие: базовую и переменную (зависящую от погоды) [8]. Однако большинство моделей являются линейными, притом что анализируемая нагрузка является нелинейной.

В рамках выполнения прогнозирования потребления одной из приоритетных задач является определение характерных локальных особенностей графика потребления. К таким особенностям можно отнести дневной и вечерний пик потребления, изменение режима работы отдельных потребителей, нехарактерные изменения потребления в течение дня, иное зашумление сигнала. Для исключения случайных составляющих из прогноза потребления в данной работе предлагается применять предварительную фильтрацию входных данных. Для целей предварительной фильтрации было решено использовать вейвлет-преобразование.

Математический аппарат вейвлет-преобразование является одним из методов обработки и анализа цифровых сигналов. Главным достоинством вейвлет-преобразования является то, что он обладает хорошей локализацией по частоте и по времени. Таким образом появляется возможность анализа локальных особенностей сигнала на различных масштабах.

Для разложения исходных данных с помощью вейвлет-преобразования используется следующая формула [5]:

$$\hat{F}(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где $\psi_{j,k}(t)$ — функция материнского вейвлета. Если учесть, что a и b — дискретные значения: $a = a_0^m$, $b = nb_0 a_0^m$ и $m, n \in Z$, получается:

$$\hat{F}_{m,n} = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \int f(t) \psi\left(\frac{t}{a_0^m} - nb_0\right) dt. \quad (2)$$

Восстановление исходных данных происходит по следующей формуле:

$$P(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} P_{n,k} \phi_{n,k}(t), \quad (3)$$

где j — уровень вейвлет-разложения; k — номер узла вейвлет-разложения; $\phi_{j,k}(t)$ — базисная функция.

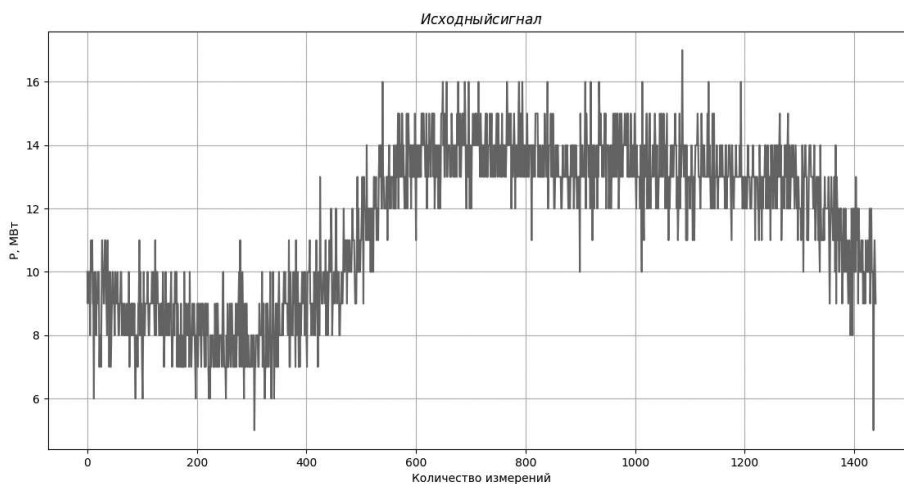


Рис. 1. Исходный сигнал

В качестве входных данных используется график суточного потребления подстанции с высшим классом напряжения 110 кВ (рис. 1). Процедура вейвлет-преобразования осуществлялась при помощи программного комплекса Python 3.10. Непрерывное вейвлет-преобразование приводит к значительным временным затратам в связи с большой избыточностью; также, учитывая, что входной временной ряд потребления активной мощности является дискретным, с шагом в одну минуту, было принято решение для анализа использовать дискретное вейвлет-преобразование.

В результате выполнения дискретного вейвлет-преобразования на первом уровне разложения произведена разбивка исходного сигнала на детализирующую и аппроксимирующую составляющую. Аналогичным образом последовательно на каждом уровне разложения аппроксимирующая составляющая также подвергалась разбивке на две составляющие. Опытным путем определена оптимальная глубина разложения исходного сигнала — уровень пять. На данном уровне получаем аппроксимирующую составляющую (линию тренда) характеризующую режим потребления активной мощности за день, на котором отчетливо можно выделить ночной минимум, утренний максимум, а также продолжительность рабочего дня (рис. 2). Проанализировав полученные на каждом уровне разложения детализирующие составляющие, можно выделить, за исключением детализирующей составляющей первого уровня (рис. 2), незначительные колебания по амплитуде, результатами которых можно пренебречь в целях исключения случайной составляющей (зашумления) сигнала.

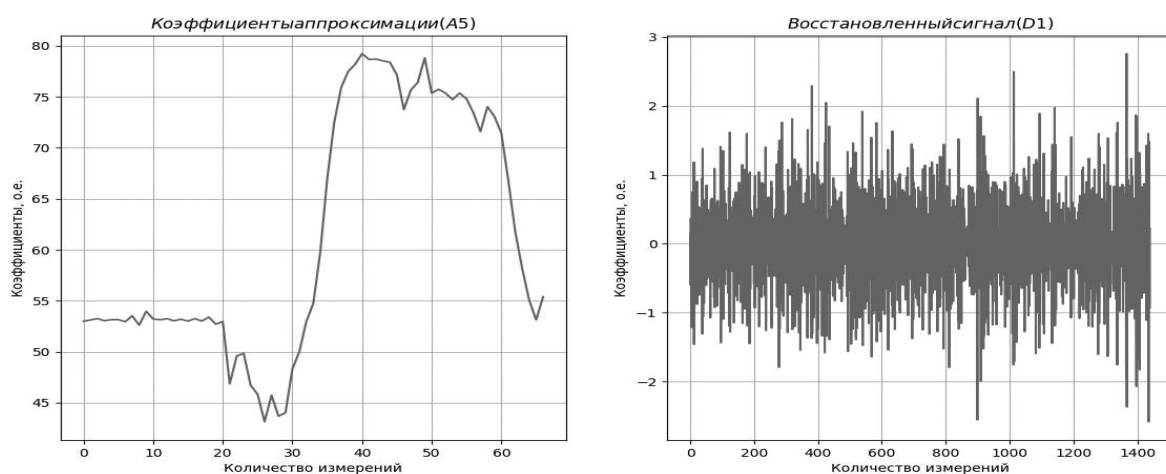


Рис. 2. Аппроксимирующая (A5) и детализирующая (D1) составляющие сигнала

Произведем восстановление сигнала по двум составляющим: аппроксимирующей на пятом уровне разложения и детализирующей на первом уровне разложения. На рис. 3 приведены исходный и восстановленный сигналы, можно заметить, что исключение детализирующих составляющих поспособствовало удалению из сигнала локальных нехарактерных всплесков.

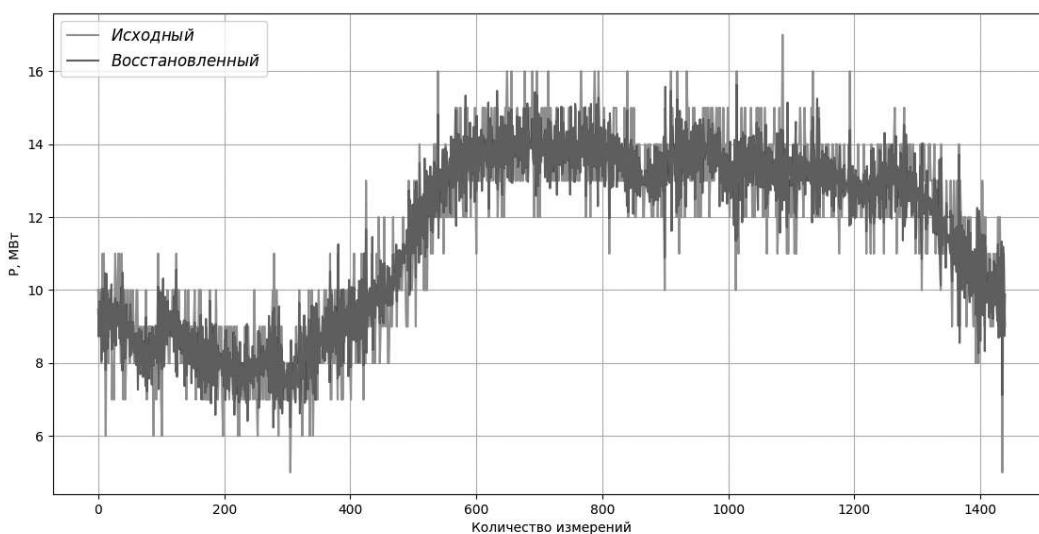


Рис. 3. Исходный и восстановленный сигналы

Таким образом в данной статье предлагается использовать вейвлет-преобразования как аппарат для предварительной фильтрации входных данных для прогнозирования потребления. Предлагается использовать полученные вейвлет-коэффициенты (аппроксимирующие и детализирующие) для дальнейшего отдельного прогнозирования по каждой составляющей, с последующим восстановлением полученного прогноза. В последнее время наибольшую популярность имеют методы, основанные на применении нейросетей. Применение предложенного подхода совместно с нейросетевым подходом прогнозирования является перспективным направлением для качественного прогноза потребления электроэнергии и мощности. Результат использования нейросетевого подхода отмечены авторами в статьях [1, 2, 9].

Список использованной литературы

1. Беглов, Р. Р. Нейросетевая система почасового прогнозирования потребления электроэнергии «на сутки вперед», инвариантная к графикам нагрузки / Р. Р. Беглов // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: сб. ст. междунар. науч.-технич. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне (г. Пенза, 19–21 мая 2015 г.). В 2 т. — Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. Т. 1. — С. 8–10.

2. Зуева, В. Н., Нейросетевое прогнозирование графиков нагрузки энергосистемы / В. Н. Зуева // Научно-методический электронный журнал «Концепт». — 2015. Т. 8. — С. 286–290.
3. Зуева, В. Н., Регрессионные методы прогнозирования графика нагрузки электрооборудования / В. Н. Зуева // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2017. — № 16. — С. 119–130.
4. Об электроэнергетике: Федеральный закон РФ от 26.03.2003 № 35-ФЗ.
5. Яковлев А. Н. Введения в вйвлет-преобразования: учеб. пособие / А. Н. Яковлев. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. — 104 с.
6. Matteewman P. D., Nicholson H. Techniques for load prediction in the electricity supply industry // Proc. IEE. 1968. V. 115. P. 1451–1457.
7. Taylor J. W. Short-Term Load Forecasting With Exponentially Weighted Methods // IEEE Transactions on Power Systems. 2012. Vol. 27, Issue 1. P. 458–464.
8. Douglas A.P. The impact of temperature forecast uncertainty on Bayesian load forecasting // IEEE Trans. PAS. 1998. Vol. 13, № 4. P. 118–124.
9. Trujillo-Romero F., Jiménez Jose del Carmen, Lopez W. G. Predicting Electricity Consumption Using Neural Networks // IEEE Latin America Transactions. 2011. Vol. 9, Issue 7. P. 292–295.

УДК 621.31

Сбитнев М. С., Менякин А. Г.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРЯМЫЕ И КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКОВ
ЦИФРОВЫМ ПРИБОРОМ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ
ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ВЛИЯНИЕМ
ПРИБОРОВ, СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЯДА
НАБЛЮДЕНИЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается методика замера прямых измерений напряжений и токов цифровыми приборами, с последующим расчетом погрешности измерения электрического сопротивления, тока и напряжения, обусловленное влиянием цифровых и аналоговых приборов. Анализ полученных знаний. Определение средней квадратической погрешности результатов прямых измерений.

Ключевые слова: абсолютная погрешность, относительная погрешность, прямые вычисления, косвенные вычисления, методическая погрешность.

Sbitnev M. S., Menyakin A. G.

Surgut State University, Surgut

DIRECT AND INDIRECT MEASUREMENTS OF VOLTAGE AND CURRENTS
BY A DIGITAL DEVICE. DETERMINATION OF THE METHODOLOGICAL
MEASUREMENT ERROR DUE TO THE INFLUENCE OF THE INSTRUMENTS
OF THE STANDARD ERROR OF A NUMBER OF OBSERVATIONS

Surgut

Abstract. The article discusses the method of measuring direct measurements of voltages and currents by digital devices, followed by the calculation of the measurement error of electrical resistance, current and voltage due to the influence

of digital and analog devices. Analysis of the acquired knowledge. Determination of the average square error of the results of direct measurements.

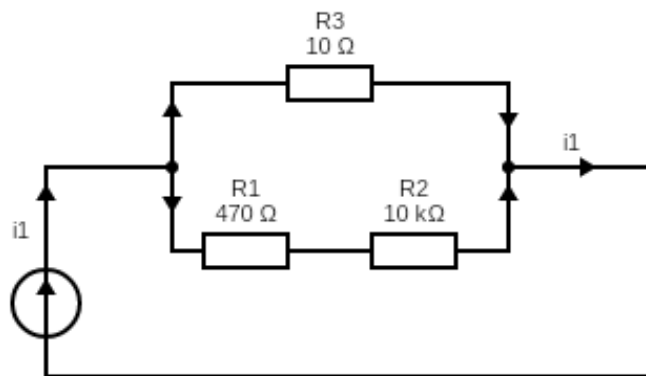
Keywords: *absolute inaccuracy, relative inaccuracy, direct calculations, indirect calculations, methodological inaccuracy.*

Введение. Когда работа затрагивает сбор или вычисление замеров в электрических приборах, для корректной работы опираются на погрешность самого прибора. Независимо от самого устройства и его предназначения, при подключении в цепь оно воздействует на нее, искажая итоговый результат наблюдений. Измененные, грубые, результаты наблюдений приводят к неточным вычислениям. Неточные вычисления ведут к последующим повторным, многочисленным опытам и длительному сбору. Для этого и рассчитывают погрешность устройств, и чем деликатнее и сложнее аппаратура, тем точнее должна быть погрешность во избежание непреднамеренных ошибок. Ниже предоставлен расчет о погрешностях, сделанный в период от 10 по 31 марта в Сургутском государственном университете, группой 603-21 профиля Электроэнергетики. Цель работы, главным образом, изучить методику вычислений погрешности прямых измерений в связи с расчетом цепи.

1-й этап. Сбор и анализ первичных данных.



Для проведения работы была построена цепь на стенде с тремя резисторами: два были подключены последовательно, параллельны третьему. Схема была выбрана не предвзято и хаотично, однако такое сложное строение послужило более деликатной и правильной работе с вычислениями. Во время работы использовались два мультиметра для снятия показаний с каждого резистора по отдельности. Во избежание неправильных или неточных данных было решено снимать трижды показания на каждом мультиметре. Включив питание автомата, установим входное напряжение 10 В на мультиметре регулятором источника питания и измерим все 3 резистора: R1 (479 Ом), R2 (10 кОм), R3 (10 Ом), подключенных в цепь с нерегулируемым источником питания. Далее измерим ток на каждом участке цепи и после, отключив питания источника, измерим сопротивление. Когда результат совпадал с двумя предыдущими, показания заносились в таблицу.



2-й этап. Расчет косвенных измерений, абсолютных и относительных погрешностей.

После того, когда были сняты прямые измерения: ток, сопротивление и напряжение, далее, опираясь на результаты замеров, производится вычисление косвенных значений токов, напряжений, сопротивлений и мощностей, выделяемых на резисторах по формулам последовательного и параллельного соединения резисторов:

$$R_{12} = R_1 + R_2 \text{ — расчет одной из ветвей цепи.}$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{12} * R_3}{R_{12} + R_3} \text{ — общее сопротивление цепи.}$$

$$U_{\text{общ}} = E = 10\text{В} \text{ — общее напряжение цепи.}$$

$$I_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{R_{\text{общ}}} \text{ — общий ток цепи.}$$

Для дальнейшей работы потребуются также технические характеристики одного из мультиметров (основным был выбран МУ-64).



Постоянное напряжение	
Нормирующее значение	1000 В
Класс точности	1%
Постоянный ток	
Нормирующее значение	10 А
Класс точности	2%
Сопротивление	
Нормирующее значение	200 МОм
Класс точности	6%

По результатам замеров рассчитаем абсолютные и относительные погрешности измерений формулам:

$$\Delta I_n = I_{\text{Прп}} - I_{\text{Косп}} \text{ — абсолютная погрешность тока.}$$

$$\Delta U_n = U_{\text{Прп}} - U_{\text{Косп}} \text{ — абсолютная погрешность напряжения.}$$

$\Delta R_n = R_{Ппр} - R_{Косп}$ — абсолютная погрешность сопротивления.

$I\delta_n = \frac{\Delta I_n}{I_{Косп}} * 100\%$ — относительная погрешность тока.

$U\delta_n = \frac{\Delta U_n}{U_{Косп}} * 100\%$ — относительная погрешность напряжения.

$R\delta_n = \frac{\Delta R_n}{R_{Косп}} * 100\%$ — относительная погрешность сопротивления.

Итогом является таблица, представленная ниже:

Измерения	Параметры		Абсолютная погрешность, Δ	Относительная погрешность, δ
	Класс точности, γ	Нормирующее значение, χ_n		
Прямые измерения				
$I_{R1} - (0,60) \text{ мА}$	2%	10 А	-1,0004 А	0,99%
$I_{R2} - (0,60) \text{ мА}$	2%	10 А	-0,9994 А	0,99%
$I_{R3} - (0,28) \text{ А}$	2%	10 А	-0,72 А	0,72%
$U_{R1} - (0,12) \text{ В}$	1%	1000 В	-0,35 В	0,74%
$U_{R2} - (2,93) \text{ В}$	1%	1000 В	-7,07 В	0,7%
$U_{R3} - (3,05) \text{ В}$	1%	1000 В	-6,95 В	0,7%
$R_1 - (413) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	-57 Ом	0,12%
$R_2 - (422) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	-9578 Ом	0,95%
$R_3 - (10,2) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	0,2 Ом	0,02%
Косвенные измерения				
$I_{R1} - (1,001) \text{ А}$	2%	10 А	-1,0004 А	0,99%
$I_{R2} - (1) \text{ А}$	2%	10 А	-0,9994 А	0,99%
$I_{R3} - (1) \text{ А}$	2%	10 А	-0,72 А	0,72%
$U_{R1} - (0,47) \text{ В}$	1%	1000 В	-0,35 В	0,74%
$U_{R2} - (10) \text{ В}$	1%	1000 В	-7,07 В	0,7%
$U_{R3} - (10) \text{ В}$	1%	1000 В	-6,95 В	0,7%
$R_1 - (470) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	-57 Ом	0,12%
$R_2 - (10) \text{ КОм}$	6%	200 МОм	-9578 Ом	0,95%
$R_3 - (10) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	0,2 Ом	0,02%
$P_1 - 0,00047$	-	-	-	-
$P_2 - 0,01$	-	-	-	-
$P_3 - 10$	-	-	-	-

3-й этап. Определение методической погрешности измерений.

Опираясь на вычисления и взятые замеры с прошлого этапа приступаем к расчету методической погрешности, вносимой цифровыми приборами:

$R_{ом}$ — общее измеренное значение сопротивлений в цепи, Ом, кОм;

$R_{ок}$ — общее косвенное значение сопротивлений в цепи, Ом, кОм;

$I_{ом}$ — общее измеренное значение тока в цепи, А, мА;

$I_{ок}$ — общее косвенное значение тока в цепи, А, мА;

$U_{ом}$ — общее измеренное значение напряжений в цепи, В, мВ;

$U_{ок}$ — общее косвенное (входное) значение напряжений в цепи, В, мВ.

$$\text{Для омметра: } \Delta_{пр} = \frac{(R_{ом} - R_{ок})}{100}$$

$$\text{Для амперметра: } \Delta_{пр} = \frac{(I_{ом} - I_{ок})}{100}$$

$$\text{Для вольтметра: } \Delta_{пр} = \frac{(U_{ом} - U_{ок})}{100}$$

Значение величин, получаемых цифровыми приборами						
Погрешность, вносимая прибором	$R_{ом}$, Ом, кОм	$R_{ок}$, Ом, кОм	$I_{ом}$, А, мА	$I_{ок}$, А, мА	$U_{ом}$, В, мВ	$U_{ок}$, В, мВ
	0,97 Ом	9,99 Ом	3,14 А	1,001 А	3,05 В	10 В
$\Delta_{пр}, \%$	0,0902%	0,0902%	0,021%	0,021%	0,069%	0,069%

Следующее действие — по результатам трехкратных наблюдений определим среднее арифметическое значение тока $I_{ср}$, которое принимается равным результату измерения:

$$I_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

Вычисляем остаточные погрешности ΔI_i , представляющие собой разности между результатами отдельных наблюдений I_i и среднеарифметическим значением $I_{ср}$. Следом сразу же определим квадраты остаточных погрешностей ΔI_i^2 :

$$\Delta I_i = I_i - I_{ср}$$

Предполагая, что погрешности измерены по нормальному закону, найдем среднеквадратическую погрешность ряда наблюдений δ через остаточные погрешности ΔI_i :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta I_1^2 + \Delta I_2^2 \dots + \Delta I_n^2}{n-1}}$$

Опираясь на приведенные выше формулы, начиная с определения среднего арифметического значения, вычислим погрешности измерений напряжения и сопротивления. На заключительном этапе требуется вычислить значение среднеквадратической погрешности результата измерения σ_A , с которой определено среднеарифметическое значение I_{cp} :

$$\sigma_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Все вычисления после занесения в таблицу будут иметь такой вид:

Значения величин, получаемых цифровыми приборами				
Измеренные значения R, Ом, I, A и U, В	Остаточные погрешности $\Delta R_i = R_i - R_{cp}$, Ом $\Delta I_i = I_i - I_{cp}$, А $\Delta U_i = U_i - U_{cp}$, В	Квадраты остаточных погрешностей ΔR_i^2 , Ом ΔI_i^2 , А ΔU_i^2 , В	σ , Ом, А, В	σ_A , Ом, А, В
$I_{R1} - (0,60)$ мА	0,0931 А	0,0086 А	0,1237 А	0,071 А
$I_{R2} - (0,60)$ мА	0,0931 А	0,0086 А	0,1237 А	0,071 А
$I_{R3} - (0,28)$ А	-0,18 А	0,0441 А	0,1237 А	0,071 А
$U_{R1} - (0,12)$ В	1,91 В	3,6481 В	1,172 В	0,67 В
$U_{R2} - (2,93)$ В	-0,9 В	0,81 В	1,172 В	0,67 В
$U_{R3} - (3,05)$ В	-1,02 В	1,0404 В	1,172 В	0,67 В
$R_1 - (413)$ Ом	-131 Ом	17161 Ом	166,31 Ом	96,01 Ом
$R_2 - (422)$ Ом	-140 Ом	19600 Ом	166,31 Ом	96,01 Ом
$R_3 - (10,2)$ Ом	271,8 Ом	73875,24 Ом	166,31 Ом	96,01 Ом

В заключение мы сравним значение погрешностей наших значений с классом точности прибора. Как следствие, значения меньше класса точности:

$$\frac{0,071 \text{ A}}{100} * 100\% = 0,00071\% < 1\%$$

$$\frac{0,67 \text{ В}}{100} * 100\% = 0,0067\% < 2\%$$

$$\frac{96,01 \text{ Ом}}{100} * 100\% = 0,9601\% < 6\%$$

Для контроля расчетов просуммируем остаточные погрешности и убедимся в том, что алгебраическая сумма остаточных погрешностей тока практически равна нулю.

$$0,0931 \text{ A} + 0,0931 \text{ A} + (-0,18)\text{A} = 0$$

$$1,91 \text{ В} + (-0,9) \text{ В} + (-1,02) \text{ В} = 0$$

$$(-131) \text{ Ом} + (-140) \text{ Ом} + 271,8 \text{ Ом} = 0$$

Проанализировав полученные значения, отметим, что суммы погрешностей равны нулю и среднеквадратические погрешности результата не превышают класс точности мультиметра. Вследствие работы мы изучили методику определения методической погрешности измерения электрического сопротивления, тока и напряжения, обусловленного влиянием цифровых приборов, позже проведя анализ полученных значений, определяя среднеквадратическую погрешность результатов прямых измерений.

Список использованной литературы

1. Electronic workbench — моделирование электронных схем / [Электронный ресурс] // Powered House : [сайт]. — URL: <https://poweredhouse.ru/electronic-workbench-modelirovanie-ehlektronnyh-skhem-skachat-programmu/> (Дата обращения: 16.04.2023).
2. Белов, Н. В. Инструкция по работе с Electronics Workbench (Лабораторные работы по электротехнике) / Н. В. Белов, П. Н. Шкатов [Электронный ресурс] // studizba : [сайт]. — URL: <https://studizba.com/files/show/doc/213904-1-instrukciya-po-rabote-s-electronics.html> (Дата обращения: 16.04.2023).
3. Семенов, А. А. Разработка метода сравнения двух многомерных векторов в реальном времени на основе миварных экспертных систем / А. А. Семенов, О. О. Варламов // Проблемы искусственного интеллекта. — 2020. — № 2 (17). — С. 94–109. — EDN FXAOKP. (Дата обращения: 16.04.2023).
4. Управление качеством производственных процессов и систем : Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям

подготовки 27.04.02 «Управление качеством» / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова, П. В. Голиницкий. — Москва : Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, 2018. — 182 с. — EDN YUMFJZ. (Дата обращения: 16.04.2023).

5. Методика расчета натяга для соединений резиновых армированных манжет с валами по критерию начала утечек / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Ю. В. Катаев, О. М. Мельников // Вестник машиностроения. — 2019. — № 3. — С. 41–44. — EDN RMYNAQ.

6. Сафонов, А. И. Экспертиза промышленных предприятий Донбасса по состоянию фитокомпонентов / А. И. Сафонов // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. — 2019. — № 1–2. — С. 35–43. — EDN XDXZEY.

УДК 621.311

Момотов А. Е.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ДИАГНОСТИКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

г. Сургут

Аннотация. В данной публикации рассмотрены основные виды повреждений асинхронных двигателей, применяемых в составе силовых приводов буровых установок. С помощью программного комплекса Matlab и пакета Simulink, была построена математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, на основе которой было проведено моделирование в среде компьютерной математики. По полученным результатам был сделан вывод о возможности моделирования работы асинхронного двигателя при различных степенях повреждений.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, диагностирование электродвигателя, математическая модель.

Momotov A. E.

Surgut State University, Surgut

DIAGNOSTICS AND DETERMINATION
OF THE TECHNICAL CONDITION
OF A HIGH-VOLTAGE ASYNCHRONOUS MOTOR

Surgut

Abstract. This publication discusses the main types of damage to asynchronous motors used as part of the power drives of drilling rigs. Using the Matlab software package and the Simulink package, a mathematical model of an induction motor with a squirrel-cage rotor was built, on the basis of which modeling was

carried out in a computer mathematics environment. Based on the results obtained, it was concluded that it is possible to simulate the operation of an asynchronous motor with various degrees of damage.

Keywords: *asynchronous electric motor, electric motor diagnostics, mathematical model.*

В настоящее время асинхронные электродвигатели (далее — АД) составляют основу электроприводных агрегатов большинства промышленных механизмов. Несмотря на высокую надежность работы АД, опыт применения свидетельствует о большом количестве выходов из строя и аварий, возникающих при тяжелой промышленности, что влечет за собой нарушение технологических процессов, невыполнение планов и незапланированные финансовые затраты. В следствие этого потребность в совершенствовании диагностических систем путем повышения эффективности и оперативности проведения диагностических работ во время эксплуатации высоковольтного оборудования с целью профилактики возможных повреждений и дефектов, а также для точного определения их характера на ранних стадиях развития, с каждым годом только растет.

Работоспособность АД зависит от огромного количества факторов, которые напрямую влияют на формирование повреждений и количество аварий. Зачастую причинами выхода из строя является допущение ошибок на стадиях проектирования и сборки электродвигателя, а также некачественное обслуживание или ремонт, что обусловлено наличием человеческого фактора.

АД рассчитаны на срок службы 16–20 лет без капитального ремонта, при условии соблюдения надежной эксплуатации и неперевышения номинальных параметров, прописанных в рабочей документации. Отклонения параметров режимов работы электродвигателя от номинальных значений происходят по причине несоответствия питающего напряжения (увеличение числа пиковых нагрузок) и нарушения технической эксплуатации, что обусловлено осложнением технологических операций при тяжелой промышленности. Результатом подобных отклонений параметров является ежегодное увеличение количества аварийных ситуаций и, как следствие, непредвиденные дорогостоящие ремонты.

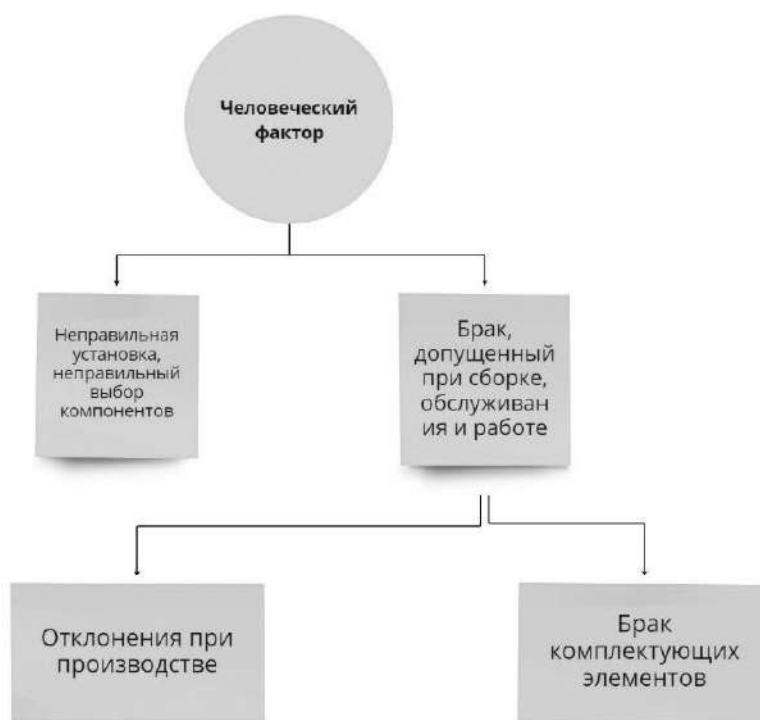


Рис. 1. Повреждения АД, обусловленные человеческим фактором



Рис. 2. Причины неисправностей электродвигателей

Все повреждения АД подразделяют на две основные группы: механические и электрические.

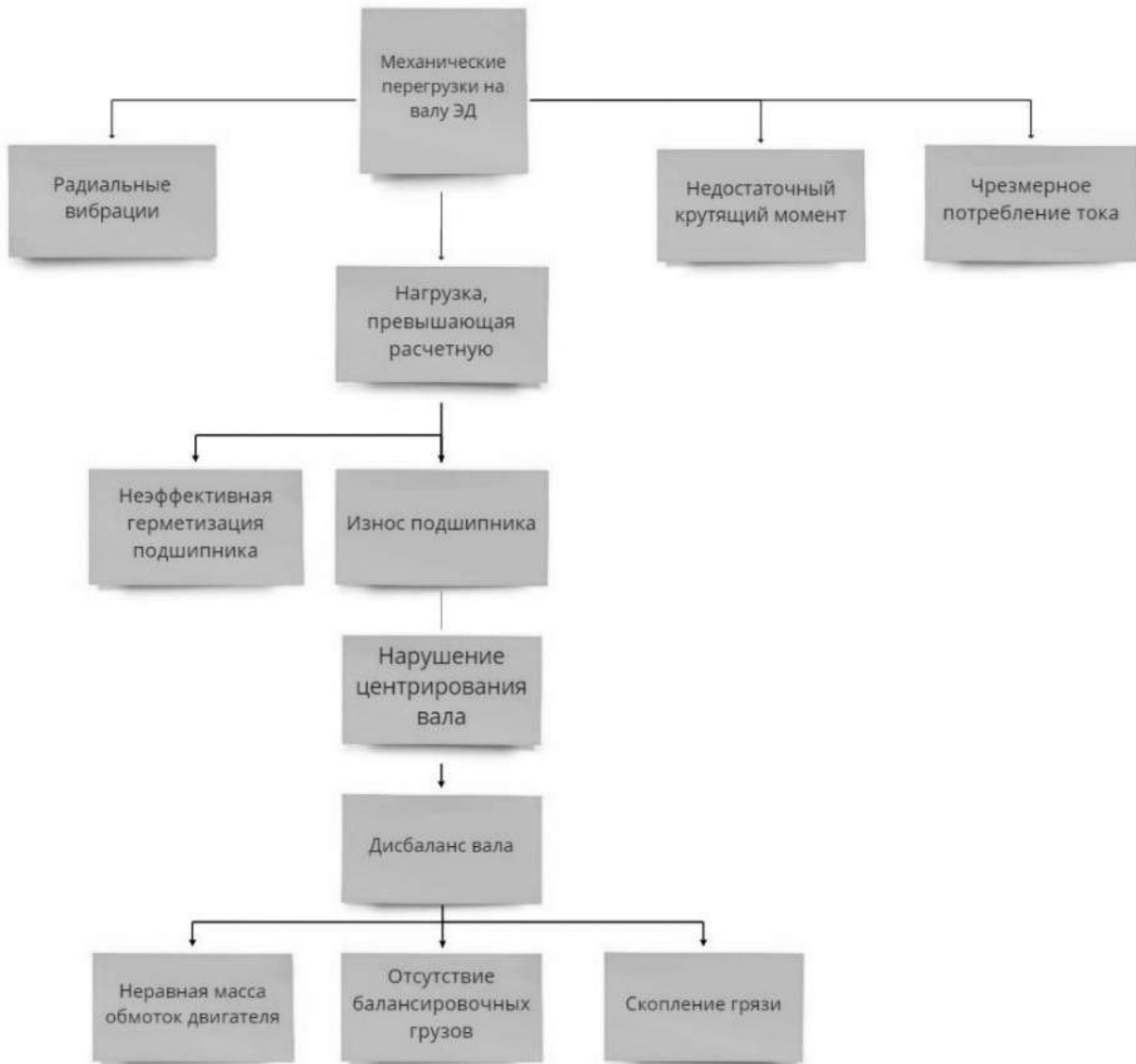


Рис. 3. Механические повреждения АД

Согласно статистике, было определено, что самым распространенным механическим повреждением является неисправность подшипника. Увеличение шума и вибрация электрической машины являются признаками повреждения.

К электрическим повреждениям в большинстве случаев относят причины отказов, которые связаны с повреждением фазной обмотки, межвитковым замыканием, а также пробоем межфазной и пазовой изоляций.

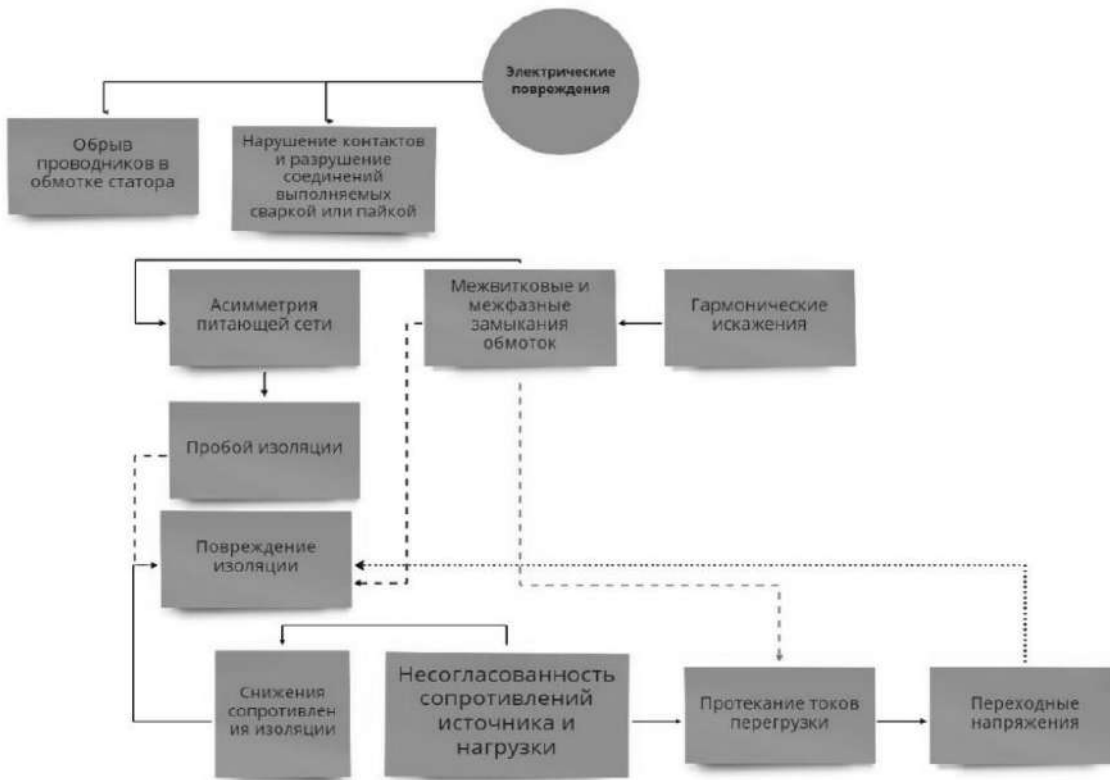


Рис. 4. Электрические повреждения электродвигателя

В ходе написания работы была построена имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с целью сравнения стационарных и переходных процессов при возникновении повреждений в роторе, характер которых был определен с помощью проведенного анализа на основании полученных спектрограмм магнитной индукции.

При анализе электромагнитных процессов широкое применение нашел метод анализа амплитудно-частотного спектра тока статора.

Описание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d \cdot i_{\alpha}(t)}{dt} &= \frac{(U_{\alpha} - X_{\mu} \cdot i_{c\alpha} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\alpha} + K_r \cdot Z_p \cdot \omega \cdot \psi_{r\beta})}{L_e}, \\ \frac{d \cdot i_{\beta}(t)}{dt} &= \frac{(U_{\beta} - X_{\mu} \cdot i_{c\beta} + K_r \cdot A_r \cdot \psi_{r\beta} + K_r \cdot Z_p \cdot \omega \cdot \psi_{r\alpha})}{L_e}, \\ \frac{d \cdot \psi_{r\alpha}(t)}{dt} &= r_r \cdot K_r \cdot i_{c\alpha} - A_r \cdot \psi_{r\alpha} Z_p \cdot \omega \cdot \psi_{r\beta}, \\ \frac{d \cdot \psi_{r\beta}(t)}{dt} &= r_r \cdot K_r \cdot i_{c\beta} - A_r \cdot \psi_{r\beta} Z_p \cdot \omega \cdot \psi_{r\alpha}, \\ \frac{d \cdot \omega(t)}{dt} &= \frac{1}{J} \cdot (K_e \cdot (\psi_{r\alpha} i_{c\beta} - \psi_{r\beta} i_{c\alpha}) - M_e), \end{aligned}$$

где U_α, U_β — напряжения обмоток статора в неподвижной системе; $i_\alpha(t), i_\beta(t)$ — токи статора и ротора; r_s, r_r' — активные сопротивления обмоток статора и ротора; x_s, x_r' — индуктивные сопротивления статора и ротора; M — взаимная индуктивность; ω — угловая скорость вращения ротора.

Параметры схемы замещения модели были определены по каталожным данным. В качестве исследуемого двигателя был взят за основу асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4А3М-1600/6000.

Таблица 1. — Параметры асинхронного двигателя 4А3М-1600/6000

Тип двигателя	P_n , кВт	U_n , В	n , об/мин	I^s , А	КПД, %	$\cos\varphi$	$k_1 = \frac{I_H}{I}$	M_n	M_{max}
4А3М-1600/6000	1600	6000	2973	179	96,6	0,89	5,2	0,9	2

Таблица 2. — Результаты расчета

Тип двигателя	P , кВт	Параметры схемы замещения									
		В рабочем режиме					При повреждениях ротора				
		r_s , Ом	r_r' , Ом	x_s , Ом	x_r' , Ом	x'' , Ом	r_s , Ом	r_r' , Ом	x_s , Ом	x_r' , Ом	x'' , Ом
4А3М-1600/6000	1600	25,8	19,5	0,811	0,823	0,823	25,8	9,75	0,811	0,823	0,823

С помощью встроенных стандартных инструментов (блоков) в библиотеке SimPowerSystems была построена имитационная модель АД с короткозамкнутым ротором.

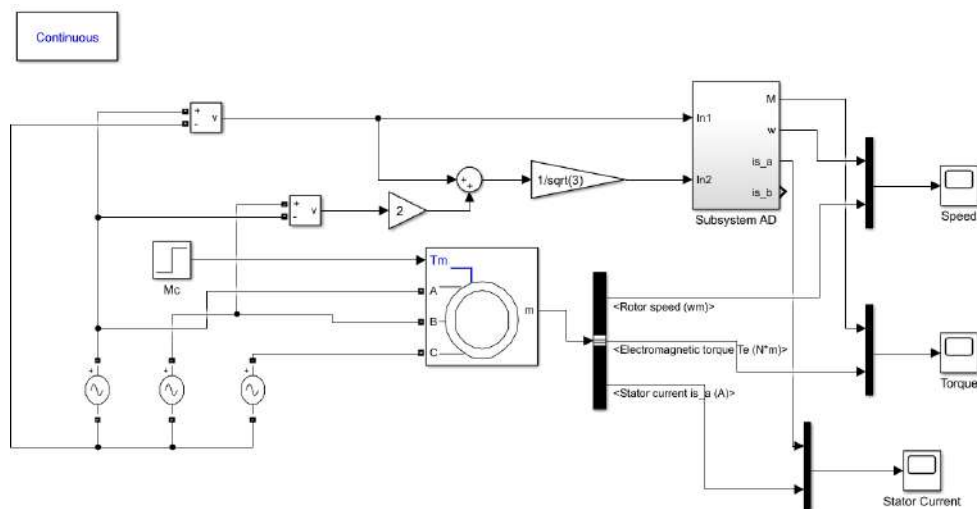


Рис. 5. Модель асинхронного двигателя

Составленная ранняя система уравнений АД представлена в виде подсистемы Subsystem AD.

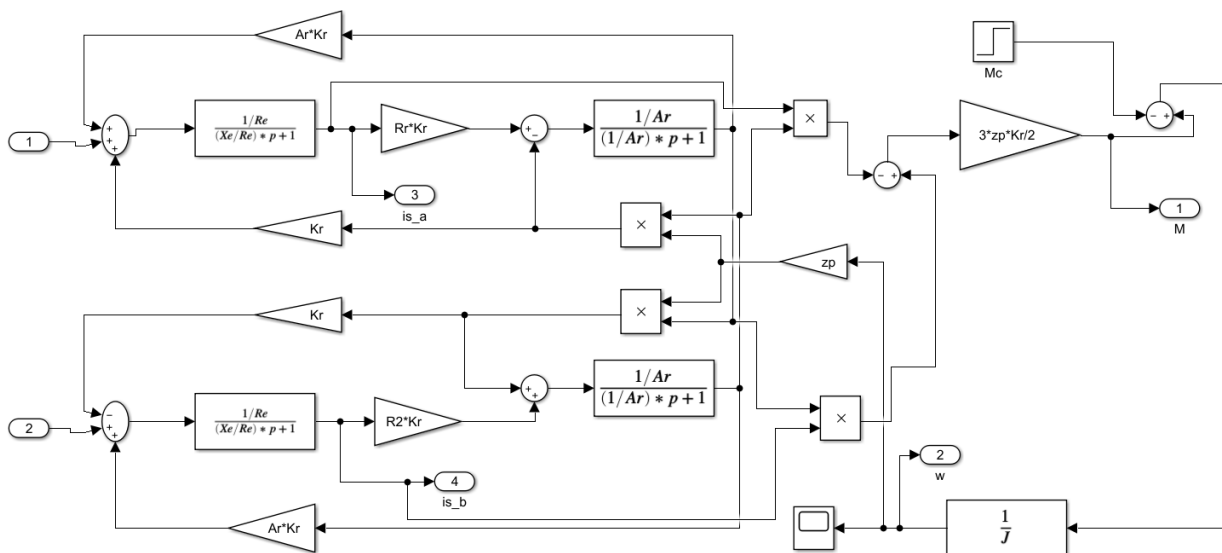


Рис. 6. Subsystem AD

На рис. 7 и 8 запечатлены результаты моделирования токов обмотки статора в рабочем режиме и при повреждении ротора.

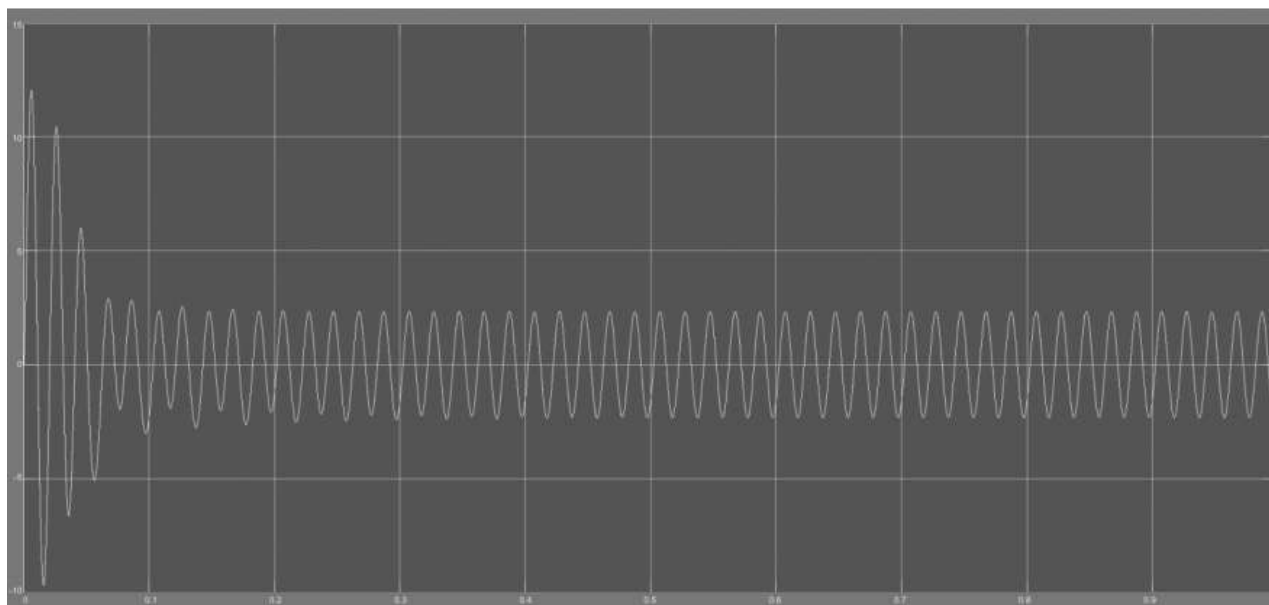


Рис. 7. Рабочий режим АД

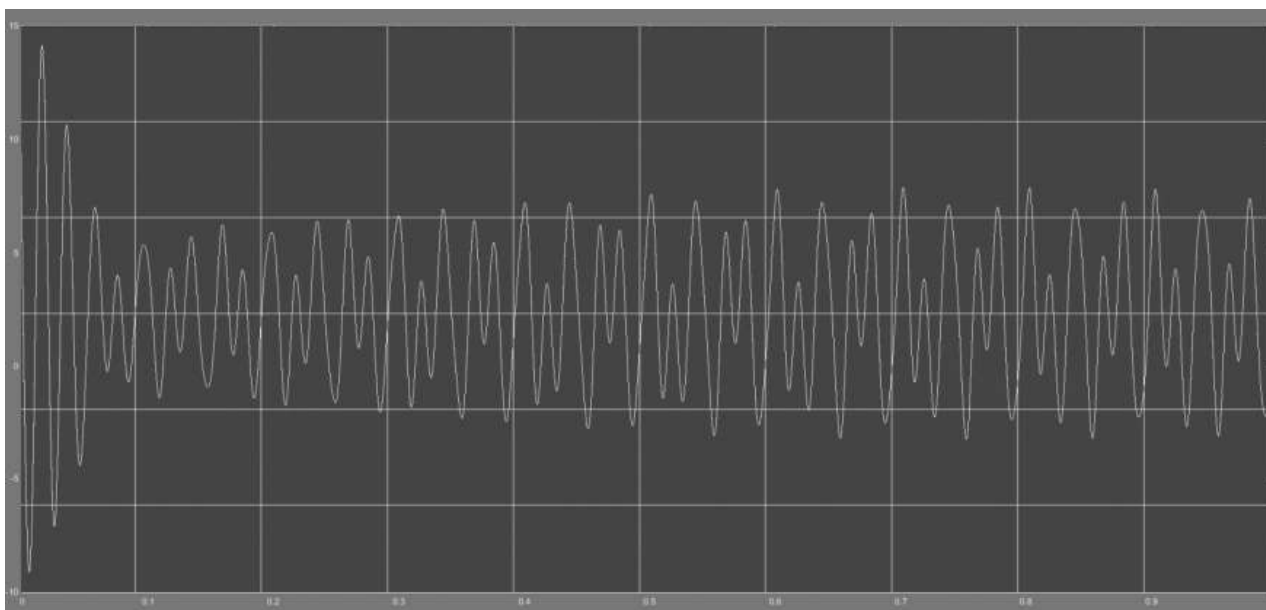


Рис. 8. Повреждение ротора АД

Также на рис. 9 и 10 представлены спектры тока при частоте 50 Гц и при повреждении ротора. На рисунках обозначены пики частот.

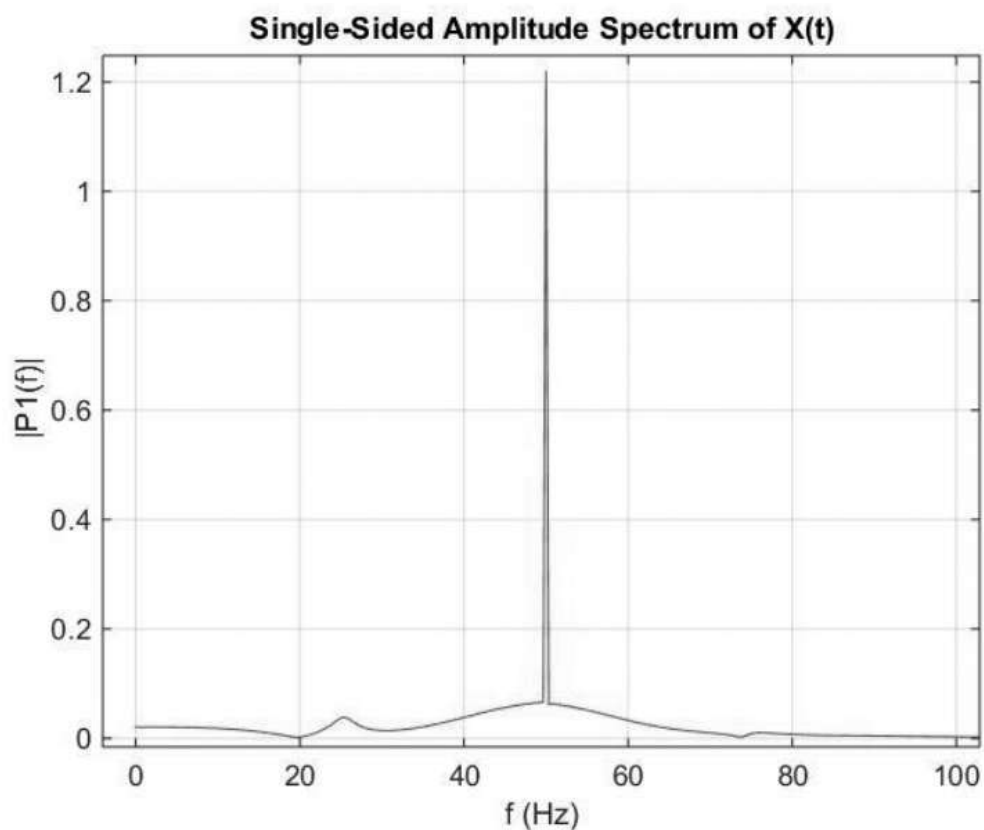


Рис. 9. Рабочий режим АД (спектр тока)

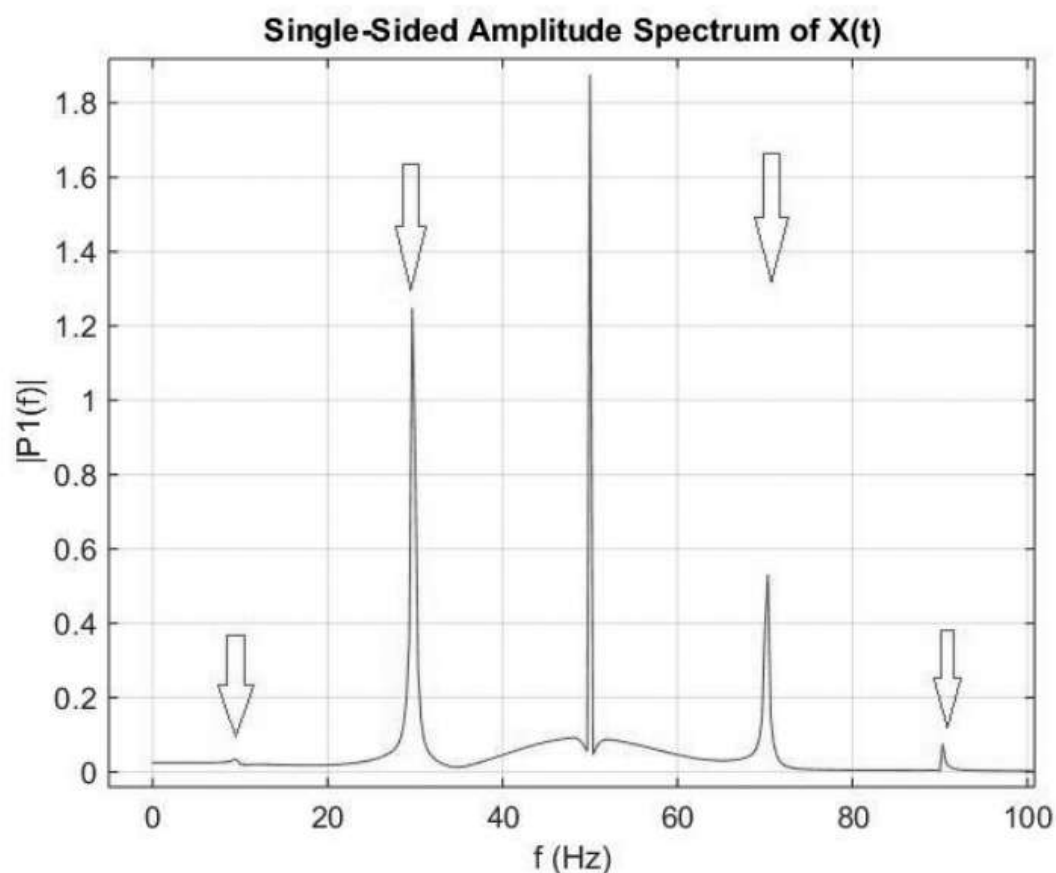


Рис. 10. Повреждение ротора АД (спектр тока)

С помощью смоделированной системы был разработан способ диагностирования неисправностей ротора на основании полученных диагностических кривых, анализе амплитудных значений и полос боковых частот при различной степени повреждения с помощью применения спектрального анализа тока в Simulink/Matlab.

Построенная математическая модель позволяет определять техническое состояние асинхронного двигателя и степень развивающихся повреждений, также становится возможным увеличить количество часов наработки двигателя, снизить риск выхода из строя агрегата и преждевременно определить срок планового ремонта.

Список использованной литературы

1. Барков, А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации : учебное пособие / А. В. Барков, Н. А. Баркова. — СПб. : СПбГМТУ, 2004. — 152 с.

2. Мощинский, Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронных двигателей по каталожным данным // Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин. «Электричество», 1098. — С. 38–42.
3. Шевчук, В. А. Сравнение методов диагностики асинхронного двигателя / В. А. Шевчук, А. С. Семёнов // Международный студенческий научный вестник. — 2015. — URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=14100> (Дата обращения: 16.04.2022).
4. Хорольский, В. Я. Эксплуатация электрооборудования // В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, В. Н. Шемякин. — СПб : «Лань», 2017. — 266 с.
5. Сыромятников, И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И. А. Сыромятников. «Энергоатомиздат», 1984. — 240 с.
6. Хальясмаа, А. И. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учебное пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 64 с.
7. Хомутов, С. О. Система поддержания надежности электрических двигателей на основе комплексной диагностики и эффективной технологии восстановления изоляции [Электронный ресурс] : монография / С. О. Хомутов. — 399 с.

УДК 621.316.13

Сушков В. В.¹, Сушкова В. Р.², Самохина Н. Н.¹

¹Нижевартовский государственный университет, г. Нижневартовск

²Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

ОБОСНОВАНИЕ ИНДЕКСА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ
РАНЖИРОВАНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ
ПО ПРИОРИТЕТНОСТИ ОТКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ
ДЕФИЦИТА АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассмотрено определение индекса технического состояния (ИТС) для ранжирования нефтепромысловых потребителей по приоритету отключений при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме. Расчет значения ИТС основан на вычислении вероятностных характеристик структурной надежности системы электроснабжения и сравнении полученных показателей с нормой надежности.

Ключевые слова: индекс технического состояния (ИТС), нефтепромысловые потребители, норма надежности, величина ущерба.

Sushkov V. V.¹, Sushkova V. R.², Samokhina N. N.¹

¹Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk

²Tyumen Industrial University, Tyumen

SUBSTANTIATION OF THE TECHNICAL CONDITION INDEX FOR RANKING
OILFIELD CONSUMERS BY THE PRIORITY OF OUTPUTS IN THE EVENT
OF ACTIVE POWER SHORTAGE IN THE POWER SYSTEM

Surgut

Abstract. This article discusses the definition of the technical condition index (ITC) for ranking oilfield consumers according to the priority of outages in the event of a shortage of active power in the power system. The calculation

of the ITC value is based on the calculation of the probabilistic characteristics of the structural reliability of the power supply system and the comparison of the obtained indicators with the reliability standard.

Keywords: technical condition index (ITC), oilfield consumers, reliability standard, damage value.

В настоящее время известен ряд документов по ограничению режима потребления электрической энергии при возникновении дефицита активной мощности в энергосистеме. Например, в [2] определен порядок разработки графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии, включая порядок определения величины технологической и аварийной брони и требования к энергопринимающим устройствам, подключенным к токоприемникам технологической и аварийной брони. Однако отсутствует научно обоснованная методика по определению приоритета нагрузки, подлежащей отключению на основе ранжирования нефтепромышленных потребителей с учетом надежности электрических сетей.

При ранжировании по надежности сетевого оборудования следует учитывать следующие параметры: техническое состояние (ТС); количественную оценку интегральных показателей надежности конкретного вида сетевого оборудования; риск и возможный ущерб при аварийном отключении (отказе).

В настоящее время в электрических сетях напряжением 110 кВ и выше планирование технического обслуживания и ремонтов оборудования осуществляется на основе расчета индекса технического состояния (ИТС), который в нашем случае использован для ранжирования с целью формирования списка очередности. Так, в соответствии с методологией определения ИТС электрооборудования [1, 3] формируется ранжированный состав электрооборудования, упорядоченный по критерию уменьшения вероятности возникновения отказа по техническим причинам в зависимости от уровня эксплуатации, возможных последствий в технологии от возникновения аварийных отключений и действий по профилактике, определяется вид воздействия на оборудование. В этом списке наименьшему значению ИТС (критический уровень) соответствует наибольший приоритет по включению в список очередности.

В данной работе идея определения ИТС включает в себя оценку риска, основанного на вероятностных характеристиках надежности электро-

снабжения, влияющих на технологию и, соответственно, на величину ущерба. Расчеты надежности проводятся для определенных схем питания потребителей, обеспечивающих требуемую категорию по надежности. Категория по надежности может быть представлена в количественном выражении [4]. Примем ИТС равным 100%, если электрические сети оснащены новым оборудованием или обеспечивают норму надежности и требуемую категорию по надежности, выраженную в количественных показателях. В дальнейшем производится расчет надежности системы электроснабжения нефтепромысловых потребителей на основе реальных данных и сравнение полученных показателей надежности с нормой надежности. ИТС определяется в процентах от нормы.

Норма надежности определяется исходя из следующих соображений. В настоящее время выявлены категории электроснабжения нефтепромысловых потребителей по степени надежности их электроснабжения, где определены схемные решения и допустимое время восстановления системы электроснабжения t_{Bi} потребителей в зависимости от категории по надежности. Например, для потребителей I категории время восстановления $t_{д.вI} = 2$ с (время действия устройств АВР и АПВ) и $t_{д.вI} = 20$ мин. (для нефтепромысловых объектов, имеющих технологическое резервирование), для потребителей II и III категорий — соответственно $t_{д.вII} \leq 10$ ч, $t_{д.вIII} \geq 24$ ч. Следовательно, первым условием нормы надежности принято неравенство: $t_{д.в} > t_{в}$, где $t_{в}$ — средняя длительность перерыва в электроснабжении нефтепромыслового потребителя.

Следующий критерий — безотказность функционирования установок (объектов) добычи за требуемое время эксплуатации $T_{эк}$ объекта нефтедобычи. При этом можно предположить, что $T_{эк}$ должно быть близко или равно сроку службы основного технологического оборудования. Очевидно, что величина, обратная сроку службы $T_{эк}$, — это по сути частота отключений, которая должна быть на питающих шинах нефтепромыслового оборудования (параметр потока отказов). Частота отключений (параметр потока отказов) определяется по выражению $f_{д} = T_{эк}^{-1}$.

Исходя из опыта эксплуатации объектов нефтедобычи, а также сроков физического и морального износа, значения $T_{эк}$ для нефтяных скважин находятся в пределах $T_{эк} \leq 30$ лет, а для других объектов нефтедобычи — $T_{эк} \leq 50$ лет.

В то же время вероятность отказа (аварии), равная единица минус вероятность безотказности функционирования установок (объектов) добычи за требуемое время работы $T_{эк}$, является риском, который включает в себе два смысловых подхода: вероятность возникновения аварии $P\{t > T_{эк}\}$, произведение вероятности наступления аварии на последствия данной аварии является по сути ущербом.

При нормировании надежности необходимо учитывать минимальное время нарушения технологии t_{0i} . Если выполняется неравенство: $t_{0i} \geq t_B$ где t_B — время восстановления нормального электроснабжения, то значение ущерба практически равно нулю. Если известно допустимое время восстановления в зависимости от категории по надежности и частота отключений, то следующим нормативом является интегральный показатель надежности — длительность простоя, которая определяется по формуле: $d_{di} = f_{di} \cdot t_{di}$.

Условием нормирования для i -й категории в этом случае является неравенство: $d_{di} \geq d_i$, где d_i — время простоя i -й установки объекта нефтедобычи. Нормированное значение вероятности безотказного функционирования в данном случае определяется по выражению: $p_{di} = \exp(-d_{di})$.

Например, если принять для нефтяных скважин $T_{скв} = 30$ лет, а время восстановления системы электроснабжения потребителей I–III категорий надежности соответственно $t_{Bi} = 20$ мин (принято по условиям технологии добычи нефти с учетом времени года), $t_{вII} \leq 10$ ч и $t_{вIII} \geq 24$ ч, то получим нормативы надежности на питающих шинах понизительной подстанции напряжением 6/0,4 кВ для нефтяных скважин, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. — Нормативы надежности для нефтяных скважин в зависимости от категории по надежности

Категория надежности	Допустимое время восстановления, ч	Допустимая частота перерывов в электроснабжении, 1/год	Допустимое время простоя, ч/год	Допустимая вероятность перерывов в электроснабжении (норма надежности)
I	0,33	0,03	0,011	0,989
II	10	0,03	0,33	0,719
III	24	0,03	0,72	0,45

Допустимая вероятность перерывов в электроснабжении в предельном случае соответствует ИТС, равным 100%.

Значение ИТС на основе распределения показателей надежности для последовательного участка схемы электрической сети определяется по выражению:

$$k_i = \frac{\omega_i}{f_d},$$

где ω_i — параметр потока отказов i -го элемента сети.

За ИТС принимается минимальное значение k_{imin} , т. е.

$$k_{imin} = F,$$

где F — минимальное значение ИТС.

Для включения в математическую модель расчета показателей эксплуатационной надежности с учетом фактического значения ИТС k -го с ИТС < 100%:

$$P_k = \exp(-\omega_i \cdot \Delta t) \cdot F.$$

Расчет ИТС, например, для воздушных линий 6 кВ показал, что для интервала времени эксплуатации 5–10 лет — $F = 1$; для интервала времени 10–15 лет — $F = 0,83$; для интервала времени 15–20 лет — $F = 0,6 - 0,75$; для интервала времени 20 лет и более 25 лет — $F = 0,35 - 0,5$.

Таким образом, показано, что ИТС возможно получить с помощью оценки риска, основанного на вероятностных характеристиках надежности электроснабжения, влияющих на технологию и, соответственно, на величину ущерба. В качестве отправной точки следует принять норму надежности, при которой ИТС равен 100%.

Список использованной литературы

1. О выводе объектов электроэнергетики в ремонт из эксплуатации. Утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 26.07.2007 № 484. — URL: <https://base.garant.ru/191582/> (Дата обращения: 13.03.2023).
2. Об утверждении правил разработки и применения графиков аварийного ограничения режима потребления электрической энергии (мощности) и использования противоаварийной автоматики: Приказ Минэнерго России от 6 июня 2013 г. № 290.

3. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». — URL: <https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika.pdf> (Дата обращения: 04.04.2023).

4. Сушков, В. В. Определение требований к надежности электро-снабжения объектов в нефтедобыче Западной Сибири / В. В. Сушков, А. А. Пухальский // Промышленная энергетика. — 1996. — № 1. — С. 11–14.

УДК 621.311.12

*Дворцов П. П.¹, Иванова Е. В.¹, Ананьина Т. В.¹, Переладов М. Е.¹,
Сальников В. Г.²*

¹Сибирский государственный университет водного транспорта»,
г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет, Сургут

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос проблемы проведения проектных работ по оптимизации распределительных электроэнергетических сетей. В качестве одного из решений было предложено применение математического моделирования для решения данной проблемы. Предложенный пример математической модели, созданной в программном комплексе RastrWin3, продемонстрировал эффективность в решении проблем при проектировании оптимизационных работ.

Ключевые слова: математическая модель, оптимизация, распределительные сети.

*Dvortsov P. P.¹, Ivanova E. V.¹, Ananyina T. V.¹, Pereladov M. E.¹,
Salnikov V. G.²*

¹FSFEI HE "SSUWT", 33, Shchetinkina, Novosibirsk, 630099 Russia

²Surgut State University, Surgut

OPTIMIZATION POWER DISTRIBUTION NETWORKS USING MATHEMATICAL MODELING

Novosibirsk

Abstract. This article deals with the issue of the problem of carrying out design work to optimize obsolete electrical power distribution networks. As one of

the solutions, the use of mathematical modeling was proposed to solve this problem. The proposed example of a mathematical model created in the RastrWin3 software package has demonstrated its effectiveness in solving problems in the design of optimization work.

Keywords: *mathematical model, optimization, distribution networks.*

Введение. Распределительные электрические сети напряжения 6–10/0,4 кВ являются важнейшим элементом инфраструктуры любого современного населенного пункта, транспортного узла или промышленного сектора, обеспечивающим надежную и безопасную доставку электроэнергии к конечным потребителям. Назначение срока эксплуатации распределительных сетей и создание требований к их проектированию диктуются уровнем научно-технического прогресса на момент постановки данной задачи. Однако с развитием технологий и увеличением энергопотребления многие распределительные сети становятся морально устаревшими и не соответствуют современным требованиям. В связи с этими условиями для оптимизации распределительных сетей перед энергетическими компаниями и государством встает задача обновления и модернизации существующих сетей, что позволит эффективнее использовать ресурсы, повысить качество доставляемой электрической энергии потребителю и уменьшить потенциальный вред окружающей среде.

Основная часть. «Наращение объема износа оборудования и отсутствие возможности его восстановления вводит современную энергетику в зону повышенного риска, технологических отказов и аварий не только оборудования, но и систем автоматического регулирования, релейной защиты и противоаварийного управления. Рассматриваемая проблема актуальна и для электрических сетей. Необходимо реконструировать десятки тысяч километров линий напряжением 110 кВ и выше. Тревогу вызывает состояние линий электропередачи и трансформаторных подстанций в сетях 6–10/0,4 кВ. Около трети этих сетей требуют полной замены уже сейчас. Высока степень износа кабельных линий городского электрохозяйства, изоляционных конструкций подстанций, коммутационного оборудования, ограничителей перенапряжения, измерительных трансформаторов. Устарели и физически изношены цепи и приборы вторичной коммутации» [1].

Проведению модернизационных работ препятствует ряд факторов:

1. Отсутствие или недостаточность финансирования — так или иначе все электрические сети находятся в частной собственности предпринимателей. Жизненно важная потребность любого предпринимателя — это максимизация прибыли. Для удовлетворения данной потребности предприниматель будет всеми доступными средствами минимизировать свои издержки, в том числе и уменьшать расходы на модернизацию своих фондов.

2. Ограниченность трудовых ресурсов — проведение работ, выходящих за рамки привычного стабильного производственного цикла, — требует перераспределения имеющихся трудовых ресурсов или привлечения трудовых ресурсов со стороны. Все это является издержками.

3. Проведение масштабных работ всегда требует согласований с надзорными органами или различными собственниками. Линия электропередач может принадлежать одному собственнику, а участок земли, над которой она провисает, может принадлежать другому. А проведение работ на государственной земле требует согласования работ с государственными структурами. Все эти согласования — это дополнительные трудовые затраты и финансовые издержки.

Помимо вышеперечисленных классических препятствий на пути проведения модернизационных работ, стоит проблема проектирования этих самых работ. С учетом современных технологий и стандартов проведение проектных работ по модернизации распределительных электроэнергетических сетей с целью оптимизации максимально эффективно с применением математических моделей, реализованных в программных комплексах. RastrWin3 — один из таких программных комплексов, в котором можно выполнить математическое моделирование распределительной электроэнергетической сети.

Большинство эксплуатируемых в данный момент объектов электроэнергетики Российской Федерации были введены в эксплуатацию в 1960–1970-х годах с расчетным сроком эксплуатации в 25–30 лет. Срок эксплуатации рассчитывался с учетом перспективных планов развития объектов инфраструктуры. Насколько эти перспективные планы были реализованы — это отдельная тема для рассуждения. Самое важное для нашего рассуждения — это то, что все эти проектные работы выполнялись людьми на бумаге с минимальным применением вычислительных машин. Как следствие, все дальнейшие работы над этими объектами электроэнергетики проводились,

основываясь на бумажной документации, созданной в 60–70-х годах прошлого века.

В рамках научно-исследовательской работы и в качестве примера для данной статьи было выполнено математическое моделирование распределительной подстанции (РП) «Луговская», город Новосибирск. Историческая справка. РП «Луговская» находится в Калининском районе города Новосибирск. В 1930-х годах появилась необходимость создания судоремонтного завода на территории затона, в это же время произошла и электрификация данной территории. Помимо электроснабжения судоремонтного завода, стояла задача электроснабжения судов технического флота. «Особенности судовой электрической нагрузки необходимо учитывать при решении технической задачи при питании судов технического флота и плавающих объектов с берега» [2]. Со временем территория расширялась, появлялись новые потребители, и все они подключались к РП «Луговская». Все расчеты и решения, связанные с подключением новых потребителей, основывались на бумажной документации, созданной в 30-х годах. Как следствие, проведение работ по оптимизации данной распределительной электроэнергетической сети будет неэффективно без использования математической модели, так как проектировщики будут вынуждены изучить большой объем бумажной документации, в том числе и ту, что создана в 1930-х годах.

«При выборе среды моделирования для оценки качества электрической энергии необходимо выбрать программный вычислительный комплекс, 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» [3]. Математическое моделирование РП «Луговская» было выполнено в программном комплексе RastrWin3. Математическое моделирование выполнялось на основании технической документации РП «Луговская». В перечень этой документации входили электрические схемы, данные о роде потребителей, количестве потребляемой мощности конкретными потребителями и так далее. Как итог — созданная

математическая модель была изображена в графической среде программного комплекса RastrWin3 (рис. 1).

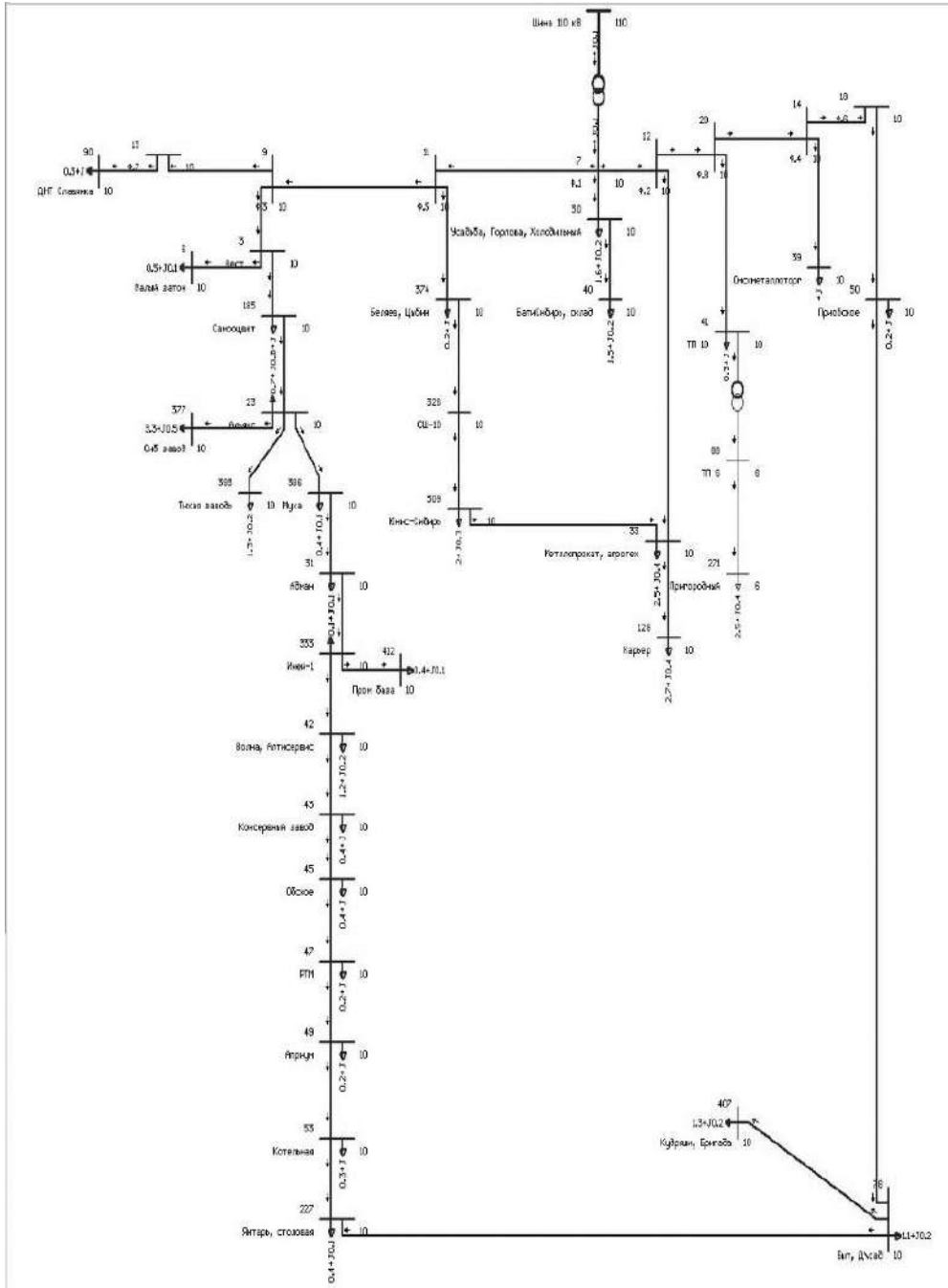


Рис. 1. Графическая схема математической модели РП «Луговская»

Помимо графической схемы, были созданы ряд таблиц и ряд связей между этими таблицами. Их содержание не так важно в рамках данной статьи. Значение имеет то, что потенциальный проектировщик может

сделать с помощью данной математической модели. Можно выполнить расчет режима работы, с его помощью можно определить падение напряжения у потребителей, перетоки мощности и баланс (или небаланс) мощностей. Можно выполнить расчет электрических потерь, определить их род и объем на каком-то конкретном участке или потребителей. Можно выполнить моделирование различных аварийных режимов работы распределительной электроэнергетической сети. Можно выполнить моделирование подключения нового потребителя или отключения текущего потребителя и в момент данной коммутации отследить изменение показателей качества электроэнергии у других потребителей. «Эффективная и надежная работа электрооборудования напрямую связана с показателями качества электроэнергии в сетях распределения» [4].

Все выше перечисленные эксперименты выполнялись в программном комплексе RastrWin3. Полученные в ходе данного теоретического эксперимента данные были подтверждены полевыми исследованиями, выполненными одними из авторов данной статьи. Полевые данные подтвердили адекватность созданной математической модели.

Выводы. Выполнение математического моделирования распределительных электроэнергетических сетей с помощью программных комплексов способствуют снижению трудовых затрат и материальных издержек проектных работ по оптимизации электроэнергетической сети. Приведенный пример математической модели реальной распределительной подстанции «Луговская», созданной в программном комплексе RastrWin3, продемонстрировал возможности, которые могут использовать проектировщики для дальнейших работ по оптимизации или модернизации данной распределительной электроэнергетической сети.

Список использованной литературы

1. Сазыкин, В. Г. Проблемы изношенного электрооборудования в современной энергетике / В. Г. Сазыкин, А. Г. Кудряков // Международный научно-исследовательский журнал. — 2015. — № 7-1(38). — С. 89–91. — EDN USMBJR.
2. Математическое моделирование статической нагрузки судовых потребителей электроэнергии / М. Е. Переладов, В. Г. Сальников, Ю. Н. Смыков [и др.] // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера

России — 2021 : сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Сургут, 22–23 апреля 2021 года. — Москва : Издательство «Знание-М», 2021. — С. 75–82. — EDN DIOPBS.

3. Навозов, И. С. Моделирование энергосистемы для расчета установившегося режима / И. С. Навозов, Е. В. Иванова // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020 : Сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции, Сургут, 23–24 апреля 2020 года. — Сургут : Знание-М, 2020. — С. 107–110. — EDN GCVMHT.

4. Развитие электрических сетей на основе компьютерного моделирования несимметричных режимов / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Е. В. Иванова [и др.] // Успехи кибернетики. — 2022. — Т. 3, № 4. — С. 123–129. — DOI 10.51790/2712-9942-2022-3-4-14. — EDN UEDUUK.

УДК 621.311

Кондранин М. С.¹, Кислицин Е. Ю.²

¹ ООО «РН-Юганскнефтегаз», г. Пыть-Ях

² Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли, расположенных на большом удалении от централизованной системы электроснабжения. Рассматривается возможность применения автономных источников питания для электроснабжения месторождений, использование попутного нефтяного газа в качестве топлива для автономных электростанций.

Ключевые слова: автономные источники питания, газовые электростанции, попутный нефтяной газ.

Kondranin M. S.¹, Kislitsyn E. Yu.²

¹RN-Yuganskneftegaz, Pyt-Yakh

²Surgut State University, Surgut

APPLICATION OF AUTONOMOUS POWER SOURCES FOR POWER SUPPLY
OF REMOTE OBJECTS OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

Surgut

Abstract. The article deals with the problems of power supply of oil and gas industry facilities located at a great distance from the centralized power supply system. The possibility of using autonomous power sources for the power supply of fields, the use of associated petroleum gas as fuel for autonomous power plants is being considered.

Keywords: autonomous power sources, gas power plants, associated petroleum gas.

В России исторически сформировалась тенденция к применению централизованного энергоснабжения для нефтегазовой промышленности. В этом случае для централизованного электроснабжения необходимо строительство длинных линий электропередачи.

Но истощение нефтяных месторождений вынуждает предприятия переносить производство в отдаленные, труднодоступные районы. Следовательно, новые объекты строительства нефтедобычи начинают размещаться все дальше на Севере, в районе арктических зон, где отсутствует централизованное электроснабжение во многих неразработанных нефтяных районах (рисунок 1).

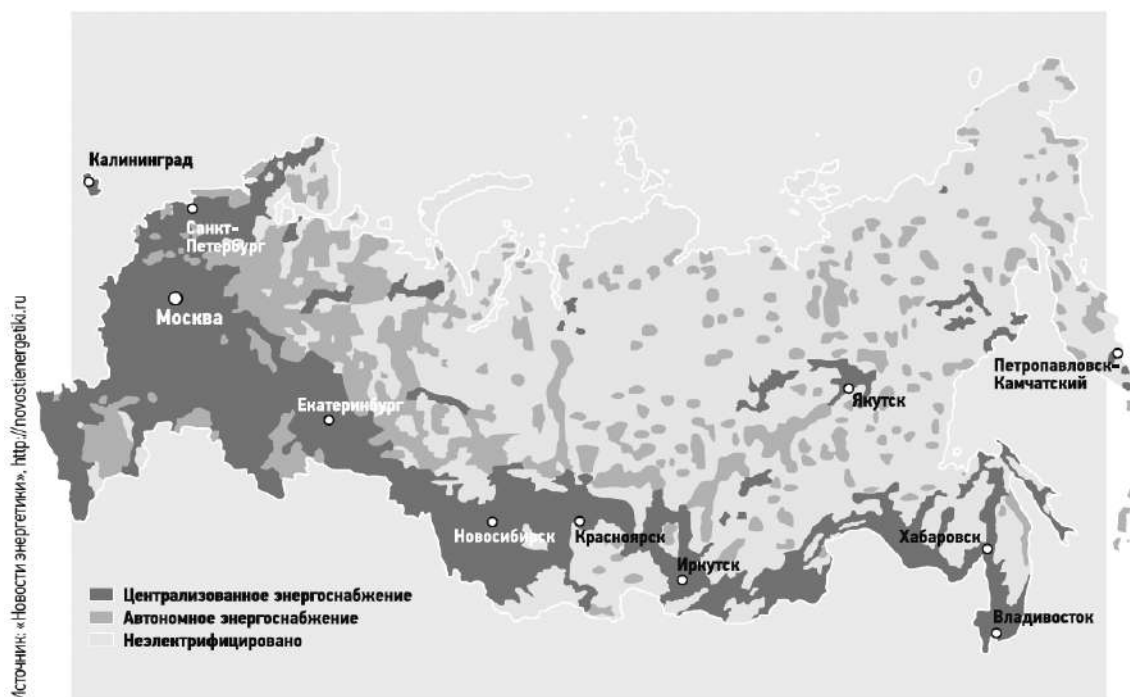


Рис. 1. Централизованные и автономные системы электроснабжения на территории РФ

Рис. 1. Централизованные и автономные системы электроснабжения

Удаляясь от источника питания качество и надежность электроэнергии будет хуже, особенно в суровых климатических условиях. Стоит отметить еще несколько основных недостатков централизованного электроснабжения отдаленных объектов [3]:

1) Высокие затраты на строительство и подключение к сети. Подключение удаленных объектов к централизованной сети может быть крайне дорогостоящим. В некоторых случаях, это может потребовать строительства новой линии электропередачи, что может быть финансово дорогостояще для малых объектов или объектов в труднодоступных местах.

2) Необходимость регулярного технического обслуживания сети. Централизованная система электроснабжения требует постоянного технического обслуживания и ремонта. Устаревание и износ оборудования во многих отраслях достигает 70%, что приводит к сбоям, отказам в работе и нарушениям систем электроснабжения потребителей. В случае, если объект находится в удаленном месте, обслуживание может быть затруднено, что может привести к сбоям и простоям в работе.

3) Уязвимость системы к отключениям. Если происходит отключение электроэнергии в центральном источнике, то все объекты, подключенные к этой сети, также теряют электричество. Нефтегазовая промышленность выделяется высокой энергоемкостью, расходы на энергоносители в стоимости продукции для всей вертикали нефтяной промышленности зачастую составляют более половины от расходов. Электрооборудование, питающее месторождение должно обеспечивать беспереывное электроснабжение электроэнергией установленного качества. Например, согласно исследованиям, у погружных электродвигателей при напряжении ниже 70% от номинального возможны сбои в работе и падение производительности двигателя. Как следствие, аварийные остановки и повторное включение насосного оборудования негативно влияют на срок его эксплуатации. В некоторых случаях бесконтрольный запуск приводит к поломке оборудования.

4) Уязвимость системы к авариям. Централизованная система электроснабжения часто является уязвимой к различным природным авариям и катастрофам. В случае сбоя системы отдаленные объекты могут остаться без электричества на длительный период времени, что может привести к значительным простоям и убыткам.

5) Ограниченная гибкость в выборе источника энергии. Централизованная система электроснабжения может ограничивать возможности выбора источника энергии для потребителей. Например, если система работает на основе ископаемых топлив, то потребители могут быть вынуждены

использовать только этот источник энергии, даже если в округе есть более экологически чистые варианты.

Поэтому для месторождений, не имеющих в своем большинстве доступа к централизованной сети, более целесообразным будет получение электроэнергии за счет применения автономных источников питания.

Для месторождений районов, где климатические условия крайне суровые, применение автономных систем питания имеет особое значение. В таких условиях обеспечение стабильного и надежного источника электроэнергии критически важно для поддержания работы оборудования и комфортных условий для персонала. Наиболее распространенные автономные электростанции, используемые в нефтегазовой промышленности: газовые электростанции и дизельные [1].

Дизельные электростанции применимы только на первом этапе, когда месторождение только обустроивается. Это агрегаты небольшой мощности, обеспечивающие надежную работу в широком диапазоне температур и погодных условий, а их установка наиболее быстрая. Но их использование является временным решением: при полноценной работе объекта затраты оказываются огромными. Также стоит учесть трудоемкость доставки топлива до автономной электростанции и выброс вредных веществ, таких как оксида азота и серы, что может негативно сказаться на окружающей среде и работе персонала.

Газовые электростанции делятся на два основных вида: газопоршневые и газотурбинные [4]. Они вырабатывают электроэнергию путем сжигания газового топлива.

Газотурбинные электростанции (ГТЭС) являются наиболее распространенным типом газовой электростанции. Они работают на основе принципа газотурбинного двигателя, в котором сжатый воздух смешивается с газовым топливом и затем сжигается в камере сгорания. Выделяющаяся при этом энергия используется для привода турбины, которая, в свою очередь, приводит генератор электроэнергии (рисунок 2).

Преимуществом ГТЭС является их высокий КПД, который может достигать 60% и выше. Они также относительно компактны и могут быть быстро запущены, что делает их идеальными для использования в качестве резервных и аварийных источников электроэнергии.

Однако, у ГТЭС есть и свои недостатки. Они требуют высокой степени технического обслуживания и регулярной очистки от загрязнений, таких

как пыль и песок. Кроме того, они могут быть дорогостоящими в эксплуатации из-за высокой стоимости газа и необходимости постоянной замены расходных материалов.

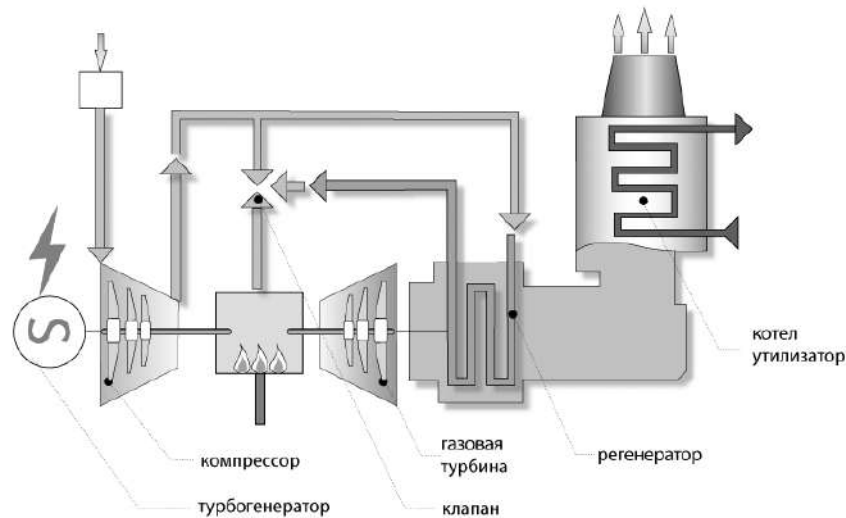


Рис. 2. Принцип работы газотурбинной электростанции

Газопоршневые электростанции (ГПЭС) работают на основе принципа газопоршневого двигателя, в котором газовое топливо сжигается в цилиндрах, двигателя приводит коленчатый вал, который в свою очередь, приводит генератор электроэнергии (рисунок 3).

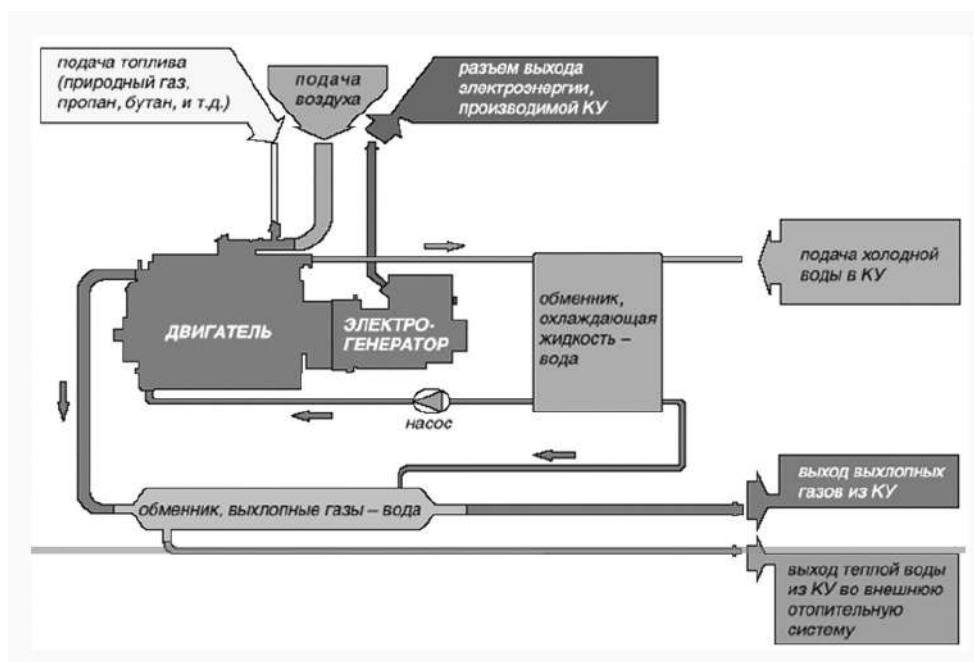


Рисунок 3. Принцип работы газопоршневой электростанции

Преимуществом ГПЭС является их относительно низкий КПД, который может быть улучшен за счет использования тепловых насосов и когенерации, которая позволяет использовать тепловую энергию, выделяющуюся при работе двигателя для отопления.

Целесообразно в качестве топлива для газовых электростанций применять попутный нефтяной газ (ПНГ) месторождений [2]. ПНГ хранится в растворенном состоянии в композиции сырой нефти, выделяясь из нее по мере извлечения на поверхность.

Использование ПНГ как топлива для автономных источников электроснабжения имеет несколько преимуществ. Во-первых, это позволяет использовать отходы в качестве полезного ресурса, что снижает вредные выбросы в атмосферу и повышает эффективность добычи нефти. Во-вторых, это уменьшает зависимость от других источников энергии и обеспечивает более надежную и независимую систему электроснабжения.

При этом стоит учитывать, что для использования ПНГ необходимы специальные системы обработки и подготовки газа, чтобы убедиться в его соответствии стандартам качества топлива и предотвратить повреждение оборудования.

Таким образом, с отдалением месторождений от централизованного электроснабжения все более целесообразно с точки зрения экономики, надежности и качества получаемой электроэнергии применять автономные источники питания, такие как газопоршневые или газотурбинные электростанции, использующие попутный нефтяной газ в качестве топлива.

Список использованной литературы

1. Турышева А. В., Автономное энергоснабжение нефтегазодобывающих предприятий // Наука, техника и образование. 2015. № 4. С. 94–96.
2. Шклярский Я. Э., Салов Р. А. Повышение эффективности работы энергетических центров на попутном газе // Известия Тульского государственного университета. 2017. № 12-2. С. 484–492.
3. Белкин, А. П. Оценка эффективности перехода на децентрализованное энергоснабжение в Тюменской области / А. П. Белкин, А. В. Дубова //

Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2016. № 2. С. 5–13.

4. Мутугуллина И. А. Сравнительный анализ газопоршневой и газотурбинной установок в контексте решения проблем энергосбережения // Вестник Казанского политехнического университета. 2014. Том 7. № 12. С. 373–375.

УДК 621.31

Иванова Е. В., Кочетков М. А.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

ВЛИЯНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ
ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

г. Новосибирск

Аннотация. Представлен способ улучшения электроснабжения путем избавления от гололедных отложений на воздушных линиях электропередачи, представлен анализ актуальности исследуемой темы и способы борьбы с обледенением.

Ключевые слова: обледенение проводов, качество электроэнергии, способы борьбы с обледенением.

Kochetkov M. A., Ivanova E. V.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

THE INFLUENCE OF ICING
OF POWER LINES ON THE QUALITY
OF POWER SUPPLY

Novosibirsk

Abstract. A way to improve the quality of electricity by getting rid of icy deposits on overhead power lines and, an analysis of the relevance of the topic under study, and ways to combat icing are presented.

Keywords: icing of wires, quality of power supply, ways to combat icing.

Схема и программа развития Единой энергетической системы (ЕЭС) России на 2022–2028 годы разработаны в соответствии с Правилами разра-

ботки и утверждения схем и программ перспективного развития электроэнергетики, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 17.10.2009 №823 [1].

Основными целями разработки схемы и программы ЕЭС России являются развитие сетевой инфраструктуры и генерирующих мощностей, обеспечение удовлетворения долгосрочного и среднесрочного спроса на электрическую энергию и мощность, формирование стабильных и благоприятных условий для привлечения инвестиций в строительство объектов электроэнергетики, а следовательно, предполагается расширение воздушных линий электропередачи, на работоспособность которых влияют гололедные отложения [1].

Передача электроэнергии по воздушным линиям электропередачи от электростанции к потребителям — одна из основных задач в энергетике. Необходимость передачи ее на расстояние обусловлена тем, что электроэнергия вырабатывается крупными электростанциями, которые должны быть расположены рядом с объектами инфраструктуры, позволяющими подвозить к электростанции топливо, необходимое для работы ее мощных генераторов электрической энергии, а потребляется маломощными электроприемниками в жилых квартирах или производственных предприятиях, распределенными на значительной территории. Зачастую электростанции находятся далеко от конечного потребителя электрической энергии, что приводит к необходимости ее передачи на необходимое расстояние. От эффективности передачи электроэнергии зависит работа Единой энергетической системы Российской Федерации или местной энергосистемы, охватывающей обширные территории. Качество электроэнергии определяется надежной и устойчивой работой электропередачи. Значительное число воздушных линий (ВЛ) в России находятся в третьем, четвертом и особом районах по гололеду, в этих районах в зимний, осенний и весенний период возникает серьезная проблема с образованием ледяных отложений на проводах ВЛ.

При эксплуатации воздушных линий электропередачи было выявлено, что аварии, вызванные образованием льда на проводах и опорах, превышают среднее время устранения аварий, вызванных другими причинами, в десять и более раз. В ходе различных исследований было выявлено, что образование льда на проводах возникает при температуре воздуха около минус 5 °С и скорости ветра 5–10 м/с. Допустимая толщина стенки гололеда на проводе

ВЛ составляет от 5 до 20 мм для линий напряжением 3–330 кВ, которые расположены в климатических районах от I до IV категорий.

Для подтверждения актуальности темы проведен анализ публикаций патентов по базам World Intellectual Property Organization (WIPO) и Федерального института промышленной собственности (ФИПС) в период 2012–2022 годы [2].

Ретроспективный анализ исследуемой темы представлен на рис. 1–3.

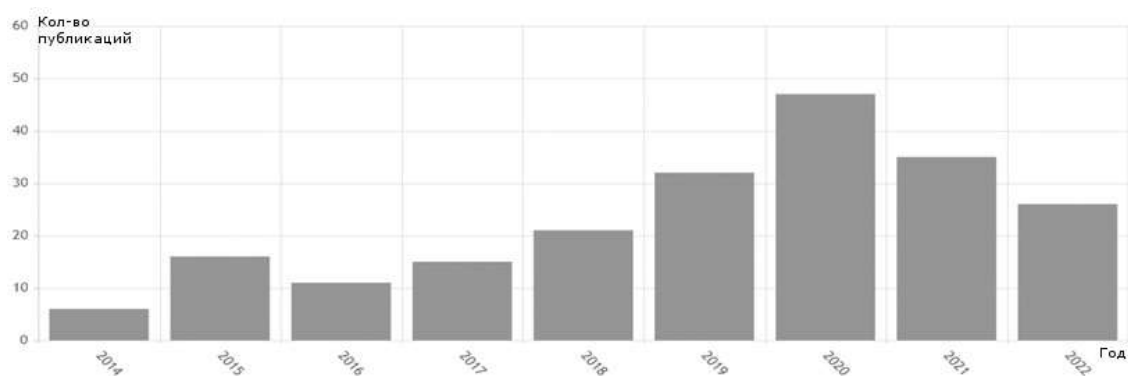


Рис. 1. Поиск по словам: *Icing, wire*

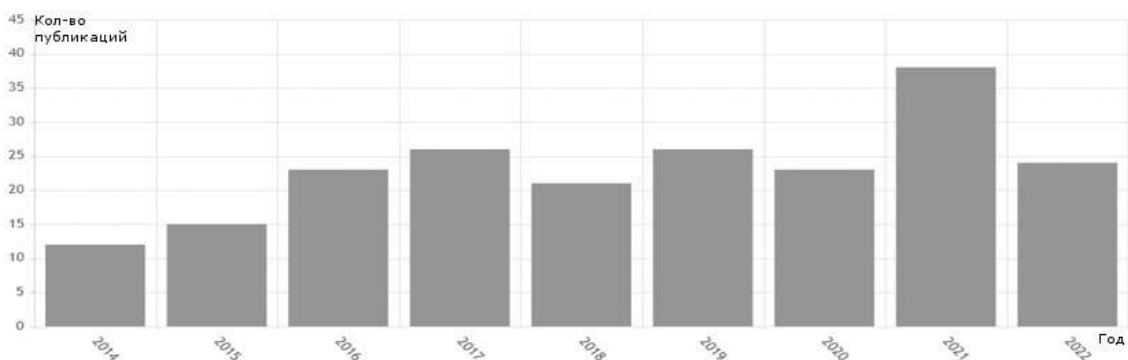


Рис. 2. Поиск по словам: *Icing, Power lines*

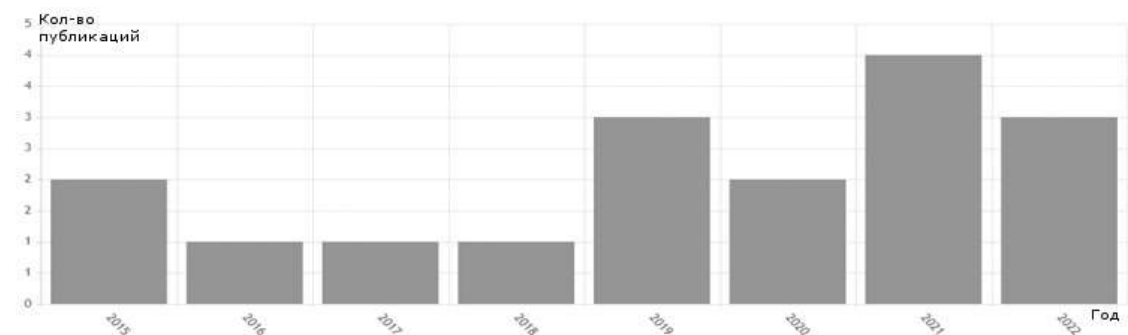


Рис. 3. Поиск по словам: *Icing, Power lines, RU*

На представленных диаграммах виден рост патентных публикаций в период с 2014 по 2020 годы. Провал в 2021 и 2022 объясняется мировым энергетическим кризисом.

Причина появления гололеда — конденсация водяных паров на поверхностях элементов сооружений при низких температурах. На проводах и опорах линий электропередачи лед обычно образовывается при туманной погоде, метели или при заморозках, когда столбик термометра за сутки может опуститься ниже нуля. Различают три основных вида гололедных образований: гололед, представляющий собой плотный твердый лед плотностью 600–900 кг/м³; изморозь — рыхлый ледяной налет плотностью 20–100 кг/м³ и их смесь, образующуюся при наслоениях гололеда и изморози, плотностью 200–600 кг/м³.

Гололедные отложения ухудшают качество предоставляемой электроэнергии и повышают потери на передачу из-за утечки электроэнергии через обледеневшие изоляторы. Качество питания из электросети оказывает влияние на продолжительность эксплуатации электрических устройств, особенно это актуально для промышленности, где имеется дорогостоящее оборудование. В результате снижается эффективность работы линий, повышается потребление электроэнергии. В электрических двигателях при ухудшении характеристик сети снижается момент вращения, приборы освещения могут начать мерцать, что влияет на зрение человека, снижается продолжительность работы ламп. Также образующиеся ледяные отложения на проводах могут привести к обрыву проводов или повреждению опор линий. Устранение таких повреждений очень дорого и долго. Образование льда может привести к разрегулировке проводов и тросов и их сближению между собой, из-за чего могут увеличиться потери электроэнергии и появляется необходимость регулярно проверять регулировку натяжения [3].

Потери от гололедных отложений на воздушных линиях электропередачи можно увидеть из формулы баланса мощности (1). Баланс мощности — это выражение закона сохранения энергии в электрической цепи [4].

$$\sum P_{\text{пр}} + \sum \Delta P = \sum P_{\text{ис}} \quad (1)$$

где $\sum P_{\text{пр}}$ — сумма мощностей приемников;

$\sum P_{ис}$ — сумма мощностей источников;

$\sum \Delta P = P_{гл} + P_{хх} + P_{пр}$ — сумма потерь;

$P_{гл}$ — гололедные потери;

$P_{хх}$ — потери холостого хода;

$P_{пр}$ — нагрузочные потери в проводах.

Расчет гололедной нагрузки. Нагрузка гололеда действует по направлению силы тяжести, провод, покрытый слоем гололеда, представлен на рисунке 4. Линейная гололедная нагрузка, приходящаяся на 1 м провода, определяется по формуле [5]:

$$P_{п} = \pi \cdot K_i \cdot K_d \cdot b(d + K_i \cdot K_d \cdot b)\rho_{л}g \cdot 10^{-3} \text{ Н/м} \quad (2)$$

где d — диаметр провода ВЛ, мм²;

b — толщина стенки гололеда, мм;

$\rho_{л}$ — плотность льда принимаемая равной 0,9 г/см³;

K_i — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте;

K_d — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра провода;

g — ускорение свободного падения.

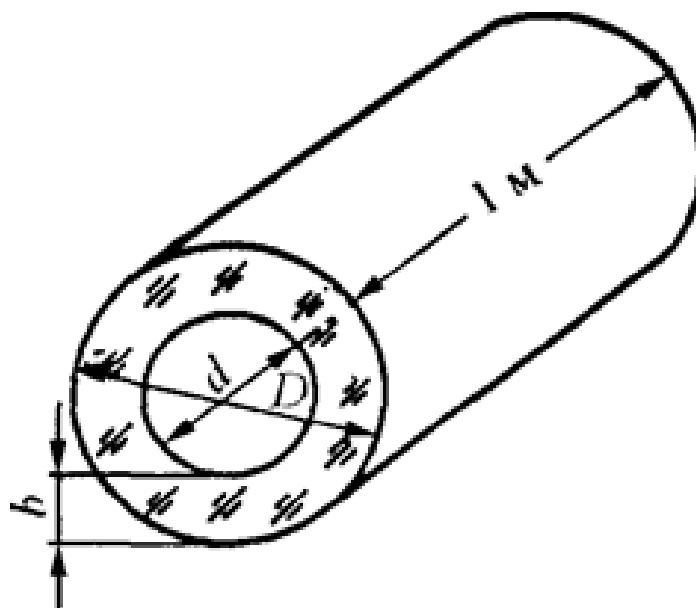


Рис. 4. Провод, покрытый слоем гололеда

В методических указаниях ФСК ЕЭС по определению нагрузок на воздушные линии приведены коэффициенты, учитывающие изменение толщины стенки гололеда (табл. 1).

Таблица 1. — Коэффициенты K_i и K_d , учитывающие изменение толщины стенки гололеда

Высота расположения приведенного центра тяжести проводов, тросов и средних точек зон конструкций опор над поверхностью земли, м.	Коэффициент K_i , учитывающий изменение толщины стенки гололеда по высоте над поверхностью земли	Диаметр провода, мм	Коэффициент K_d , учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра провода
25	1,0	10	1,0
30	1,4	20	0,9
50	1,6	30	0,8
70	1,8	50	0,7
100	2,0	70	0,6

Анализ патентных публикаций показывает, что на сегодняшнее время в основном применяются три разных метода по борьбе с образованием льда на проводах: механические, электротермические, физико-химические.

Механические способы заключаются в применении специальных приспособлений или устройств, обеспечивающих эффективное сбивание гололеда с проводов ВЛ электропередачи. Самый дешевый и часто используемый механический способ по сбиванию льда с проводов воздушной линии — это сбивание шестом. Рабочий, стоя на земле или в корзине автовышки, при помощи длинного деревянного шеста наносит удары по проводам. У этого способа много недостатков: требуется большое количество рабочих; доступ к ЛЭП, что нарушает бесперебойную работу участка; можно применять только недалеко от населенных пунктов и дорог; этот способ помогает только убрать лед с провода, но не предотвратить его появление.

Также есть способ, в котором производится перемещение по обледеневшим проводам воздушных линий электропередач, специальных механических средств для удаления ледяных наростов. Эти устройства имеют ролики-ледорезы, которые крепятся к наземному транспорту с помощью специальной

штанги. Транспорт перемещается под проводами по линии воздушной электропередачи. При этом ролики-ледорезы убирают лед с провода, накатываясь на участки, покрытые гололедом, ролики последовательно приподнимают и перегибают их, разрушая гололедные отложения и тем самым очищая их.

Иногда применяются различные роботизированные уборщики. Это роботы, крепящиеся к обледеневшим проводам воздушных линий и начинающие перемещающиеся по ним, как по импровизированной канатной дороге, по пути счищая наледь и проводя анализ на повреждение линии. Недостатки: необходимость устанавливать робота вручную, а после использования снимать с провода; управляется оператором; дороговизна устройства.

Недостатки механических методов — это возможность нанести повреждение проводу и низкая производительность. Используя эти методы, мы ускоряем износ провода в результате постоянного трения и перегибов во время очистки от льда.

Электротермический способ заключается в нагреве электрическим током проводов воздушных линий для удаления льда или профилактики его появления при благоприятных для этого погодных условиях.

Профилактика таким способом заключается в нагреве током провода до температуры, при которой лед не сможет образоваться на проводе, то есть до температуры 0–2 °С температуры таянья льда. Такой прогрев начинают в погоду, при которой возможно появление льда на линиях электропередач до его образования. При профилактическом подогреве провода используют схемы, которые не требуют отключения потребителя от сети.

Плавка гололеда на проводах происходит по тому же принципу, что и профилактика, но провод при частоте в 50 Гц нагревают до температуры, способной расплавить лед, появляющийся при текущей температуре воздуха и скорости ветра, обычно она составляет примерно 100–125 °С, лед начинает плавиться и отваливаться от провода. Такой высокой температуры добиваются, замкнув два провода в линии накоротко. Перед началом процесса плавки требуется отключить потребителей от линии. Плавка льда таким способом осуществляется в радиусе 40 км, расстояние зависит от марки используемого на линии провода.

Недостатками применения такого способа удаления льда является частый прогрев проводов, высокая стоимость источников тока требуемой мощности.

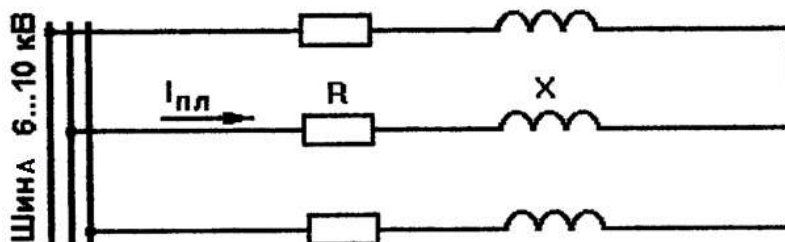


Рис. 5. Схема плавки льда переменным током

Схема плавки ледяных образований переменным током показана на рисунке 5, где $I_{пл}$ — ток плавки; R — активное сопротивление линии; X — реактивное сопротивление линии. Воздушная линия одним своим концом подключается к источнику питания, которым может являться шина 6–10 кВ на самой подстанции или отдельный трансформатор, предназначенный для плавки льда, провода на другом конце ВЛ замыкаются. Напряжение и мощность источника тока выбираются так, чтобы обеспечить прохождение тока на проводах воздушной линии, в 1,5–2 раза больше длительно допустимого. Такое превышение допустимо из-за быстрой скорости протекания процесса плавки и более активного охлаждения провода воздушной линии при низкой температуре окружающей среды.

Один из недостатков представленного выше метода заключается в невозможности его применения на расстоянии более 40 км от подстанции. Этот недостаток помогают решить передвижные системы плавки льда, такие как мобильная установка для плавки гололеда, разработанная Объединенным институтом высоких температур Российской академии наук, или мобильная система управляемой плавки гололеда, разработанная компанией «ПитерЭнергоМаш».

Из опыта эксплуатации воздушных линий видно, что тросы из-за отсутствия протекающего по ним тока (а следовательно, отсутствия их нагрева) в зимний период подвержены обледенению даже больше, чем провод фазы. Трудность при плавке льда на тросах ЛЭП возникает из-за того, что тросы имеют заземление на всех или части опор. Поэтому для возможности создания контура, по которому можно пропустить ток для плавки, все заземления должны быть сняты. При этом требуется подвеска тросов на изоляторах класса напряжения, соответствующего напряжению источника плавки. Проведение работ по плавке льда на тросах вызывает технические трудности,

в особенности из-за того, что потребитель не должен быть отключен на время проводимых работ, поэтому используют контур плавки с использованием «земли». При плавке постоянным током возникают значительные токи в «земле», которые влияют на работу релейной защиты и автоматики. Использование высоковольтных обмоток трансформаторов для плавки льда на тросах переменным током приводит к необходимости значительной изоляции тросов, а следовательно, изменению нагрузки на опоры воздушных линий — это может привести к необходимости их усиления или замены. Как следствие, из-за невозможности решить представленные выше проблемы с изоляцией тросов не удастся обеспечить плавку льда по всей длине без отключения ВЛ. Для решения проблемы с обледенением тросов предлагается вовсе избавиться от них, а их функции возложить на ограничители перенапряжения, размещенные на опорах вдоль воздушных линий.

Физико-химические методы заключаются в нанесении на провода растворов химических веществ, которые замерзают при температурах более низких, чем вода, или веществ, препятствующих образованию конденсата на проводе. Главным недостатком физико-химического метода является то, что срок действия таких веществ недолог, а обновлять покрытие, нанося их на сотни, а то и тысячи километров проводов, особенно вдали от населенных пунктов и объектов инфраструктуры, невозможно.

В заключение можно выделить, что борьба с обледенением проводов линий электропередачи остается важной задачей в эксплуатационных условиях северных регионов Российской Федерации. Все представленные выше способы имеют недостатки. Поэтому разработка новых эффективных, дешевых устройств и методов, направленных на предотвращение образования льда или быстрого удаления гололедных отложений, остается актуальной задачей.

Список использованной литературы

1. ПИК энергокомплект // Сайт ООО «Пик энергокомплект». 2023. — URL: <https://avatok.ru/stati/103-sposoby-borby-s-obledeneniem-na-provodakh-lep-v-ramkakh-tekhnicheskoj-politiki-fsk-ees> (Дата обращения: 07.02.2023)
2. Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности // Сайт WIPO. 2023. — URL: <https://www.wipo.int/portal/en/index.html> (Дата обращения: 07.02.2023)

3. Министерство энергетики РФ // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. 2023. — URL : <https://minenergo.gov.ru/node/22853> (Дата обращения: 07.02.2023)

4. Электронный фонд правовых и нормативно правовых документов // Сайт АО «Кодекс». 2023. — URL <https://docs.cntd.ru/document/1200088458> (Дата обращения: 07.02.2023)

5. Луговой, В. А. Методические указания по определению климатических нагрузок на ВЛ с учетом ее длины / В. А. Луговой, Л. В. Тимашова, С. В. Черешнюк // Москва : ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. — 150 с.

УДК 621.316.925.1

Топычканов М. Е.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ЗАЩИТА СЕВЕРНЫХ СЕТЕВЫХ ЛИНИЙ 220–500 кВ
ОТ ТОКОВОЙ ПЕРЕГРУЗКИ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье описан принцип устройства, функционал и эксплуатация автоматики отключения перегрузки оборудования в Северном энергорайоне операционной зоны Тюменского регионального диспетчерского управления.

Ключевые слова: релейная защита, противоаварийная автоматика, линия электропередачи, токовая перегрузка, электросетевое оборудование, автоматика ограничения перегрузок оборудования.

Topuychkanov M. E.

Surgut State University, Surgut

NORTH POWER LINES 220-550 KV PROTECTION
FROM OVERLOAD

Surgut

Abstract. In this title describes the principle of the device, functionality and operation of automatic equipment overload detection in the Northern energy region of the Tyumen Regional Dispatching.

Keywords: relay protection, emergency control automation, power line, current overload, power equipment, automatic overload control.

I. Введение

Нарушение нормального режима энергосистемы в результате воздействия аварийного возмущения приводит следующим последствиям:

- нарушению устойчивости параллельной работы электростанций, узлов нагрузки;
- возникновению в энергосистеме асинхронного режима, приводящего к нарушению электроснабжения потребителей;
- недопустимому снижению или повышению напряжения;
- недопустимому повышению или снижению частоты.

Для предотвращения нарушения нормального режима энергосистемы используются устройства автоматического управления, функционирующие по заданной программе при нарушении нормального режима.

Устройства автоматического управления независимо от назначения характеризуются одинаковым принципом построения, включающим в себя пусковой орган, программные устройства, усилитель-преобразователь, исполнительный орган. Структурная схема устройства управления приведена на рис. 1.

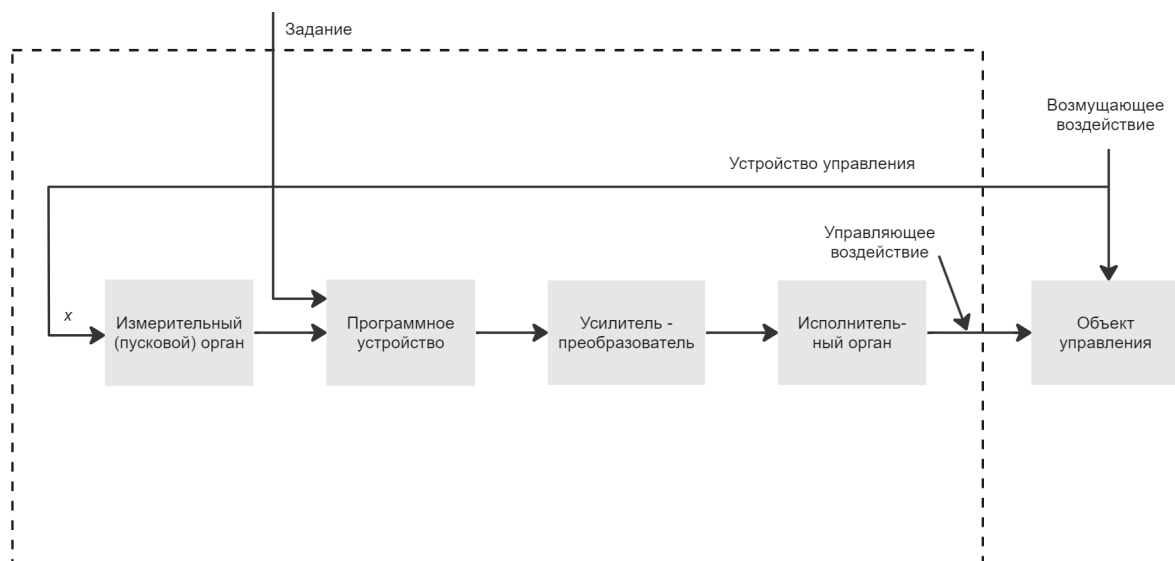


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического управления

Автоматическое противоаварийное управление режимом осуществляется совокупностью устройств противоаварийной автоматики (ПА).

ПА обеспечивает минимизацию отключений генерации и нагрузки при возмущениях, а также предотвращает развитие нарушений в послеаварийной схеме режима энергосистемы.

Классификация ПА, установленной в Северном энергорайоне, представлена на рис. 2.

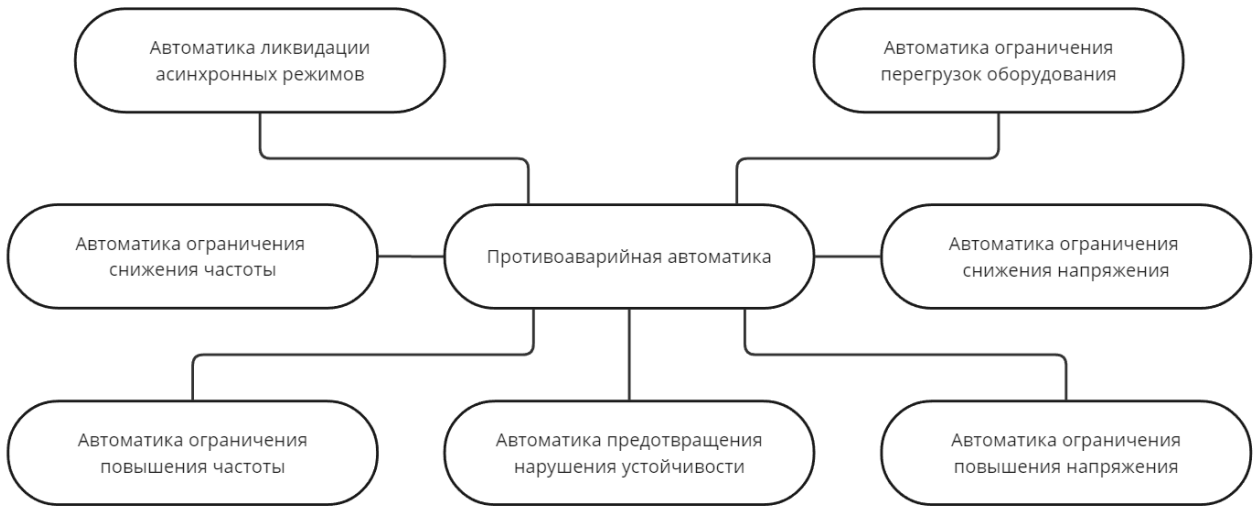


Рис. 2. Классификация противоаварийной автоматики

Для предотвращения недопустимого по величине и длительности повышения токовой нагрузки ЛЭП и электросетевого оборудования в послеаварийном режиме применяется автоматика ограничения перегрузок оборудования (АОПО).

II. Описание и функционал АОПО

АОПО предназначена для предотвращения недопустимой по величине и длительности токовой нагрузки ЛЭП и электросетевого оборудования.

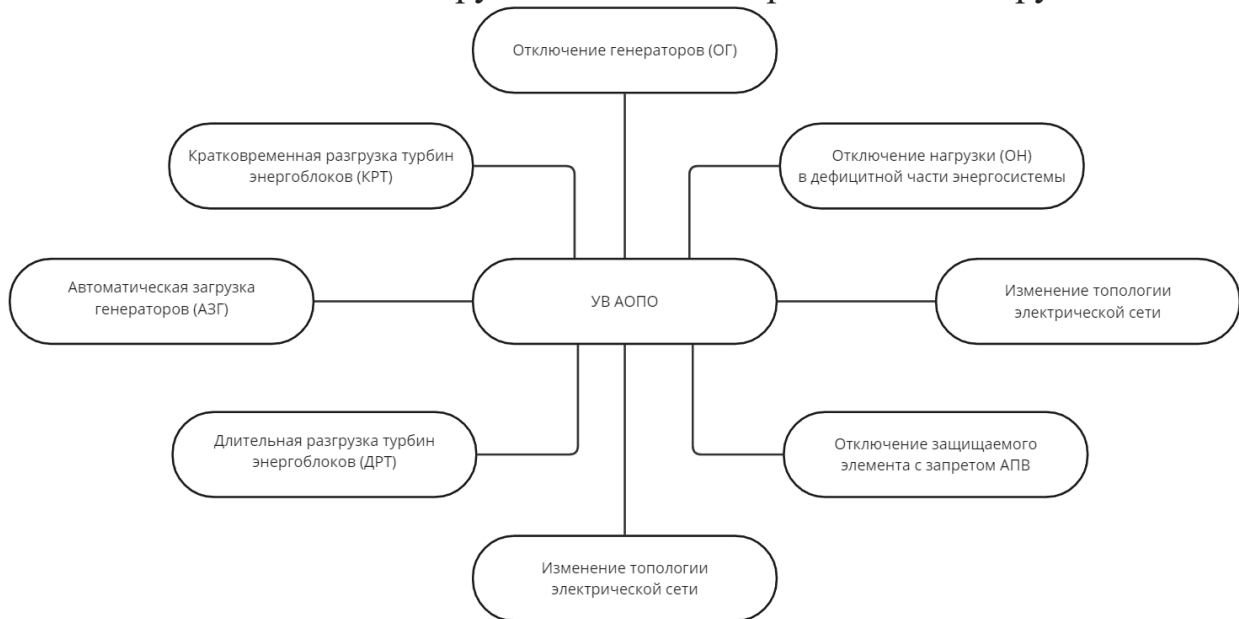


Рис. 3. Управляющие воздействия АОПО

Формирование управляющих воздействий выполняется с контролем направления перетока активной мощности по защищаемому элементу. В зависимости от направления перетока активной мощности формируются различные управляющие воздействия (УВ). Перечень УВ, используемых в АОПО в соответствии с [1], приведен на рисунке 3.

В соответствии со стандартом АО «СО ЕЭС» [2], к функциональности АОПО предъявляются следующие требования:

1. Установка устройств АОПО не требуется, если допустимая длительность перегрузки составляет 20 минут и более. В данном случае устранение перегрузки будет выполняться оперативно-диспетчерским персоналом.

2. Устройство АОПО должно иметь возможность задания несколько групп уставок. Группы уставок используются в случае необходимости смены уставок срабатывания:

- в зависимости от сезона года (лето/межсезонье/зима);
- в зависимости от состояния электросетевого оборудования, которое может оказывать влияние на токовую нагрузку линий электропередачи и электросетевого оборудования (выключателей, линий электропередачи или трансформаторного оборудования).

3. Каждая группа уставок должна предусматривать не менее трех ступеней с контролем величины и длительности токовой нагрузки защищаемого элемента. Каждая ступень срабатывания автоматики АОПО должна контролировать превышение фазного тока в любой из трех фаз защищаемого элемента при заданной температуре окружающей среды. Первая ступень должна действовать на сигнал, последняя — на отключение перегружаемых ЛЭП и оборудования, промежуточные ступени должны действовать на разгрузку перегружаемых ЛЭП и оборудования.

4. Должно предусматриваться резервирование действия устройства АОПО на случай, если по каким-либо причинам перегрузка не была устранена после реализации управляющего воздействия (УВ). При этом с дополнительной выдержкой времени должен формироваться сигнал на ввод других УВ или отключение перегруженного оборудования.

5. Измерительные цепи устройства АОПО должны подключаться к цепям измерения измерительных ТТ с обмоткой класса точности не хуже 0,5 (допускается использование обмоток ТТ с классом точности 10Р (5Р) при наличии обоснований).

Устройства АОПО, выполняющие функции на объектах электроэнергетики Севера, реализуются:

- на базе электромеханических устройств;
- в составе микропроцессорного комплекса противоаварийной автоматики МКПА производства ООО «Прософт-Системы», г. Екатеринбург;
- в качестве функции АЛАР в составе микропроцессорного комплекса противоаварийной автоматики ШЭЭ производства ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары.

Все устройства проходят сертификацию в соответствии с техническими требованиями к устройствам, в которых реализуется АОПО [3].

III. Эксплуатация АОПО

В АОПО предусмотрено два режима работы с контролем температуры: «Ручной» и «Автоматический».

Срабатывание в режиме «Автоматический» происходит с учетом заданной ампер-температурной характеристики. Ампер-температурная характеристика АОПО в основном задается с фиксированными уставками: для зимы (-5°C), для лета ($+25^{\circ}\text{C}$) и для экстремальных высоких температур (ЭВТ) $+30$ и $+35^{\circ}\text{C}$. Однако существуют уставки АОПО, не зависящие от температуры и задающиеся по принципу зима/лето ($+40$ и ниже).

Для измерения температуры наружного воздуха используются две пары датчиков температуры (основная и резервная). Термодатчики должны быть размещены в будке Селянинова с обязательным учетом требований по ее размещению.

При выявлении недостоверности поступающей информации о температуре окружающей среды устройство АОПО должно без выдержки времени переходить с автоматического режима задания уставок на «Ручной режим», уставки которых соответствуют последним достоверным данным.

Уставки срабатывания в «Ручном» режиме задаются диспетчером через специальный программно-аппаратный комплекс с учетом времени года, а также задается УВ в соответствии с положением по управлению режимами.

При планировании и управлении электроэнергетическим режимом для контроля соблюдения нормативных требований к устойчивости энергосистем используют значения максимально допустимых перетоков (МДП)

активной мощности в контролируемых сечениях (КС). Для определения МДП выполняются расчеты по основным критериям с выбором наименьшего.

В ОЗ ТРДУ в КС Северного энергорайона для ремонтных схем воздушных линий и сетевого оборудования 200–500 кВ предусмотрен критерий аварийно допустимых токовых нагрузок (АДТН) в ПАР с учетом температуры наружного воздуха.

При этом при определенных группах уставок при температуре наружного воздуха выше определенного значения УВ АОПО в расчетах не учитывается.

Климатические условия в зимнее время года в Северном энергорайоне весьма суровы, достаточно часты температуры воздуха ниже -40°C .

На рис. 4 приведен график зависимости МДП от температуры наружного контролируемого сечения в северном энергорайоне.

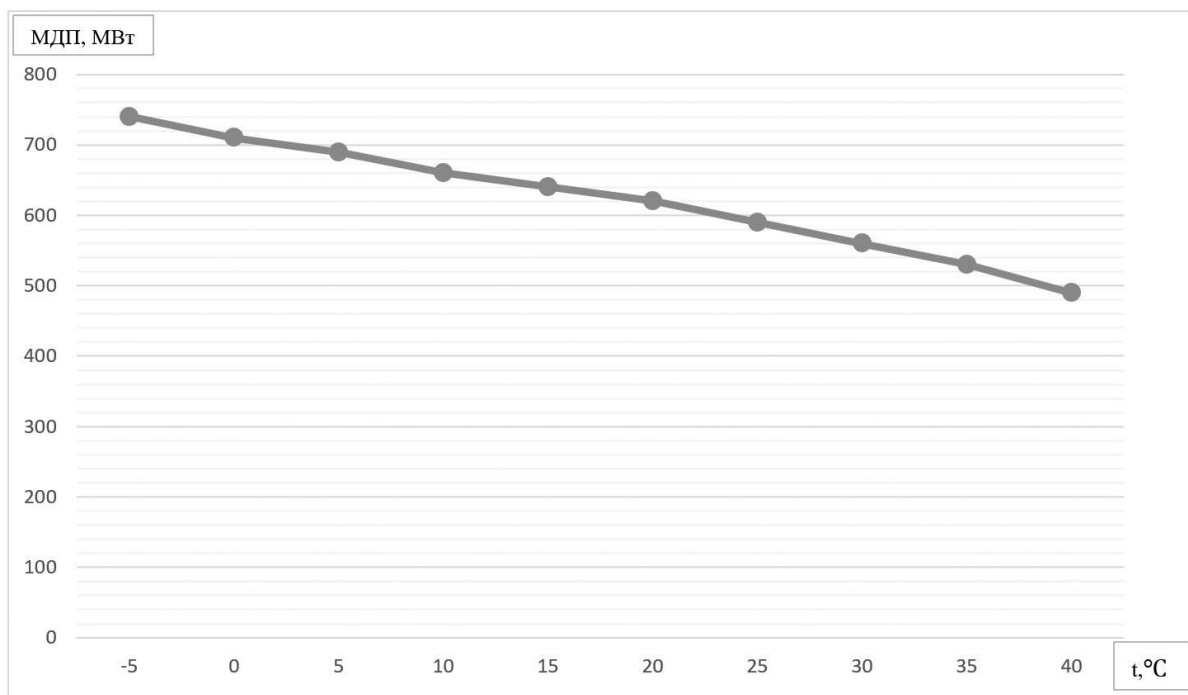


Рис. 4. График зависимости МДП от температуры наружного воздуха

Рис. 4 показывает, что при температурах ниже -5°C величина МДП не определена.

При низких температурах охлаждение элементов электрической сети более эффективно, что позволяет поднять величины МДП и АДП, корректируя уставки АОПО.

Задача определения допустимых величин токовых нагрузок элементов электрических сетей при экстремально низких (ниже -40°C) температурах окружающего воздуха представляет практический и научный интерес.

Для ответа на этот вопрос потребуется произвести анализ существующих методик оценки влияния климатических факторов на температуру проводников, моделирование температуры проводников.

Можно предположить, что в случае «гибкой» настройки уставок АОПО с учетом фактических климатических условий возможно существенное увеличение перетоков в контролируемых сечениях, что окажет значительное положительное влияние на живучесть электроэнергетической системы.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 55105-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования: дата введения 2019-26-12 / АО «СО ЕЭС». — Москва, 2019. — 20 с.
2. СТО 59012820.2.020.004-2018 «Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика. Нормы и требования»: АО «СО ЕЭС». — Москва, 2018. — 31 с.
3. СТО 59012820.29.020.002-2018 «Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматики ограничения перегрузки оборудования. Нормы и требования»: АО «СО ЕЭС». — Москва, 2018. — 16 с.

УДК 621.316

Бурмистрова Е. А., Миронова М. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРИМЕНЕНИЕ FACTS-УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассматривается применение устройства на базе технологии FACTS, а именно устройства продольной компенсации (УПК) для повышения пропускной способности ЛЭП.

Ключевые слова: линия электропередачи, подстанция, пропускная способность, устройство продольной компенсации, FACTS.

Burmistrova E. A., Mironova M. A.

Surgut State University, Surgut

APPLICATION OF FACTS DEVICES IN ELECTRICAL NETWORKS

Surgut

Abstract. This article discusses the use of a device based on FACTS technology, namely a longitudinal compensation device (CPC) to increase the transmission capacity of power lines.

Keywords: power transmission line, substation, capacity, longitudinal compensation device, FACTS.

В текущее время ЕЭС России сталкивается с важными проблемами, связанными с недостаточной пропускной способностью основных линий электропередач (ВЛ) и недостатком регулирующих устройств, что приводит к неоптимальному потокораспределению. Однако строительство дополнительных линий для увеличения пропускной способности по сечениям и повышения надежности системы является экономически невыгодным решением. Вместо этого возможным выходом может стать использование уже

существующих линий электропередач с помощью новейших технологий, которые позволят им стать управляемыми. Стоит отметить, что в рамках направлений исследований НИОКР, предложенных для реализации в группе компаний «Россети» в 2022–2024 годах, рассматривается применение новых технологий для улучшения работы ЛЭП и ПС и повышения их надежности.

FACTS является электросетевой технологией, которая перспективна в плане управления режимами работы электрических сетей. Суть ее заключается в том, что пассивная система передачи электроэнергии превращается в активное устройство. Применение FACTS устройств позволяет решить комплексно ряд задач, среди которых увеличение пропускной способности линий электропередач, регулирование напряжения в допустимых пределах, принудительное распределение мощности в сложнзамкнутых электрических сетях по требованию диспетчера, снижение потерь электрической энергии и повышение экономичности работы электрических сетей, а также возможность улучшения качества электроэнергии в электрических сетях.

Технология FACTS предоставляет широкий набор устройств, которые могут быть использованы для управления режимами работы электрических сетей. Наиболее распространенными устройствами, построенными на базе FACTS, являются: управляемые шунтирующие реакторы (УШР), статические компенсаторы реактивной мощности (СТАТКОМ), статические тиристорные компенсаторы (СТК), устройства продольной компенсации (УПК).

Наиболее значимым фактором, который способствует решению о внедрении FACTS-устройств, является увеличение срока эксплуатации всего электрооборудования благодаря применению данных устройств, снижение времени простоя электрооборудования и сокращение технологического цикла, что приводит к получению дополнительной прибыли.

Однако существуют препятствия, такие как инертность внедрения законодательных актов и нехватка квалифицированных инженерно-технических работников (ИТР), имеющих опыт внедрения FACTS-устройств. Важно отметить, что этот направленный раздел «Электроснабжение. Электрические сети и системы» требует от проектировщика самостоятельного изучения, потому что существует недостаток информации. Для более подробного изучения эффективности FACTS-устройств необходимо оценить их применение в различных режимах работы и с различными параметрами сети, в которую

они устанавливаются. Именно поэтому было принято решение оценить эффективность применения УПК в заданной электрической сети.

Пусть задана электрическая сеть в виде обозначения потребителей I, II категорий. Рассматривается произвольный участок сети с параметрами:

- класс напряжения сети — 110 кВ;
- максимальная мощность в зимний период — $P_{max}^{зим} = 48$ МВт;
- коэффициент мощности — $\cos \varphi = 0,9$;
- длина питающих линий — $l = 70$ км;
- трансформаторы — 2хТРДН 40000/110.

Первый шаг: выбор ЛЭП без компенсации реактивной мощности.

Производится выбор сечения проводов по экономической плотности тока, начиная с определения расчетной мощности с учетом потерь в трансформаторах. Затем определяется ток в линии в нормальном и послеаварийном режимах: $I_{н.р.} = 145,7$ А, $I_{ПАР} = 291,4$ А.

Полученное значение сечение провода $F_3 = 132,444$ мм² округляется до ближайшего стандартного значения — 150 мм². После этого выбранное сечение проверяется на соответствие допустимому току в нормальном и послеаварийном режимах и допустимой потере напряжения.

Если все условия выбора и проверки удовлетворены, то выбранное сечение остается неизменным. В противном случае для установки выбирается провод большего сечения.

В нашем случае выбирается алюминиевый провод со стальным сердечником марки АС-240/32, удовлетворяющий условиям выбора и проверки провода:

$$I_{ПАР} = 291,4 \text{ А} < I_d = 605 \text{ А};$$

$$\Delta U_{\%} = 4,89\% < 5\%.$$

Второй шаг: выбор ЛЭП с применением компенсации реактивной мощности.

Выбирается менее дорогой провод, который не соответствует условиям падения напряжения, например, провод с алюминиевым сердечником марки АС-95/16. Затем производится проверка выбранного сечения. Но поскольку сечение не удовлетворяет всем требованиям проверки, принимается решение о применении средств компенсации реактивной мощности.

$$I_{ПАР} = 291,4 \text{ А} < I_d = 330 \text{ А};$$

$$\Delta U_{\%} = 7,72\% > 5\%.$$

Третий шаг: выбор конденсаторов УПК.

Устройства продольной компенсации являются одними из наиболее дешевых устройств, так как их стоимость составляет примерно 10% от стоимости новой линии электропередачи, имеющей эквивалентную пропускную способность.

Для начала определяются:

- допустимые потери напряжения в линии;
- фактические потери напряжения при заданных параметрах и нагрузках;
- напряжение на входе/выходе УПК.

Выбирается тип и количество конденсаторов на основании максимального тока передачи, сопротивления и номинального тока одного конденсатора.

Затем определяются параметры УПК, такие как установленная мощность, сопротивление и потери напряжения, на основании которых делается вывод о том, что потери напряжения находятся в допустимых пределах ($\Delta U = 3593 \text{ В} < 5000 \text{ В}$).

Затем определяются параметры режима линии с установленным УПК и делается вывод о том, что напряжение и ток находятся в допустимых пределах на всей длине линии.

Таблица 1. — Параметры режима после установки УПК

Параметры режима в начале передачи	Ток и напряжение перед УПК	Ток и напряжение после УПК	Ток в конце передачи
0,175 кА 105,3-j4,581 кВ	0,175 кА 105,3-j3,628 кВ	0,175 кА 105,3 кВ	0,173 кА

В данной статье были рассмотрены FACTS-устройства. Было принято решение о применении устройства продольной компенсации с целью повышения пропускной способности ЛЭП. Также был проведен анализ данной меры, который показал, что она является эффективной. В дальнейшем планируется провести математическое моделирование в среде MATLAB/Simulink для оценки эффективности применения FACTS-устройств и провести технико-экономическое обоснование.

Список использованной литературы

1. СТО 56947007-29.240.019-2009. Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России : стандарт организации. Введ. 2009-01-22. — Москва, 2009. — 36 с.
2. Дальние ЛЭП СВН: Методические указания по выполнению лабораторных работ / сост.: А. А. Казакул. — Благовещенск : Изд-во АмГУ, 2014. — 51 с.
3. Правила устройства электроустановок: 7-е издание (ПУЭ) / Главгосэнергонадзор России. — Москва : Изд-во ЗАО «Энергосервис», 2007. — 610 с.
4. Ивакин, В. Н. Гибкие электропередачи переменного тока / В. Н. Ивакин, В. Д. Ковалев, В. В. Худяков // Электротехника. — 1996. — Т. 1, № 8. — С. 16–21.
5. Рыжов, Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения / Ю. П. Рыжов. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2007. — 488 с.

УДК 621.31

Бородина Е. А., Сбитнев М. С., Менякин А. Г.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ,
ОБУСЛОВЛЕННОЙ ВЛИЯНИЕМ ЦИФРОВЫХ ПРИБОРОВ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается методика определения методической погрешности прямых и косвенных измерений напряжений, токов и сопротивлений, обусловленной влиянием цифровых мультиметров, с последующим расчетом абсолютной и относительной погрешности измерений. Эксперимент проводился на лабораторном стенде «Основы метрологии и электрические измерения» на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета студентами первого курса направления «Электроэнергетика и электротехника». Проведен анализ полученных экспериментальных данных, а также вычислена методическая погрешность измерений и определена средняя квадратическая погрешность результатов прямых измерений.

Ключевые слова: абсолютная погрешность, относительная погрешность, прямые и косвенные измерения, методическая погрешность, средняя квадратическая погрешность результатов.

Borodina E. A., Sbitnev M. S., Menyakin A. G.

Surgut State University, Surgut

DETERMINATION OF THE METHODOLOGICAL MEASUREMENT ERROR CAUSED
BY THE INFLUENCE OF DIGITAL DEVICES

Surgut

Abstract. The article discusses the method of determining the methodological error of direct and indirect measurements of voltages, currents and resistances due

to the influence of digital multimeters, followed by the calculation of the absolute and relative measurement error. The experiment was conducted at the laboratory stand “Fundamentals of Metrology and Electrical Measurements” at the Department of Radioelectronics and Electric Power Engineering of Surgut State University by first-year students of the direction “Electric Power Engineering and Electrical Engineering”. The analysis of the obtained experimental data is carried out, as well as the methodological error of measurements is calculated and the average square error of the results of direct measurements is determined.

Keywords: *absolute error, relative error, direct and indirect measurements, methodological error, average quadratic error of results.*

При проведении прямых и косвенных измерений электрических величин цифровыми мультиметрами для получения корректных данных опираются на методическую погрешность самого прибора. Независимо от самого устройства и его предназначения, при подключении в цепь оно воздействует на нее, искажая итоговый результат наблюдений. Измененные, грубые результаты наблюдений приводят к неточным вычислениям, что приводит к последующим повторным снятиям показаний измерений и длительному сбору экспериментальных данных. Для этого и рассчитывают методическую погрешность устройств, и чем деликатнее и сложнее аппаратура, тем точнее должна быть погрешность во избежание непреднамеренных ошибок. Цель работы, главным образом, изучить методику вычислений методической погрешности измерений, обусловленной влиянием цифровых мультиметров.

Для проведения эксперимента была построена цепь на лабораторном стенде «Основы метрологии и электрические измерения», состоящая из трех резисторов номиналами $R_1 = 470 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, подключенных смешанным образом (рис. 1), и источник напряжения E [1, 2]. Во время работы использовался цифровой мультиметр МУ-64 для снятия электрических показаний, технические характеристики которого приведены в таблице 1. Установим входное напряжение 10 В и снимаем показания напряжений на резисторах, тока в каждой ветви и сопротивлений всех резисторов, отключив питания источника, все результаты заносим в таблицу 2.

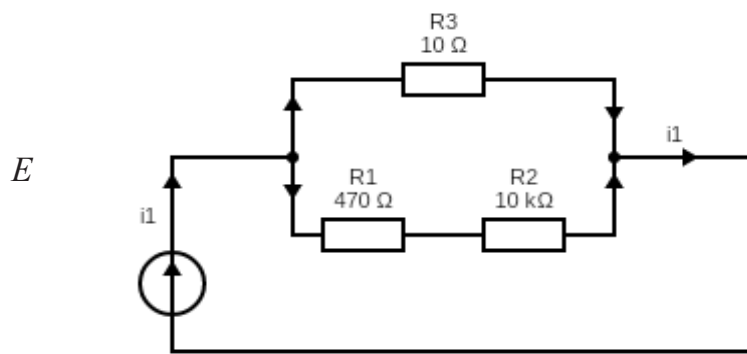


Рис. 1. Неразветвленная электрическая цепь

Таблица 1. — Технические характеристики прибора

Постоянное напряжение	
Нормирующее значение	1000 В
Класс точности	1%
Постоянный ток	
Нормирующее значение	10 А
Класс точности	2%
Сопротивление	
Нормирующее значение	200 МОм
Класс точности	6%

Вычислим косвенные значения токов, напряжений, сопротивлений и мощностей, выделяемые на резисторах по формулам последовательного и параллельного соединения резисторов:

- сопротивление первого и второго резистора, соединенных последовательно:

$$R_{12} = R_1 + R_2$$

- общее сопротивление цепи $R_{\text{общ}} = \frac{R_{12} * R_3}{R_{12} + R_3}$

- общее напряжение цепи $U_{\text{общ}} = E = 10\text{В}$

- общий ток цепи $I_{\text{общ}} = \frac{U_{\text{общ}}}{R_{\text{общ}}}$

По результатам замеров рассчитываем абсолютные и относительные погрешности измерений формулам:

- абсолютные погрешности: $\Delta I_n = I_{\text{Ппр}} - I_{\text{Косп}}$, $\Delta U_n = U_{\text{Ппр}} - U_{\text{Косп}}$,
 $\Delta R_n = R_{\text{Ппр}} - R_{\text{Косп}}$
- относительные погрешности: $I\delta_n = \frac{\Delta I_n}{I_{\text{Косп}}} * 100\%$; $U\delta_n = \frac{\Delta U_n}{U_{\text{Косп}}} * 100\%$;
 $R\delta_n = \frac{\Delta R_n}{R_{\text{Косп}}} * 100\%$.

Заносим все полученные данные в таблицу.

Таблица 2. — Экспериментальные и расчетные данные

Измерения	Параметры		Абсолютная погрешность, Δ	Относительная погрешность, δ
	Класс точности, γ	Нормирующее значение, χ_n		
Прямые измерения				
$I_{R1} - (0,60) \text{ мА}$	2%	10 А	-1,0004 А	0,99%
$I_{R2} - (0,60) \text{ мА}$	2%	10 А	-0,9994 А	0,99%
$I_{R3} - (0,28) \text{ А}$	2%	10 А	-0,72 А	0,72%
$U_{R1} - (0,12) \text{ В}$	1%	1000 В	-0,35 В	0,74%
$U_{R2} - (2,93) \text{ В}$	1%	1000 В	-7,07 В	0,7%
$U_{R3} - (3,05) \text{ В}$	1%	1000 В	-6,95 В	0,7%
$R_1 - (413) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	-57 Ом	0,12%
$R_2 - (422) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	-9578 Ом	0,95%
$R_3 - (10,2) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	0,2 Ом	0,02%
Косвенные измерения				
$I_{R1} - (1,001) \text{ А}$	2%	10 А	-1,0004 А	0,99%
$I_{R2} - (1) \text{ А}$	2%	10 А	-0,9994 А	0,99%
$I_{R3} - (1) \text{ А}$	2%	10 А	-0,72 А	0,72%
$U_{R1} - (0,47) \text{ В}$	1%	1000 В	-0,35 В	0,74%
$U_{R2} - (10) \text{ В}$	1%	1000 В	-7,07 В	0,7%
$U_{R3} - (10) \text{ В}$	1%	1000 В	-6,95 В	0,7%
$R_1 - (470) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	-57 Ом	0,12%
$R_2 - (10) \text{ КОм}$	6%	200 МОм	-9578 Ом	0,95%
$R_3 - (10) \text{ Ом}$	6%	200 МОм	0,2 Ом	0,02%
$P_1 - 0,00047$	-	-	-	-
$P_2 - 0,01$	-	-	-	-
$P_3 - 10$	-	-	-	-

Опираясь на прямые и косвенные измерения, рассчитываем методическую погрешность, вносимую цифровыми приборами [3]:

- для омметра: $\Delta_{пр} = \frac{(R_{ом} - R_{ок})}{100}$
- для амперметра: $\Delta_{пр} = \frac{(I_{ом} - I_{ок})}{100}$
- для вольтметра: $\Delta_{пр} = \frac{(U_{ом} - U_{ок})}{100}$, где

$R_{ом}$ — общее измеренное значение сопротивлений в цепи, Ом, кОм;

$R_{ок}$ — общее косвенное значение сопротивлений в цепи, Ом, кОм;

$I_{ом}$ — общее измеренное значение тока в цепи, А, мА;

$I_{ок}$ — общее косвенное значение тока в цепи, А, мА;

$U_{ом}$ — общее измеренное значение напряжений в цепи, В, мВ;

$U_{ок}$ — общее косвенное (входное) значение напряжений в цепи, В, мВ.

Значения косвенных данных заносим в таблицу 3.

Таблица 3. — Расчетные данные методической погрешности

Значение величин, получаемых цифровыми приборами						
Погрешность, вносимая прибором	$R_{ом}$, Ом, кОм	$R_{ок}$, Ом, кОм	$I_{ом}$, А, мА	$I_{ок}$, А, мА	$U_{ом}$, В, мВ	$U_{ок}$, В, мВ
	0,97 Ом	9,99 Ом	3,14 А	1,001 А	3,05 В	10 В
$\Delta_{пр}$, %	0,0902%	0,0902%	0,021%	0,021%	0,069%	0,069%

По результатам трехкратных наблюдений определим среднее арифметическое значение тока $I_{ср}$, которое принимается равным результату измерения [4]:

$$I_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

Вычисляем остаточные погрешности ΔI_i , представляющие собой разности между результатами отдельных наблюдений I_i и среднеарифметическим значением $I_{ср}$, затем определим квадраты остаточных погрешностей ΔI_i^2 :

$$\Delta I_i = I_i - I_{ср}$$

Предполагая, что погрешности измерены по нормальному закону, найдем среднеквадратическую погрешность ряда наблюдений δ через остаточные погрешности ΔI_i :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta I_1^2 + \Delta I_2^2 \dots + \Delta I_n^2}{n-1}}$$

Опираясь на формулы выше, начиная с определения среднего арифметического значения, вычислим погрешности измерений напряжения и сопротивления. Вычислим значение среднеквадратической погрешности результата измерения σ_A , с которой определено среднеарифметическое значение I_{cp} :

$$\sigma_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Все вычисления заносим в таблицу 4.

Таблица 4. — Расчетные данные

Значения величин, получаемых цифровыми приборами				
Измеренные значения R, Ом, I, A и U, В	Остаточные погрешности $\Delta R_i = R_i - R_{cp}$, Ом $\Delta I_i = I_i - I_{cp}$, А $\Delta U_i = U_i - U_{cp}$, В	Квадраты остаточных погрешностей ΔR_i^2 , Ом ΔI_i^2 , А ΔU_i^2 , В	σ , Ом, А, В	σ_A , Ом, А, В
$I_{R1} - (0,60)$ мА	0,0931 А	0,0086 А	0,1237 А	0,071 А
$I_{R2} - (0,60)$ мА	0,0931 А	0,0086 А	0,1237А	0,071 А
$I_{R3} - (0,28)$ А	-0,18А	0,0441 А	0,1237 А	0,071 А
$U_{R1} - (0,12)$ В	1,91 В	3,6481 В	1,172 В	0,67 В
$U_{R2} - (2,93)$ В	-0,9 В	0,81 В	1,172 В	0,67 В
$U_{R3} - (3,05)$ В	-1,02 В	1,0404 В	1,172 В	0,67 В
$R_1 - (413)$ Ом	-131 Ом	17161 Ом	166,31 Ом	96,01 Ом
$R_2 - (422)$ Ом	-140 Ом	19600 Ом	166,31 Ом	96,01 Ом
$R_3 - (10,2)$ Ом	271,8 Ом	73875,24 Ом	166,31 Ом	96,01 Ом

В заключение сравниваем значение погрешностей с классом точности прибора, значения которых должно быть меньше класса точности [5].

Для контроля расчетов просуммируем остаточные погрешности и убедимся в том, что алгебраическая сумма остаточных погрешностей токов, напряжений и сопротивлений практически равна нулю:

$$\Sigma I = 0,0931 \text{ A} + 0,0931 \text{ A} + (-0,18) \text{ A} = 0 \text{ A}$$

$$\Sigma U = 1,91 \text{ B} + (-0,9) \text{ B} + (-1,02) \text{ B} = 0 \text{ B}$$

$$\Sigma R = (-131) \text{ Ом} + (-140) \text{ Ом} + 271,8 \text{ Ом} = 0 \text{ Ом}$$

Проанализировав полученные значения, отметим, что суммы погрешностей равны нулю и среднеквадратические погрешности результата не превышают класс точности цифрового мультиметра. Вследствие работы была изучена методика определения методической погрешности измерения электрического сопротивления, тока и напряжения, обусловленного влиянием цифрового мультиметра МУ-64, проведен анализ полученных значений и определена среднеквадратическая погрешность результатов прямых измерений.

Список использованной литературы

1. Electronic workbench — моделирование электронных схем / [Электронный ресурс] // Powered House: [сайт]. — URL: <https://poweredhouse.ru/electronic-workbench-modelirovanie-ehlektronnyh-skhem-skachat-programmu/> (дата обращения: 16.04.2023).
2. Белов, Н. В. Инструкция по работе с Electronics Workbench (Лабораторные работы по электротехнике) / Н. В. Белов, П. Н. Шкатов [Электронный ресурс] // studizba: [сайт]. — URL: <https://studizba.com/files/show/doc/213904-1-instrukciya-po-rabote-s-electronics.html> (Дата обращения: 16.04.2023).
3. Семенов, А. А. Разработка метода сравнения двух многомерных векторов в реальном времени на основе миварных экспертных систем / А. А. Семенов, О. О. Варламов // Проблемы искусственного интеллекта. — 2020. — № 2(17). — С. 94–109. — EDN FXAOKP. (Дата обращения: 16.04.2023)
4. Управление качеством производственных процессов и систем: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 27.04.02 «Управление качеством» / О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба, Ю. Г. Вергазова, П. В. Голиницкий. — Москва : Российский государственный аграрный

университет — МСХА им. К. А. Тимирязева, 2018. — 182 с. — EDN YUMFJZ.
(Дата обращения: 16.04.2023).

5. Методика расчета натяга для соединений резиновых армированных манжет с валами по критерию начала утечек / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Ю. В. Катаев, О. М. Мельников // Вестник машиностроения. — 2019. — № 3. — С. 41–44. — EDN RMYNAQ.

УДК 621.311.49

*Горбунов К. П., Ашурбеков М. А., Ташпулатов Ш. С.,
Абдурахманов А. Я.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ОЭС СИБИРИ

г. Сургут

Аннотация. В статье анализируются точки роста потребления и прирост спроса электроэнергии в ОЭС Сибири до 2030 года. Выявлены потребители, которые потребуют ввода новых мощностей на перспективу до 2030 года в рамках исследуемого региона. Определен электросетевой объект в ОЭС Сибири, который в перспективе до 2025-го года обеспечит наибольший прирост потребления электроэнергии в Иркутской области. Рассмотрена перспектива внедрения инновационных технологий при реконструкции электросетевого объекта.

Ключевые слова: *цифровая подстанция, объединенная энергосистема, рост потребления электрической энергии, инновационные технологии.*

*Gorbunov K. P., Ashurbekov M. A., Tashpulatov S. S.,
Abdurahmanov A. Y.*

Surgut State University, Surgut

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF THE ECO OF SIBERIA

Surgut

Abstract. The article analyzes the points of growth in consumption and the increase in demand for electricity in the ECO of Siberia until 2030. Consumers have been identified who will require the introduction of new capacities for the future until 2030 within the framework of the studied region. An electric grid facility has been identified in the Siberian ECO, which in the future until 2025 will provide the greatest increase in electricity consumption in the Irkutsk region. The

prospect of introducing innovative technologies in the reconstruction of an electric grid facility is considered.

Keywords: *digital substation, unified power system, growth of electric energy consumption, innovative technologies.*

В ходе проведения исследования был проанализирован электросетевой объект, расположенный в ОЭС Сибири. В ходе проведения анализа исходных данных и информации, полученной во внешних источниках, было выявлено что в ОЭС Сибири к 2030 году объем спроса на электрическую энергию прогнозируется на уровне 304,9 млрд кВт·ч (среднегодовой 1.92%) [2]. Динамика роста спроса потребления электрической энергии представлена на рис. 1.

Повышенные относительно среднего по ОЭС Сибири темпы прироста потребления электрической энергии прогнозируются в энергосистемах Республики Тыва (14,8%), Республики Бурятия (4,1%), Забайкальского края (3,6%), Иркутской области (2,3%) [4]. Высокие темпы прироста спроса на электрическую энергию прогнозируются на период 2023–2024 годов. Прирост в Иркутской области в 2023 году (3,5%) связан с осуществлением на территории ОЭС Сибири проекта расширения пропускной способности железных дорог на участках БАМ и Транссиб.

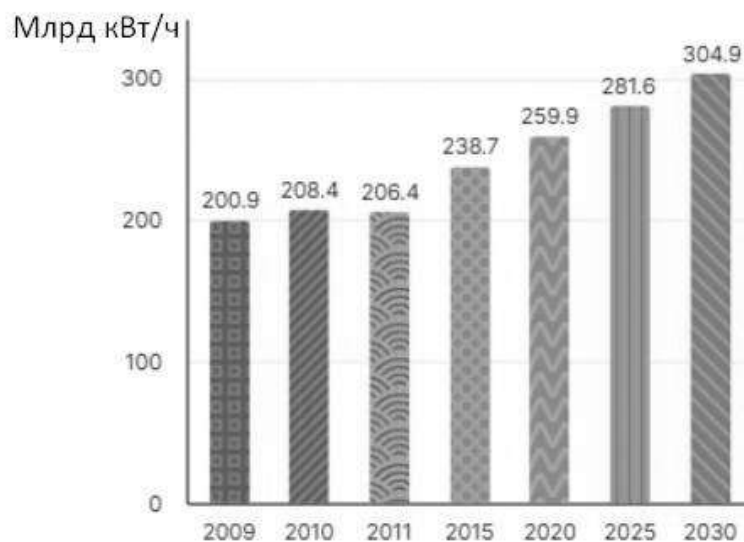


Рис. 1. Объем спроса на электроэнергию за период 2009–2030 гг.

В ходе экспертной дискуссии «Развитие энергетики Сибири: перспективные направления и прорывные решения» было отмечено, что в минув-

шем году в Иркутской области был превышен исторический максимум потребления, что в значительной степени обусловлено началом набора нагрузки Тайшетским алюминиевым заводом [1]. Дополнительные мощности потребовались для увеличения пропускной способности Восточного полигона — ключевого транспортного проекта России на 2023 год, кроме того, высокую приоритетность работ по расширению БАМа и Транссиба обозначили на федеральном уровне. Центром питания электрических нагрузок является подстанция «Тайшет» напряжением 500 кВ. Подстанция «Тайшет» была введена в эксплуатацию в 1961 году [3]. Карта-схема расположения подстанции Тайшет представлена на рис. 2.

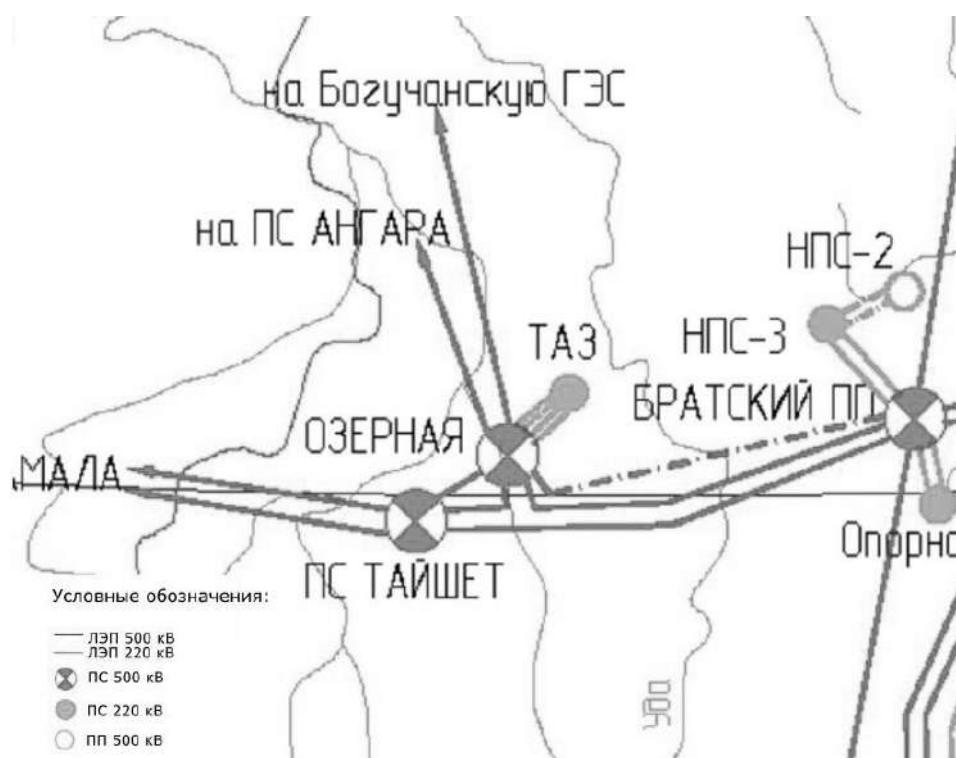


Рис. 2. Карта-схема расположения подстанции Тайшет

Реконструкция подстанции «Тайшет» позволит обеспечить подключение новых потребителей в Тайшете, Тайшетском и Чунском районах. На подстанции «Тайшет» будут применены современные технологии цифровой подстанции. Они позволят быстро выявлять повреждения и производить отключения, чтобы защитить оборудование. Также будет обеспечено дистанционное управление работой техники и мониторинг ее состояния в режиме онлайн. Сеть цифровой подстанции имеет 2 уровня: шина процесса и шина

станции. Шина процесса осуществляет связь между измерительным оборудованием и интеллектуальными электронными устройствами, функциональная структурная схема цифровой подстанции представлена на рис. 3. Все устройства должны поддерживать синхронизацию времени с микросекундной точностью, а сеть — обеспечивать бесшовное резервирование, исключающее потерю данных. Шина станции осуществляет связь между интеллектуальными электронными устройствами и SCADA-системой подстанции.

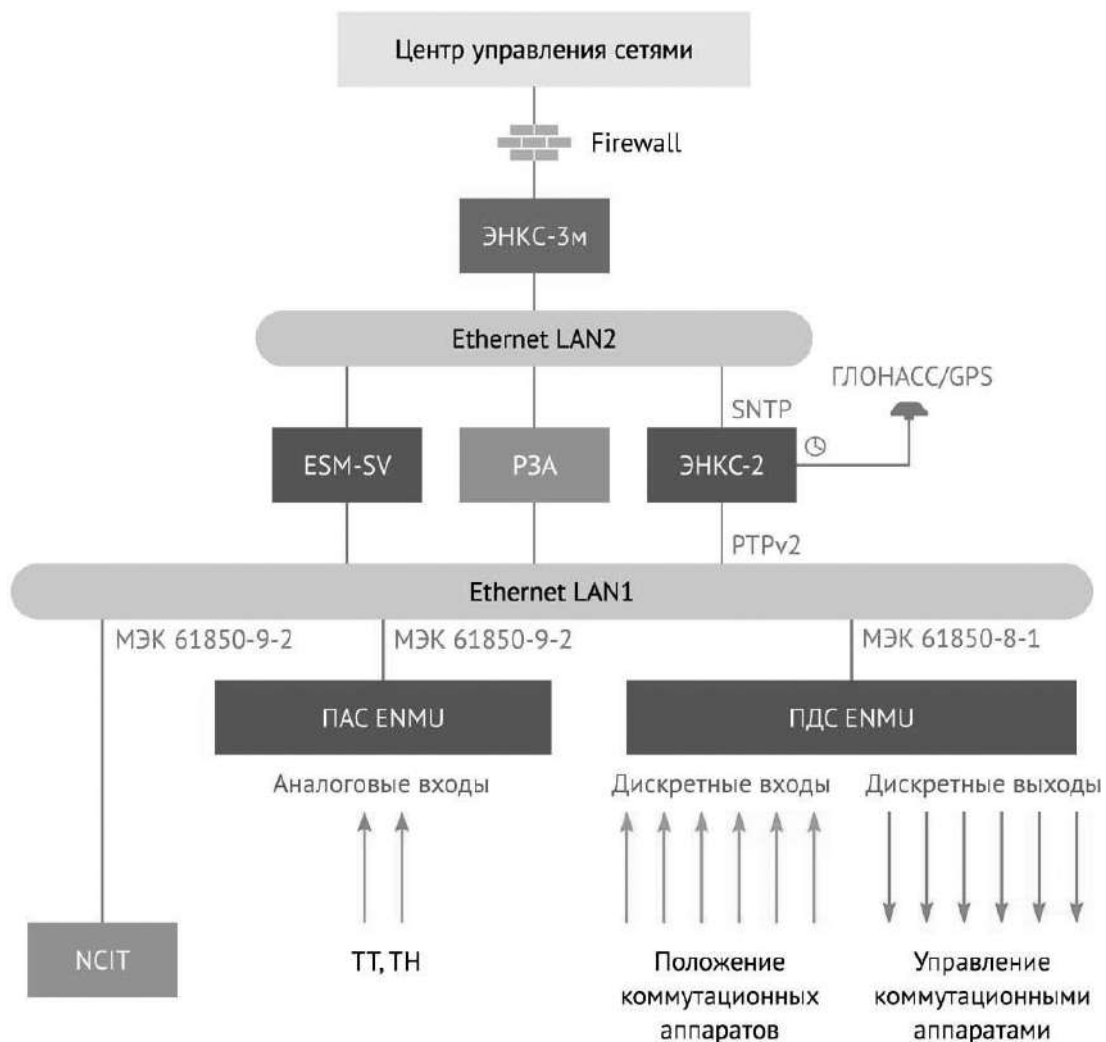


Рис. 3. Функциональная структурная схема цифровой подстанции

В процессе разработки новых цифровых подстанций возникает ряд основных преимуществ:

- единая форма информационных протоколов обмена данными;
- меньше физических каналов связи и количество подключений;

- обеспечение наблюдаемости каналов сбора, передачи информации и управления;
- снижение потерь во вторичных цепях;
- упрощение механизмов поверки устройств системы;
- формирование единой системы диагностики устройств вторичной коммутации;
- переход к необслуживаемым подстанциям.
- повышение уровня автоматизации процессов.

Одним из возможных отечественных поставщиков оборудования, материалов и технологий для исследуемого объекта может быть Научно-производственное предприятие «ЭКРА», на котором разрабатывают и производят полный спектр цифрового вторичного оборудования для объектов энергетики и промышленности. Также компания «ЭКРА» проводит подготовку, переподготовку и повышение квалификации персонала.

В ходе проведения исследования были проанализированы динамика роста спроса и точки роста потребления электрической энергии в ОЭС Сибири до 2030 года. Выявлены потребители, которые потребуют ввода новых мощностей на перспективу до 2030 года в рамках исследуемого региона. Определен электросетевой объект в ОЭС Сибири, который в перспективе до 2025 года обеспечит наибольший прирост потребления электроэнергии в Иркутской области. В результате проведенного исследования была предложена модернизация традиционных подстанций посредством внедрения цифровых комплексов релейной защиты и автоматики.

Список использованной литературы

1. Генеральный директор ОДУ Сибири: «Для покрытия растущего спроса на электроэнергию в ОЭС Сибири требуются технически и экономически обоснованные решения» // Системный оператор единой энергетической системы. — URL: <https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/21091/> (Дата обращения: 16.04.2023).

2. Министерство энергетики Российской Федерации, Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике. Сценарные условия развития электроэнергетики на период до 2030 года // Официальный интернет-портал, 2011. — URL: https://atompool.ru/images/data/gallery/1_8337__usloviya_elektroenergetiki_na_period_do_2030_goda.pdf

3. Подстанция «Тайшет-500» пятьдесят лет служит энергомоном между двумя регионами // Восточно-Сибирская правда. — URL: <https://vsp.ru/2011/12/23/energeticheskij-forpost/> (Дата обращения: 16.04.2023).

4. Об утверждении схемы и программы развития единой энергетической системы России на 2022–2028 годы : Приказ Минэнерго России от 28.02.2022 № 146. — URL: <https://minenergo.gov.ru/node/22853>

УДК 621.3.064.1.

Багаутдинова Е. Э.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ РАЗЪЕМНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ЗРУ-6 кВ

г. Сургут

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема повышения температуры разъемных соединений. Предложены возможные решения данной проблемы путем установки подходящих датчиков и системы мониторинга температуры.

Ключевые слова: температурный контроль, система электроснабжения, распределительное устройство.

Bagautdinova E. E.

Surgut State University, Surgut

ORGANIZATION OF TEMPERATURE CONTROL OF DETACHABLE
CONNECTIONS OF HIGH-VOLTAGE SWITCHES ZRU-6 kV

Surgut

Abstract. In this article, the problem of increasing the temperature of detachable connections is considered. Possible solutions to this problem are proposed by installing suitable sensors and a temperature monitoring system.

Keywords: temperature control, power supply system, switchgear.

Высоковольтные выключатели ЗРУ-6 кВ (заземленные распределительные устройства) являются важным компонентом электроэнергетической системы, обеспечивающей передачу и распределение электрической энергии на средних напряжениях. Разъемные соединения, применяемые в выключателях, играют ключевую роль в обеспечении надежной работы электрического

оборудования. Однако воздействие окружающей среды, электрические и тепловые нагрузки могут вызвать повышение температуры разъемных соединений, что может привести к их износу и отказу. Для предотвращения таких неполадок и обеспечения надежной работы выключателей ЗРУ-6 кВ необходимо организовать температурный контроль разъемных соединений. В данной статье мы рассмотрим вопросы организации температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей ЗРУ-6 кВ.

Температурные режимы выключателей ЗРУ-6 кВ.

Выключатели ЗРУ-6 кВ работают в условиях повышенных тепловых нагрузок, вызванных прохождением высокого тока и электрическими процессами внутри выключателей. Это может приводить к нагреву разъемных соединений и вызывать потенциальные проблемы с их надежностью и долговечностью. Поэтому важно определить допустимые температурные режимы для разъемных соединений в выключателях ЗРУ-6 кВ. Это может быть основано на стандартах и рекомендациях производителей оборудования, а также на опыте эксплуатации и мониторинге температурных показателей в реальных условиях.

Организация температурного контроля.

Одним из основных аспектов организации температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей ЗРУ-6 кВ является выбор подходящих датчиков и системы мониторинга температуры. Для этого необходимо учитывать особенности конструкции выключателей, условия эксплуатации, а также требования стандартов и рекомендаций производителей. Датчики температуры могут быть различных типов, таких как термоэлектрические, терморезисторные, термопарные и другие. Выбор определенного типа датчика зависит от требуемой точности измерений, диапазона измеряемых температур, условий эксплуатации и доступных ресурсов.

После выбора датчиков температуры они устанавливаются на соответствующих участках разъемных соединений выключателей ЗРУ-6 кВ. Места установки датчиков выбираются таким образом, чтобы они были наиболее репрезентативными для определения температурного режима разъемных соединений. Это может быть место контакта разъемных элементов, место вблизи разъемных соединений, а также другие критические участки, где повышение температуры может привести к износу соединений. Далее система

мониторинга температуры должна быть настроена на определение и регистрацию значений температуры в режиме реального времени. Для этого могут использоваться специализированные устройства мониторинга, такие как температурные контроллеры, регистраторы данных или системы автоматического контроля и управления оборудованием. Важно, чтобы система мониторинга обеспечивала достаточную точность измерений и была надежной, чтобы предотвращать возможные ошибки и сбои в процессе контроля температуры разъемных соединений.

Критерии оценки температурного состояния разъемных соединений.

После установки и настройки системы мониторинга температуры необходимо определить критерии оценки температурного состояния разъемных соединений. Это может включать определение предельных значений температуры, при которых соединения считаются в норме, а также установку предупреждающих и аварийных значений температуры, при которых требуется принять меры по предотвращению возможных повреждений или аварийных ситуаций.

Критерии оценки температурного состояния разъемных соединений могут быть определены на основе стандартов, рекомендаций производителей или опыта эксплуатации. Одним из распространенных подходов является определение допустимых пределов температуры на основе теплового режима, установленного производителем выключателей ЗРУ-6 кВ. Например, производитель может указать максимально допустимую температуру контактных соединений, при которой их эксплуатация считается безопасной и стабильной. Исходя из этого, можно установить предупреждающие значения температуры, например, на 80% от максимально допустимого значения, и аварийные значения на 90% от максимально допустимого значения. Если температура превышает аварийное значение, то это может сигнализировать о возможной угрозе повреждения разъемных соединений, и необходимо принять меры по предотвращению аварийной ситуации — например, отключить выключатель или принять другие меры по снижению температуры.

При оценке температурного состояния разъемных соединений также следует учитывать факторы, влияющие на тепловой режим, такие как нагрузка на выключатель, длительность работы, температура окружающей среды и другие. Для этого можно использовать специализированные

программные продукты или алгоритмы, которые позволяют учитывать эти факторы и определять реальное тепловое состояние разъемных соединений.

Важным аспектом организации температурного контроля является также анализ и интерпретация полученных данных. Постоянный мониторинг температуры разъемных соединений может предоставлять множество информации, и важно уметь правильно анализировать и интерпретировать эти данные. Например, анализ динамики изменения температуры со временем может помочь выявить возможные тенденции и предотвратить потенциальные проблемы. Если температура стремительно возрастает, это может указывать на перегрузку или другие проблемы в работе выключателя, и требуется незамедлительное вмешательство. С другой стороны, постепенное увеличение температуры со временем может свидетельствовать о постепенном ухудшении контактных соединений или других проблемах, и может потребоваться плановое техническое обслуживание.

Для организации температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей ЗРУ-6 кВ могут быть использованы различные технические решения. Одним из них является использование датчиков температуры, установленных на контактных соединениях или вблизи них. Датчики могут быть подключены к системе автоматического контроля и мониторинга, которая будет непрерывно отслеживать температуру разъемных соединений и выдавать предупреждения или аварийные сигналы при превышении установленных пределов.

Другим возможным решением является использование термографической камеры, которая позволяет в режиме реального времени визуализировать температурное состояние разъемных соединений. Термографическая камера может быть установлена на специальных опорах или мобильных устройствах и направлена на разъемные соединения, позволяя оператору наблюдать тепловое состояние выключателя в режиме реального времени и быстро выявлять возможные проблемы.

Существуют также системы мониторинга и диагностики, основанные на использовании информационных технологий. Например, системы сбора и анализа данных, позволяющие непрерывно контролировать температуру разъемных соединений, а также проводить анализ и прогнозирование теплового состояния на основе математических моделей и алгоритмов. Это может помочь оперативному персоналу выявлять потенциальные проблемы

и принимать меры по их предотвращению, такие как замена изношенных контактов, настройка силовых параметров или проведение технического обслуживания.

Кроме того, важным аспектом организации температурного контроля является правильный выбор оборудования и материалов, используемых в разъемных соединениях. Например, использование контактов с высоким коэффициентом теплопроводности может помочь эффективному отводу тепла от разъемных соединений и снижению температуры работы. Также важно правильно расположить разъемные соединения в конструкции выключателя таким образом, чтобы исключить перегрев или неравномерное распределение тепла.

Однако организация температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей ЗРУ-6 кВ может также сталкиваться с определенными трудностями. Например, условия эксплуатации выключателей могут быть различными, включая различные климатические условия, интенсивность нагрузок, а также наличие агрессивных сред или вибраций. В таких условиях необходимо выбирать соответствующие методы контроля и оборудование, способное работать стабильно и точно в сложных условиях эксплуатации.

Также важно учитывать стоимость и сложность внедрения системы температурного контроля. Неконтролируемый перегрев или неправильное тепловое состояние разъемных соединений может привести к аварийной ситуации, однако внедрение сложных систем контроля может потребовать значительных затрат на оборудование, программное обеспечение и обучение персонала.

В заключение организация температурного контроля разъемных соединений высоковольтных выключателей ЗРУ-6 кВ является важным аспектом обеспечения безопасной и надежной работы электроустановок. Правильно организованный температурный контроль позволяет оперативно выявлять возможные проблемы, предотвращать аварийные ситуации и проводить плановое техническое обслуживание. Выбор методов контроля и оборудования должен основываться на особенностях конкретной эксплуатационной среды и требованиях безопасности и надежности. Необходимо также учитывать стоимость и сложность внедрения системы температурного контроля, а также обучение персонала. Все это должно быть согласовано с требованиями

нормативных документов и стандартов, регулирующих эксплуатацию высоковольтных выключателей.

Список использованной литературы

1. Термоэлектрические датчики: [сайт]. — URL: <https://studfile.net/preview/882561/> (Дата обращения: 16.04.2023). — Текст: электронный.
2. «Электрик Инфо» — онлайн-журнал про электричество: [сайт]. — URL: <http://elektrik.info/main/automation/430-datchiki-temperature-termorezistory.html> (Дата обращения: 16.04.2023). — Текст: электронный.
3. «ASUTPP-заметки электрика» : [сайт]. — URL: <https://www.asutpp.ru/termopary.html?ysclid=lgla5n17s9732969804> (Дата обращения 16.04.2023). — Текст: электронный.

УДК 621

Кондрашкина Е. Г., Витвицкий В. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА
УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ
В СКВАЖИНАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ
ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. В статье ставится задача рассмотреть возможности систем мониторинга и диагностики установок электроцентробежных насосов. Объектом исследования является механизированный фонд скважин. Рассмотрены возможности и достоинства систем мониторинга. Сделан вывод о необходимости широкого внедрения систем дистанционного мониторинга механизированного фонда скважин в нефтегазодобывающую отрасль для повышения эффективности использования оборудования и уменьшения издержек.

Ключевые слова: установка электроцентробежного насоса, погружной электродвигатель, эффективность, мониторинг, интеллектуальная скважина, механизированный фонд скважин, цифровой двойник.

Kondrashkina E. G., Vitvickiy V. A.

Surgut State University, Surgut

THE SYSTEM OF REMOTE MONITORING OF INSTALLATIONS
OF ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMPS IN WELLS OF OIL AND GAS
PRODUCING ENTERPRISES

Abstract. The article aims to consider the possibilities of monitoring and diagnostics systems for electric centrifugal pumps. The object of the study is the mechanized fund of wells. The possibilities and advantages of monitoring systems are considered. The conclusion is made about the need for widespread introduction of remote monitoring systems of mechanized wells in the oil and gas industry to increase the efficiency of equipment use and reduce costs.

Keywords: *installation of an electric centrifugal pump, submersible electric motor, efficiency, monitoring, intelligent well, mechanized well stock, digital twin.*

Мониторинг — это отслеживание изменений параметров объекта во времени, происходящих под влиянием каких-либо факторов, анализ полученных данных и прогнозирование дальнейшего изменения параметров. Целью мониторинга является выявление и предотвращение возникновения негативных последствий для отслеживаемого объекта. Несмотря на широкое внедрение современных информационных технологий во все сферы экономики страны, на многих предприятиях нефтяного комплекса основным способом мониторинга является периодический осмотр механизированного фонда скважин оператором добычи нефти и газа.

В настоящее время нефтегазовая отрасль, как и другие сферы экономики и промышленности, тесно связана с информационными технологиями. Их внедрение позволяет увеличивать объем добываемого сырья, повышать ресурс оборудования и многое другое. Цифровые умные скважины, интеллектуальные месторождения — этап модернизации, позволяющий оптимизировать разработку, освоение и эксплуатацию месторождений. Одним из важных составляющих интеллектуальных месторождений является мониторинг и управление механизированным фондом скважин.

Внедрение современных технологий оптимизации режимов работы электропогружного оборудования и системы дистанционного мониторинга установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) является ключевым фактором повышения эффективности и срока эксплуатации насосов, а также оптимизации добычи сырья.

Без использования цифровых двойников при эксплуатации УЭЦН, сбор данных о работе погружной установки происходит вручную, при непосредственном присутствии персонала у скважины.

Находясь на большом расстоянии от скважины, система мониторинга позволяет получать данные о текущем состоянии УЭЦН. С помощью параметров, полученных от системы дистанционного мониторинга, специалисты в реальном времени проводят мероприятия по оптимизации работы электропогружного скважинного оборудования. Система также позволяет автоматически сообщать о скважинах, в которых оборудование эксплуатируется с отклонениями от заданного режима работы.

С помощью цифрового двойника, как устройства предиктивной диагностики УЭЦН, можно прогнозировать значения температуры погружного электродвигателя (ПЭД). Наличие у двигателя простых датчиков температуры позволяет специалисту наблюдать за нагревом двигателя в данный момент, при перегрузке или влиянии сторонних факторов, однако узнать максимальную температуру, которой двигатель достигнет, не представляется возможным. Цифровые двойники могут прогнозировать различные изменения параметров окружающей среды и насоса, влияющих на температуру ПЭД и его компонентов. Это позволит оператору выстроить безопасную работу глубинного насоса, увеличивая ресурс оборудования путем заблаговременного внесения изменений в режим работы УЭЦН.

Цифровые двойники также необходимы для повышения производительности погружного электродвигателя и продления его срока службы. Сильное влияние на работу ПЭД и на его температуру оказывает давление и скорость пластовой жидкости. ПЭД связан с насосом физически, а управление осуществляется через контроллер. С помощью использования цифровых двойников смоделировать текущее состояние системы УЭЦН можно благодаря двум датчикам, устанавливаемым на клапаны насоса, которые определяют расход. Оператору будут поступать сведения о работе как насоса, так и двигателя. Оператор сможет следить за температурой ПЭД, величиной электрического тока, скоростью и давлением потока жидкости в различных местоположениях и в любой момент времени.

Помимо автоматически получаемых данных о текущей работе установки, можно выводить историю работы УЭЦН в таблице или на графике. Система мониторинга систематически контролирует отклонения параметров УЭЦН от заданных уставок, все отклонения выделяются и выводятся отдельно, для дальнейшей работы оператора по нормализации значений.

К примеру, на рис. 1 изображена программа под названием «Контроль состояния УЭЦН», разработанная в ПАО «Сургутнефтегаз», она отслеживает состояние работающего механизированного фонда. Программное средство способно отследить количество остановок скважины и, если будет превышен предел допустимого количества остановок, тогда программа оповестит оператора как световой, так и звуковой сигнализацией.

Данное программное обеспечение отслеживает аварийные остановки оборудования, любые отклонения от уставок и незамедлительно реагирует на них.

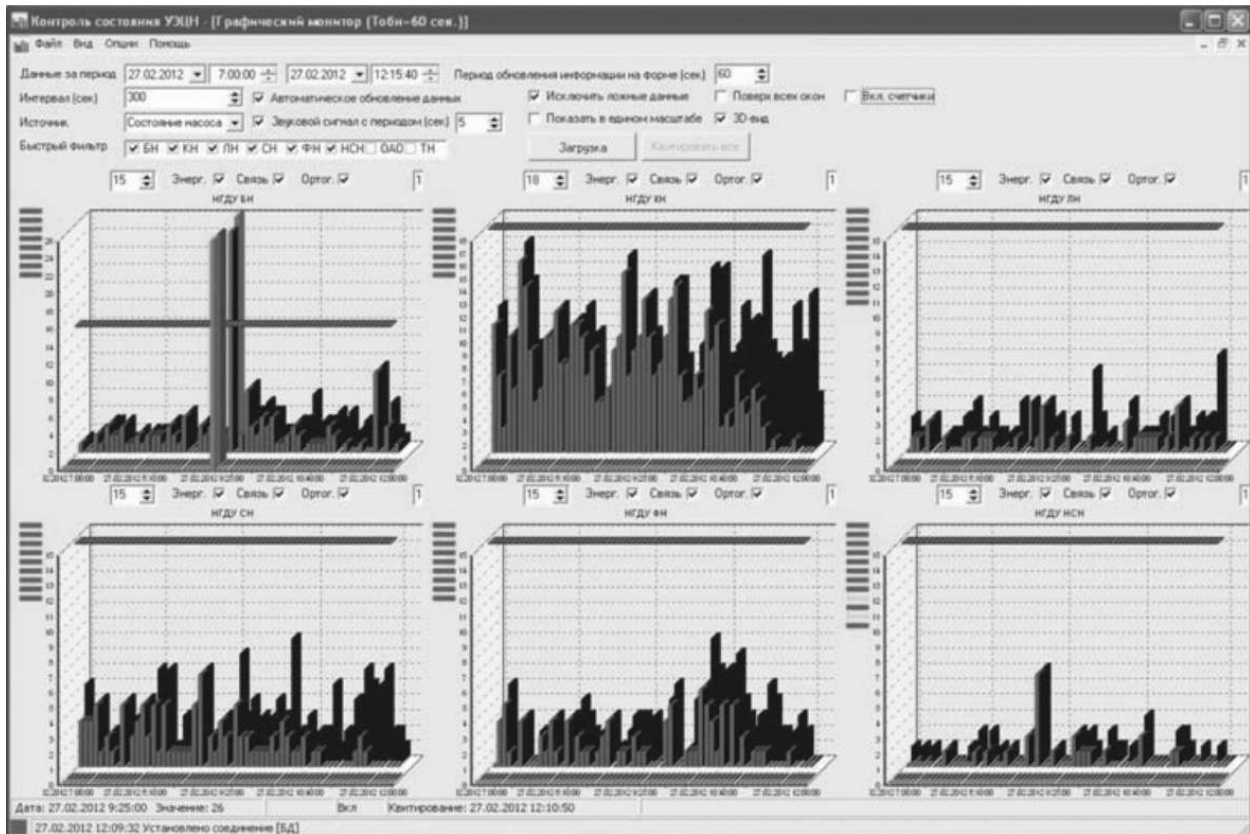


Рис. 1. Вид интерфейса программы «Контроль состояния УЭЦН»

Получать информацию о состоянии УЭЦН в скважине в реальном времени и далеко от месторождения стало возможно благодаря дистанционной системе мониторинга. Весомая часть задач, поставленных перед оператором при этом компьютеризована. Использование цифровых двойников несет экономический эффект в виде уменьшения издержек при добыче сырья, а также снижается вероятность ошибок из-за человеческого фактора. С помощью современных технологий мониторинга механизированного фонда скважина увеличивается эффективность использования оборудования, срок службы, сбережение ресурсов, а также экономическая составляющая.

Помимо перечисленного, нефтегазодобывающие предприятия заинтересованы в использовании интеллектуальных скважин из-за роста про-

изводительности труда и уменьшения издержек благодаря автоматическому контролю за оборудованием, своевременного и быстрого реагирования на возникающие отклонения от номинального режима работы и внесения корректировок в работу в реальном времени, без выезда бригады на месторождение.

Сокращение издержек, уменьшение числа текущих ремонтов (так как снижается необходимость в частом останове скважины, подъеме оборудования и его осмотра) позволяет те деньги, что были сэкономлены, направить на мероприятия по увеличению нефтеотдачи, разработку и внедрение нового современного оборудования и т. д.

Список использованной литературы

1. Китабов, А. Н. Система измерения вибрации и температуры погружного электродвигателя / А. Н. Китабов // Мавлютовские чтения: сб. тр. в 5 т. Т. 2 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; под ред. Р. А. Бадамшина. — Уфа: УГАТУ, 2009. — С. 106–108.
2. Шагиев, В. Р. Системы измерения технологических параметров механизированных нефтедобывающих скважин [Текст] / В. Р. Шагиев, М. И. Хакимьянов // Вестник молодого ученого УГНТУ. — 2015. — № 2. — С. 5–9.
3. Решения и развитие интеллектуальной технологии мониторинга и управления механизированным фондом скважин [Текст] / В. В. Жильцов, А. В. Дударев, Г. В. Шитов, В. В. Чувицова // Нефтяное хозяйство. — 2006. — № 10. — С. 128–130.
4. Ермолович, Е. М. Современное решение для мониторинга и анализа работы УЭЦН с целью максимизации добычи нефти и увеличения наработки на отказ погружного оборудования [Электронный ресурс] / Е. М. Ермолович // Производственно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика». — 2018. — № 09. — URL : <https://glavteh.ru/мониторинг-анализ-работы-уэцн-спд/>
5. Китабов, А. Н. Информационно-измерительная система диагностики погружного электродвигателя / А. Н. Китабов, В. П. Токарев // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2011. — Т. 15. — № 1(41). — С. 153–164. — EDN PWTMKV.

6. Еремин, Н. А. Цифровой двойник в нефтегазовом производстве / Н. А. Еремин, Ал. Н. Еремин // Нефть. Газ. Новации. — 2018. — № 12. — С. 14–17.

7. Большунов, А. В. Современные методы диагностики фактического состояния установок электроцентробежных насосов // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 12-2. — С. 249–253. — URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37297> (дата обращения: 12.03.2023).

УДК 621.316

Борисов И. Б.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ
СОВМЕСТИМОСТЬ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОНДУКТИВНЫЕ ПОМЕХИ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 35 кВ

г. Сургут

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию проблемы качества электрической энергии, электромагнитной совместимости и кондуктивных помех в электрических сетях 35 кВ. В работе были рассмотрены основные параметры, определяющие качество электрической энергии, а также различные источники помех, которые могут возникать при использовании электрооборудования. Кроме того, были изучены методы защиты от помех и требования к электрооборудованию по электромагнитной совместимости. Отдельное внимание было уделено проблеме кондуктивных помех в электрических сетях 35 кВ и методам их борьбы. В заключение были выделены перспективы развития темы, включая разработку новых стандартов и методов для обеспечения качества электрической энергии и электромагнитной совместимости.

Ключевые слова: *качество электрической энергии, электромагнитная совместимость, кондуктивные помехи, электрические сети 35 кВ, параметры качества электрической энергии, источники помех.*

Borisov I. B.

Surgut State University, Surgut

ELECTRICAL ENERGY QUALITY, ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY,
ELECTROMAGNETIC CONDUCTIVE INTERFERENCE IN 35KV ELECTRICAL
NETWORKS

Surgut

Abstract. This work is devoted to the study of the problem of the quality of electrical energy, electromagnetic compatibility and conductive interference in 35 kV electrical networks. The paper considered the main parameters that determine the quality of electrical energy, and also considered various sources of interference that may occur when using electrical equipment. Methods of protection against interference and requirements for electrical equipment for electromagnetic compatibility were also considered. Special attention was paid to the problem of conductive interference in 35 kV electrical networks, and methods of their control. In conclusion, the prospects for the development of the topic were highlighted, including the development of new standards and methods to ensure the quality of electrical energy and electromagnetic compatibility.

Keywords: *electrical energy quality, electromagnetic compatibility, conductive interference, 35 kV electrical networks, electrical energy quality parameters, interference sources.*

Современные производственные процессы и бытовая техника требуют высококачественной электроэнергии. В этой связи важной задачей является обеспечение качества электрической энергии и ее совместимости с электрооборудованием [1]. Одной из проблем, которые могут возникать при использовании электрооборудования, являются электромагнитные помехи, включая кондуктивные помехи в электрических сетях 35 кВ [2]. Цель данной работы — рассмотреть проблему качества электрической энергии, электромагнитной совместимости и кондуктивных помех в электрических сетях 35 кВ.

Качество электрической энергии — это совокупность параметров, которые характеризуют ее соответствие требованиям, предъявляемым к работе

электрооборудования. Основные параметры, определяющие качество электрической энергии, включают [3]:

- напряжение;
- частоту;
- форму сигнала;
- гармонические искажения;
- перенапряжения;
- перетоки;
- несимметричность;
- длительность прерывания;
- напряжение заземления;
- импульсные помехи.

Допустимые значения параметров качества электрической энергии установлены стандартами, которые регулируются законодательно. Отклонения от этих параметров могут привести к снижению производительности и повреждению электрооборудования.

Электромагнитная совместимость — это способность электрооборудования работать без помех в условиях электромагнитного поля. Помехи могут возникать в результате работы различных источников электромагнитного поля, таких как электрооборудование и линии электропередачи, мощные электродвигатели, радиостанции, телевизионные передатчики и т. д. Помехи могут быть электромагнитными или электростатическими [4].

Источники помех могут быть как внутренними, так и внешними. Внутренние источники помех могут возникать в результате работы электрооборудования, а внешние источники помех могут быть вызваны внешними источниками электромагнитных полей.

Для защиты электрооборудования от помех существуют различные методы, такие как экранирование, фильтрация, гальваническая развязка и т. д. Кроме того, требуется учитывать требования к электрооборудованию по электромагнитной совместимости.

Кондуктивные помехи — это помехи, которые возникают в результате распространения электромагнитных полей через провода и кабели. В электрических сетях 35 кВ кондуктивные помехи могут возникать из-за наличия гармонических составляющих тока в проводах, из-за которых возникает эффект электромагнитной индукции [5].

Кондуктивные помехи могут привести к снижению производительности и повреждению электрооборудования. Для борьбы с кондуктивными помехами используются различные методы, такие как установка фильтров, экранирование кабелей и т. д. Требования к экранированию электрооборудования также установлены стандартами.

Качество электрической энергии и электромагнитная совместимость являются важными аспектами в работе электрооборудования [6]. Несоблюдение требований по качеству электрической энергии и электромагнитной совместимости может привести к снижению производительности и повреждению электрооборудования. Кондуктивные помехи в сетях 35 кВ могут возникать из-за различных причин, таких как молнии, высокочастотные помехи, перекрытие проводов, электромагнитные излучения и другие внешние факторы. Эти помехи могут вызывать проблемы в работе сети, включая ухудшение качества сигнала, потерю данных и прекращение передачи сигнала.

Борьба с кондуктивными помехами включает несколько методов [7]:

1. Заземление и экранирование. Заземление используется для предотвращения электростатических зарядов на оборудовании, что может привести к помехам. Экранирование используется для блокировки внешних электромагнитных полей, которые могут создавать помехи на проводах.

2. Фильтрация помех. Этот метод включает использование фильтров, которые могут удалять кондуктивные помехи из сигнала. Фильтры могут быть установлены на оборудование или на провода.

3. Использование штативов и кабельных подвесов. Эти методы используются для предотвращения перекрытия проводов, что может привести к помехам в сети.

4. Использование оптоволоконных кабелей. Оптоволоконные кабели могут предотвратить кондуктивные помехи, так как они не являются проводниками.

5. Использование анализаторов спектра. Анализаторы спектра используются для обнаружения и анализа кондуктивных помех в сети. Они могут помочь в определении источника помех и выборе оптимальных методов их устранения.

6. Использование защитных устройств. Защитные устройства могут быть установлены на оборудование или на провода для защиты от внешних электромагнитных полей и кондуктивных помех.

7. Регулярное техническое обслуживание. Регулярное техническое обслуживание оборудования и проводов может помочь в предотвращении кондуктивных помех. Рекомендуется проводить техническое обслуживание с определенной периодичностью и в соответствии с требованиями производителя оборудования.

Комбинация этих методов может помочь в борьбе с кондуктивными помехами в сетях 35 кВ и обеспечить более надежную работу сети. Однако выбор определенных методов может зависеть от конкретных условий и требований к сети [8].

Кроме того, для более эффективной борьбы с кондуктивными помехами, важно учитывать следующие факторы:

А. Надежность и качество оборудования. Оборудование, используемое в сети, должно соответствовать определенным требованиям надежности и качества, чтобы минимизировать возможность возникновения помех.

В. Конструкция и укладка проводов. Конструкция и укладка проводов должны быть выполнены с учетом требований к защите от помех и воздействия внешних факторов, таких как ветер, ледяные дожди и т. д.

С. Ограничение количества подключенных устройств. Перегруженная сеть может стать более подверженной кондуктивным помехам. Поэтому следует ограничивать количество подключенных устройств и обеспечивать правильную настройку сетевых параметров.

Д. Обучение персонала. Персонал, работающий с сетью, должен быть обучен методам борьбы с кондуктивными помехами и уметь проводить техническое обслуживание оборудования.

В целом борьба с кондуктивными помехами в сетях 35 кВ — это важный аспект обеспечения надежности и безопасности работы электросетей и требует комплексного подхода и использования различных методов и технологий. Перспективы развития темы включают разработку новых стандартов и методов для обеспечения качества электрической энергии и электромагнитной совместимости, а также использование новых технологий и материалов для борьбы с кондуктивными помехами.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы

качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 2014-07-01). — М. : Стандартинформ, 2014. — 20 с.

2. 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 : Изд-во Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. — 559 с.

3. Исследование высших гармоник в электрических сетях низкого напряжения / Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, М. Г. Вишнягов [и др.] // Омский научный вестник. — 2018. — № 6(162). — С. 119–125.

4. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения / К. В. Хацевский, Ю. М. Денчик, В. И. Клеутин [и др.] // Омский научный вестник. — 2012. — № 2(110). — С. 212–214.

5. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6–10 кВ: моногр. / Е. В. Иванова, А. А. Руппель; под ред. В. П. Горелова. — Омск : Изд-во НГАВТ, Омск. фил., 2004. — 284 с.

6. Григорьев, О. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / О. Григорьев // Новости электротехники. — 2003. — № 1. — С. 54–56.

7. Степанов, В. М. Влияние высших гармоник в системах электроснабжения предприятия на потери электрической энергии / В. М. Степанов, И. М. Базыль // Известия Тул. гос. ун-та. Технические науки. — 2013. — № 12-2. — С. 27–31.

8. Глотов, А. А. Обеспечение электромагнитной совместимости электрических сетей по допустимым уровням кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех / А. А. Глотов, Ю. М. Денчик // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всерос. науч.-техн. конф.: в 2 т. — 2015. — С. 12–15.

УДК 621.311

Редченко В. А.

ПАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ
С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается влияние нелинейной нагрузки на синусоидальность формы напряжения и тока, приводятся способы подавления высших гармоник для повышения качества электрической энергии.

Ключевые слова: *помехи, влияние, напряжение.*

Redchenko V. A.

“Surgutneftegas”, Surgut

IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY IN NETWORKS
WITH NONLINEAR LOAD

Surgut

Abstract. The article examines the influence of a nonlinear load on the sinusoidal shape of voltage and current, provides ways to suppress higher harmonics to improve the quality of electrical energy.

Keywords: *interference, influence, voltage.*

Качество электроснабжения зависит от многих факторов, в том числе от наличия нелинейной нагрузки в электрической сети. Нелинейная нагрузка — это нагрузка, которая не имеет линейной зависимости между напряжением и током, так как она содержит элементы с нелинейными характеристиками, такие как диоды, транзисторы, тиристоры и другие. Нелинейная нагрузка может привести к искажению синусоидальной формы напряжения и тока, что может привести к понижению качества электроснабжения.

Другие факторы, влияющие на качество электроснабжения, включают перенапряжения, сбои в сети и напряжения низкой частоты. Искажение синусоидальной формы напряжения и тока, вызванное нелинейной нагрузкой, может привести к высоким уровням гармонических искажений, которые могут повредить оборудование в сети и повлиять на работу чувствительных приборов, таких как компьютеры, телевизоры и другие электронные приборы.

Примерами нелинейной нагрузки служат асинхронные электродвигатели, блоки частотного регулирования электропривода, вентильные преобразователи, трансформаторы в режиме насыщения, характеризующиеся несинусоидальным током намагничивания, и др.

Для снижения негативного влияния нелинейной нагрузки на качество электроснабжения можно использовать различные методы, такие как применение фильтров, преобразователей, переносных генераторов или установки активных фильтров гармоник. Дополнительно проведение анализа гармоник и искажений в электрической сети может помочь выявить проблемы и разработать решения для улучшения качества электроснабжения.

Нелинейным потребителям приходится использовать токи гармоник, которые поступают в распределительную сеть. Гармоники напряжения вызываются протеканием токов гармоник по сопротивлениям питающих цепей (по трансформатору и распределительной сети).

Например, для управления скоростью и мощностью асинхронных электродвигателей применяются частотные преобразователи. Кроме того, частотные преобразователи позволяют облегчить режим пуска и остановки электродвигателя, ведь они могут контролировать уровень тока и напряжения в начальный момент работы двигателя, что снижает нагрузку на механические и электрические элементы системы. Частотные преобразователи, как и другие электрические устройства с электронным управлением, потребляют несинусоидальный ток и приводят к нелинейному искажению напряжения в сети и снижению коэффициента мощности.

Использование несинусоидального тока может привести к различным негативным последствиям. Некоторые из них включают:

- Появление электромагнитных помех. Несинусоидальный ток может вызвать появление электромагнитных помех, которые могут повлиять на работу других электронных устройств и привести к сбоям и ошибкам.

- Гармоники создают дополнительные потери в трансформаторах.
- Повышенные потери мощности. Несинусоидальный ток может привести к увеличению потерь мощности в сети, так как он вызывает дополнительные потери в проводах, трансформаторах и других устройствах.
- Нелинейные искажения напряжения. Несинусоидальный ток, протекающий через нелинейную нагрузку, может привести к искажению формы напряжения в сети. Это может вызвать скачки напряжения, перенапряжения, уменьшение полезной мощности и другие проблемы.

Для подавления высших гармоник необходимо использовать специальные фильтры и средства управления, такие как активные фильтры, пассивные фильтры, фильтры с импульсными преобразователями, системы с переменными частотами и т. д.

1. Для борьбы с высшими гармониками можно использовать устройство стабилизации мгновенных значений токов и напряжений — магнитный синтезатор. Данное устройство может быть использовано для борьбы с некоторыми гармониками. Магнитный синтезатор позволяет создавать магнитное поле, которое компенсирует некоторые гармоники тока, вызванные нелинейными нагрузками. Это позволяет уменьшить некоторые искажения в системе, но не полностью устранить их.

2. Фильтры, разработанные на базе пассивных реактивных элементов. Пассивные фильтрующие устройства — это электронные устройства, которые используют только пассивные компоненты (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности) для фильтрации сигналов, проходящих через них. Они могут быть использованы для фильтрации шума, снижения помех и улучшения качества сигнала в различных схемах и приложениях. Примерами пассивных фильтрующих устройств являются RC-фильтры, LC-фильтры и фильтры Баттерворта.

3. Применение активных фильтров гармоник (АФГ) (рис. 1). Основная задача АФГ — подавление высших гармоник и улучшение качества электрической энергии, которая поступает в потребительскую сеть.

Активные фильтры гармоник состоят из инвертора, компенсационной катушки, фильтрующих конденсаторов и управляющей системы. Инвертор генерирует сигнал, который нейтрализует гармонические составляющие напряжения сети, а компенсационная катушка синхронизирует

этот сигнал с исходным напряжением. Фильтрующие конденсаторы служат для подавления шумов и помех.

Применение АФГ позволяет снизить потребление электроэнергии, увеличить срок эксплуатации оборудования, уменьшить деградацию мощности системы и сократить время на профилактические работы. Эти устройства особенно полезны в условиях большой нагрузки на электрические сети и при использовании нелинейных нагрузок, таких как преобразователи частоты, сварочные аппараты, компьютеры и другие электронные устройства.



Рис. 1. Активный фильтр гармоник

Активный фильтр гармоник подключается параллельно нелинейной нагрузке.

Для анализа гармоник нелинейной нагрузки используется специальный алгоритм управления, который определяет амплитуду и фазу каждой гармоники и генерирует соответствующие сигналы для компенсации этих гармоник.

Суть работы активного фильтра гармоник заключается в том, что АФГ генерирует в распределительную сеть те же самые гармоники, но с противоположной фазой. Активный фильтр гармоник состоит из инвертора, устройств управления и измерения, а также схемы фильтрации. Инвертор преобразует постоянный ток в переменный ток, который генерирует гармоники с противоположной фазой. Устройства управления и измерения определяют гармоники, которые необходимо подавить, и регулируют работу инвертора. Схема

фильтрации отфильтровывает необходимые гармоники, оставляя только чистый сигнал переменного тока. В ходе моделирования в программном комплексе Matlab (рис. 2) были получены осциллограммы синусоиды напряжения в системе электроснабжения до и после подключения АФГ, представленные на рис. 3 и 4 соответственно.

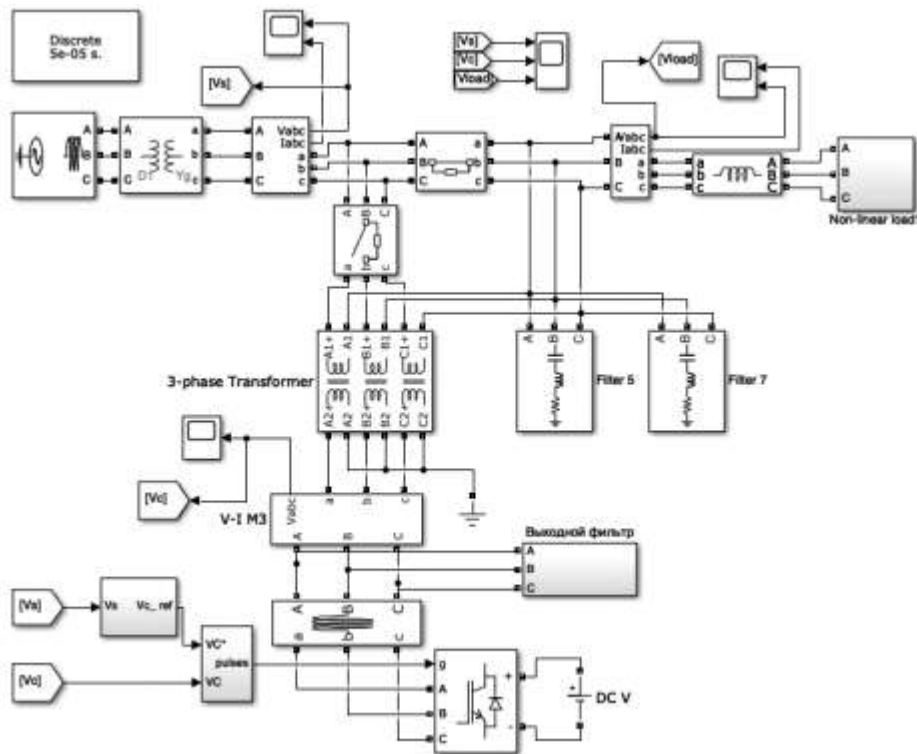


Рис. 2. Модель фильтрокомпенсирующего устройства на основе последовательного активного фильтрокомпенсирующего устройства

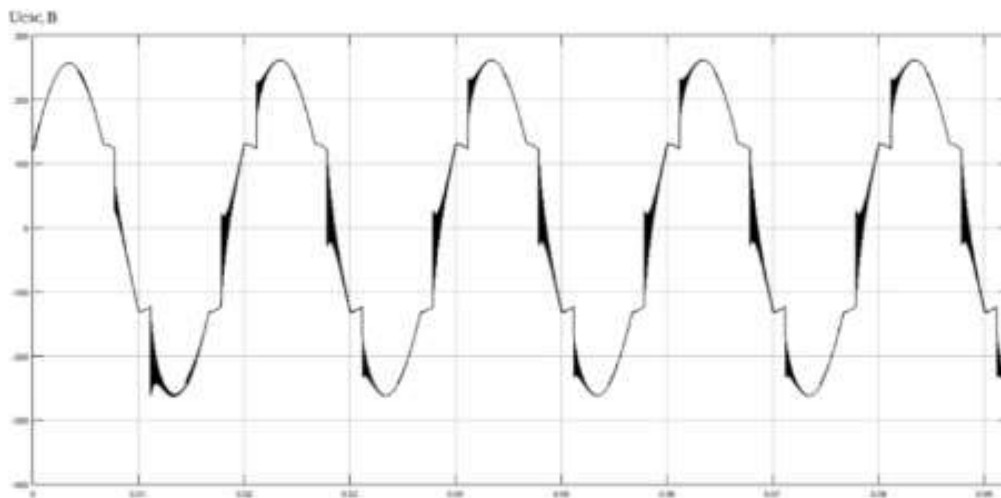


Рис. 3. Осциллограмма формы синусоиды напряжения до применения АФГ

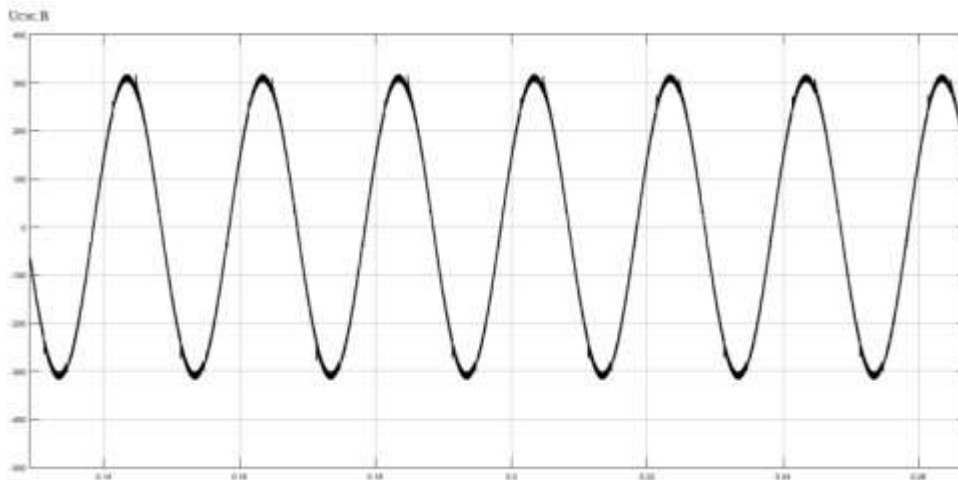


Рис. 4. Оциллограмма формы синусоиды напряжения после применения АФГ

В ходе имитационного моделирования регистрировались оциллограммы формы кривой напряжения в системе электроснабжения до и после подключения АФГ. В результате установки АФГ это позволило сгладить кривую напряжения.

Активный фильтр гармоник способен компенсировать высшие гармоники от одной или даже нескольких нелинейных нагрузок. АФГ обеспечивает наилучшее подавление высших гармоник. Например, применение такого фильтра позволяет снизить коэффициент искажения синусоидальности напряжения с 17% (без фильтров) до 2,5%.

Установка любого из существующих видов защиты требует тщательного анализа гармонических составляющих, нагрузок, коэффициентов амплитуды и коэффициентов мощности для конкретной сети, чтобы подобрать наиболее эффективный способ удаления и выполнить соответствующие настройки. Однако благодаря использованию вышеперечисленных установок возможно обеспечить эффективное снижение уровня гармоник в сети, а также компенсацию реактивной мощности, существенно уменьшая расходы на электроэнергию и снижая негативные влияния на электрооборудование.

Список использованной литературы

1. Акулов, И. С. Последовательный колебательный контур / И. С. Акулов // Практическая электроника: сетевой журн. (электр. журн.). — 2021. — URL: [http:// https://www.ruselectronic.com/posledovatelnyj-kolebatelnyj-kontur](http://https://www.ruselectronic.com/posledovatelnyj-kolebatelnyj-kontur) (Дата обращения: 11.03.2022).

2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

3. Карташев, И. И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения. Учебное пособие / И. И. Карташев. — М. : Издательство МЭИ, 2001. — 120 с.

4. Королев, Г. В. Электронные устройства автоматики: учеб. пособие / Г. В. Королев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1991. — 256 с.

5. Кузьмин, Д. А. Исследование влияния высокочастотных гармоник на уровень перенапряжения в высоковольтной линии электропередачи / Д. А. Кузьмин // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах : Международная научно-практическая конференция МК-1.40. — М., 2010. — С. 45–48.

УДК 620.91

Ромадановский К. Н.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ VDI ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ И ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается проблема выработки реактивной мощности и гармонических колебаний импульсными блоками питания персонального компьютера и способы ее решения с помощью оптимизация ИТ-инфраструктуры предприятия путем внедрения Virtual Desktop Infrastructure.

Ключевые слова: виртуализация, энергоснабжение, оптимизация, реактивная мощность.

Romadanovsky K. N.

Surgut State University, Surgut

USING VDI FOR OPTIMIZING THE ENERGY SYSTEM
AND IT-INFRASTRUCTURE OF ENTERPRISE

Surgut

Abstract. The article solves the problem of generating reactive power and the harmonic effect of switching power supplies of a particular computer and solving its problem by optimizing the IT potential of the likelihood of a virtual desktop infrastructure.

Keywords: virtualization, power supply, optimization, reactive power.

В эпоху увеличения объема импортозамещения различных сфер деятельности в стране создаются и реконструируются большие предприятия со значительным количеством рабочих мест.

При средней численности крупной компании в 1500 человек треть персонала имеет компьютер и использует лишь малую долю возможных ресурсов.

В целях следования за энергетической стратегией РФ и соблюдением действующих стандартов (ГОСТ IEC/TR 61000-3-7-2020) возникают критические вопросы по очищению электрических сетей малых и высоких напряжений от реактивной мощности и гармонических колебаний, которые в свою очередь частично образуются от импульсных блоков питания (далее в тексте — БП) чаще всего установленных в офисных персональных компьютерах (далее в тексте — ПК) [5].

Реактивная мощность, рождаемая при гармонических колебаниях тока в импульсных блоках питания (коэффициентом мощности ~ 0.7), чаще всего устанавливаемых в офисные ПК мощностью в среднем 250 Вт, способствует снижению качества электроснабжения [3].

Для решения вышеуказанной проблемы и оптимизации инфраструктуры предприятия предлагаю к рассмотрению внедрение виртуализации, а именно зарекомендовавшей себя системы виртуальных рабочих мест (Virtual Desktop Infrastructure).

«Виртуализация — это выделение вычислительных ресурсов или их логического объединения, абстрагированное от аппаратной реализации и обеспечивающее при этом логическую изоляцию друг от друга вычислительных процессов, выполняемых на одном физическом ресурсе» [1].

«VDI (Virtual Desktop Infrastructure) — это инфраструктура виртуальных рабочих столов, в которой данные с ПК хранятся централизованно на сервере, а у каждого сотрудника ПК виртуальный (терминал/тонкий клиент)» [4].

Архитектура VDI состоит из следующих компонентов (рис. 1).

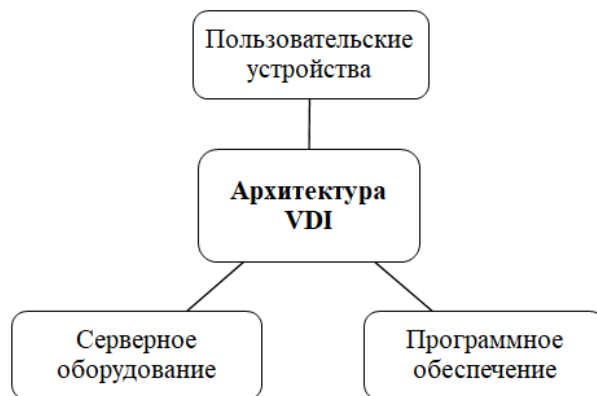


Рис. 1. Архитектура VDI

Рассмотрим этапы внедрения VDI (рис. 2).

Подготовка	Сбор требований к рабочим местам конечных пользователей организации
	Формирование перечня используемых сотрудниками компании приложений
	Выбор типа необходимых виртуальных рабочих столов
	Оценка этапов жизненного цикла рабочего места в компании заказчика
Планирование	Подготовка оптимальной конфигурации VDI решения
	Разработка технических требований к характеристикам сети и хранилища VDI
	Выбор платформы виртуализации и VDI клиента
	Определение зоны пилотного внедрения и тестирования VDI-решения
Внедрение	Установка VDI
	Настройка серверного оборудования
	Развертывание виртуальной инфраструктуры
	Миграция физических систем в виртуальную среду

Рис. 2. Этапы проектирования и внедрения VDI

При внедрении виртуализации такого типа на стадии формирования предприятия, может привести к экономии материально-технических ресурсов за счет уменьшения сечения прокладываемых кабелей, питающих рабочие места персонала с ПК, и снижения затрат на обновление комплектующих, покупку ПК.

Как нам известно, характеристики оборудования офисного ПК используются не в полном объеме, но при этом его потребление почти всегда статическое и зависит от мощности БП. Приведем пример сравнения комплектующих офисного ПК и оборудования VDI (таблица 1).

Таблица 1. — Характеристики оборудования

Комплектующие	ПК	Терминальная версия ПК	Сервер VDI
Процессор	Intel I7 6700 Skylake	Intel Celeron Gemini Lake	2 x Intel Xeon E5-2620
Оперативная память, ГБ	8	4	192
Мощность БП, Вт	250	15	1100
Устройство хранения информации, ГБ	250	32	10 000

Также рассмотрим сравнение характеристик до и после внедрения VDI в инфраструктуру предприятия с численностью персонала, выполняющего работу на ПК в размере ~500 человек (табл. 2).

Таблица 2. — Сравнение характеристик оборудования

Комплектующие для 500 пользователей	До внедрения VDI	После внедрения VDI		Разница
	ПК	Терминальная версия ПК	Сервер VDI	
Оперативная память, ГБ	4000	2000	192	1808
Мощность БП, Вт	125 000	7500	1100	116 400
Устройство хранения информации, ГБ	125 000	16 000	10 000	99 000

Видим, что при внедрении VDI на одинаковое количество пользователей в инфраструктуре остается лишь несколько блоков питания общей мощностью не более 600 Вт и появляется значительная разница в потребляемой мощности, что позволяет нам сократить общую мощность БП ПК предприятия более чем в 10 раз и сократить потребление каждого пользователя до такого минимума, что реактивная мощность от ПК уже не будет влиять на инженерные сети.

Дополнительно для хранения данных пользователей можно использовать сетевое хранилище на несколько ТБ, который потребляет около 50 Вт, с возможностью горячей замены накопителей данных.

Помимо выше сказанного, к преимуществам использования VDI относятся:

- доступ пользователя к собственному рабочему столу и корпоративным приложениям возможен с любого авторизованного устройства: компьютера, планшета или смартфона — из любой точки мира при наличии выхода в Интернет;
- все сотрудники компании делятся на группы, каждый пользователь получает доступ к ограниченному перечню программ и приложений согласно правилам и политикам, применяемым к его пользовательской группе;
- благодаря развертыванию инфраструктуры на удаленных серверах и отсутствию рабочих файлов и приложений на локальных ПК пользователей, корпоративная информация надежно защищена от случаев несанкционированного доступа или поломки устройства;
- создание новых стандартизированных виртуальных рабочих мест или изменение старых осуществляется из единого образа и занимает не более получаса. В зависимости от сложности выполняемой сотрудником задачи ИТ-специалист может оперативно перераспределять вычислительные ресурсы между виртуальными машинами;
- менеджмент всей инфраструктуры VDI производится через центральную консоль управления, что помогает существенно сократить затраты времени на организацию доступа к инфраструктуре виртуальных рабочих столов и не требует прерывания рабочего процесса сотрудников;
- использование технологии VDI значительно снижает нагрузку на службу технической поддержки, так как у системных администраторов отсутствует необходимость личного присутствия для решения инцидентов. Все процедуры унифицированы, стандартизированы и надежны;
- один администратор может управлять количеством 1000+ рабочих мест.

В 2023 году существует большой выбор запатентованного отечественного программного обеспечения для реализации внедрения VDI на предприятиях.

Таким образом, можем сделать вывод, что при внедрении VDI в крупную организацию образуется достаточно большое количество преимуществ,

связанных со снижением общего объема неиспользуемых энергетических ресурсов и повышения качества электроэнергии в инженерных сетях (ГОСТ 32144-2013).

Список использованной литературы

1. Поваров, Е. М. Виртуализация. Виртуальные машины. Гипервизоры. Контейнеры // Smartica: сетевой журн. (электр. журн.). — 2022. — URL : <https://smartica.ru/blog/virtualization> (Дата обращения: 02.04.2023).
2. Сравнение технологий для виртуализации рабочих станций и классических ПК [Электронный ресурс]. — URL: <https://efsol.ru/articles/desktop-virtualization.html> (Дата обращения: 25.03.2023).
3. Что такое PFC и зачем это нужно // Компьютер и жизнь : сетевой журнал. — 2015. — URL : <https://vsbot.ru/lektronika/chto-takoe-pfc-i-zachem-eto-nuzhno.html> (Дата обращения: 02.03.2023).
4. Что такое VDI: плюсы, минусы и кому подходит // Selectel : сетевой журнал. — 2020. — URL: <https://selectel.ru/blog/vdi-technology-review/> (Дата обращения: 20.03.2023).
5. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. №1523-р. — URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>. (Дата обращения: 20.02.2023).
6. VDI — новый подход к управлению и безопасности [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.securitylab.ru/analytics/393568.php> (Дата обращения: 25.03.2023).

УДК 621

Синицын В. В., Тишин И. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут
ООО «Скайворд», г. Нижний Новгород

ВНЕДРЕНИЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ДЕМПФЕРОВ
НА ВЛ ОТ 110 кВ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И РАЙОНАХ,
ПРИРАВНЕННЫХ К РАЙОНАМ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается принципиально новый тип виброзащитных устройств для повышения надежности воздушных линий электропередачи — магнитореологический демпфер. Представленный в статье расчет магнитореологического демпфера включает в себя расчет механической, электромагнитной, магнитореологической и демпфирующей подсистем.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, эолова вибрация, пляска проводов, магнитореологический демпфер, магнитореологический трансформатор.

Sinitsyn V. V., Tishin I. V.

Surgut State University, Surgut
“Skyward” LLC, Nizhny Novgorod

INTRODUCTION OF MAGNETORHEOLOGICAL DAMPERS
ON 110 kV OVERHEAD LINES IN THE FAR NORTH AND AREAS EQUATED
TO THE FAR NORTH

Surgut

Abstract. The article considers a fundamentally new type of vibration protection device for increasing the reliability of the overhead power transmission lines (OPTL) — a hydraulic damper which is structurally represented as

a magnetorheological shock absorber. The calculation of the magnetorheological suspension damper presented in the article includes the calculation of mechanical, electromagnetic, magnetorheological and damping subsystems.

Keywords: *overhead power transmission lines, Aeolian vibration, wire galloping, magnetorheological damper, magnetorheological transformer*

Введение.

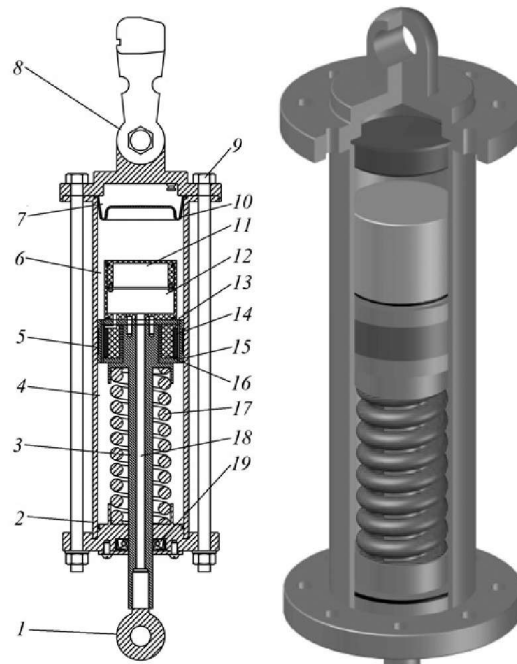
Опоры, арматура и провода высоковольтных воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) в процессе эксплуатации подвергаются существенным механическим нагрузкам. Наибольшие значения нагрузок характерны для участков ВЛЭП, расположенных в зонах с резко континентальным, субарктическим и арктическим климатом, которым свойственны сильный ветер и мороз в осенне-зимний период [1, 2]. Обледенение проводов ВЛЭП приводит к увеличению их массы и формированию аэродинамического профиля, который воспринимает ветровые нагрузки. Порывы ветра вызывают низкоамплитудную вибрацию проводов в частотном диапазоне 10–100 Гц (эолова вибрация) и пляску в диапазоне 0.2–1.0 Гц, представляющую собой колебания проводов большой амплитуды (до 10–14 м) [3]. Пляска проводов представляет наибольшую опасность для ВЛЭП, поскольку может привести к схлестыванию и обрыву проводов и сопровождается большими динамическими ударными нагрузками, действующими на арматуру [3].

Известно, что передача энергии между различными участками закрепленной с двух концов струны возможна только благодаря бегущим волнам [5]. Из-за потерь энергии при отражении волны от концов не происходит полной компенсации падающей и отраженной волны, поэтому к стоячей волне добавляется бегущая компонента, которая и служит «разносчиком» энергии по всей колебательной системе. Нарушение условия закрепленных концов провода ВЛЭП в полете при пляске позволяет утилизировать компоненту бегущей волны, увеличивая тем самым потерю энергии колебаний непосредственно в месте крепления линии [5]. Это возможно, например, путем установки демпфирующих устройств.

Конструкция и принцип действия магнитореологического демпфера

Для защиты проводов и арматуры ВЛЭП от пляски, вибрации и крутильных колебаний было разработано универсальное устройство (рис. 1).

Устройство представляет собой амортизатор (демпфер), состоящий из корпуса (2), заполненного рабочей жидкостью, и штока-поршня (3, 5), располагаемого между крепежной арматурой и проводом ВЛЭП посредством проушин (1, 8).



*Рис. 1. Конструкция (а) и 3D-модель (б) магнитореологического демпфера (МРД):
 1 — нижняя проушина; 2 — корпус демпфера; 3 — шток; 4 — рабочая камера;
 5 — поршень; 6 — компенсационная камера; 7 — газовый накопитель; 8 — верхняя
 проушина; 9 — соединительные болты; 10 — мембрана; 11 — блок батарей;
 12 — блок электроники; 13 — гидравлический кольцевой канал; 14 — катушка
 электромагнита; 15 — магнитопровод; 16 — пластиковый каркас; 17 — пружина;
 18 — канал для питающих проводов; 19 — сальник.*

На рис. 1 проушина (8) демпфера соединена с ушком посредством болта со шплинтом. Переменные силовые воздействия, возникающие при порывах ветра, вызывают в демпфере разницу давлений между рабочей (4) и компенсационной (6) камерами, и шток-поршень (5) начинает перемещаться относительно корпуса (2). При этом часть рабочей жидкости перетекает из одной камеры в другую через кольцевой гидравлический канал (13).

Между нижней крышкой демпфера и поршнем (5) располагается стальная пружина (17), жестко зафиксированная с обоих концов к прилежащим

поверхностям. Пружина способна работать на сжатие, растяжение и кручение, что позволяет демпферу подавлять не только продольные, но и крутильные колебания. Такое расположение пружины уменьшает массу и габариты устройства и устраняет проблему возможного обледенения пружины.

Дополнительно увеличить эффективность демпфирования колебаний можно, если использовать в качестве рабочей жидкости магнитореологическую суспензию (МРЖ), способную под влиянием внешнего магнитного поля изменять свою вязкость (вернее, предел текучести). Магнитное поле создается электромагнитом, состоящим из медной обмотки (14) и магнитопровода (15), расположенным внутри поршня (5), получающим питание от трансформатора тока по проводам, проходящим через отверстие (18) в штоке (3).

Расчет действующих и допустимых нагрузок демпфера

Важным этапом разработки конструкции адаптивного магнитореологического демпфера (МРД) является расчет действующих на него нагрузок.

Для ВЛЭП 110 кВ $\gamma_3 = 0.147 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ и $\gamma_5 = 0.102 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{мм}^2}$, где γ_3 и γ_5 —

удельные нагрузки, действующие на провод с гололедом в отсутствие ветра и под действием ветра соответственно. Нагрузка, оказываемая на демпфер весом провода, весом гололеда и давлением ветра [1]:

$$P_{\text{МРД.МАКС.}} = \sqrt{(\gamma_3 F_{\text{пр}} l)^2 + (\gamma_5 F_{\text{пр}} l)^2} = 6.57 \text{ кН},$$

где $F_{\text{пр}}$ — площадь продольного сечения провода в пролете длиной l .

Рабочая нагрузка, оказываемая на демпфер проводом с гололедом, но без воздействия ветрового давления [1]:

$$P_{\text{МРД.3}} = (\gamma_3 F_{\text{пр}} l)^2 = \sqrt{(0.147 \cdot 166.8 \cdot 220)^2} = 5.4 \text{ кН}.$$

Нагрузка, оказываемая проводом в отсутствие гололеда и ветра [1]:

$$P_{\text{МРД.1}} = (\gamma_1 F_{\text{пр}} l)^2 = \sqrt{(0.0326 \cdot 166.8 \cdot 220)^2} = 1.2 \text{ кН},$$

где γ_1 — удельная нагрузка, действующая на провод в отсутствие ветра и гололеда.

Гарантированная механическая прочность демпфера должна быть равной механической разрушающей силе изолятора ЛКК 120/110 — III, т. е. 120 кН. Наиболее слабыми местами демпфера являются корпус, шток и серьга, поскольку корпус, помимо веса провода, воспринимает силу давления, а шток и серьга обладают малой площадью поперечного сечения. Для штока из электротехнической стали 10895 с пределом кратковременной прочности $\sigma_B = 350$ МПа [6] предельная нагрузка будет равна $F_{шт} = \pi (R_{шт}^2 - r_{шт}^2) \sigma_B \approx 97.5$ кН, где $R_{шт}$ — радиус штока; $r_{шт}$ — радиус отверстия в штоке. Для серьги радиусом основания $R_{сер}$, изготовленной из стали 40х с пределом кратковременной прочности $\sigma_B = 690$ МПа [7], предельная нагрузка будет равна $F_{сер} = \pi R_{сер}^2 \sigma \approx 106.2$ кН.

Важным этапом расчета демпфера на прочность является определение допустимого давления. Демпфер был рассмотрен как отрезок трубы, на стенки которого действует давление p протекающей жидкости. Минимально допустимая толщина стенки демпфера будет равна [8]: $S_R = \frac{pD_a}{2[\sigma] + p} = 0.13$ мм, где $p = 2$ МПа — давление жидкости; D_a — внешний диаметр демпфера; $[\sigma] = 615$ МПа — допустимое напряжение растяжения-сжатия стали 40Х.

Поскольку $S_R + C_{11} + C_{21} < s$, где $C_{11} = 0.1$ мм — допуск к толщине, $C_{21} = 0.1$ мм — прибавка на коррозию, $S = 4$ мм — толщина трубы, следовательно, толщина стенок корпуса демпфера достаточна, чтобы выдержать возникающее в нем давление. Допустимое рабочее давление будет равно [8] $[p] = \frac{2[\sigma](S - C_{11} - C_{21})}{D_a - (S - C_{11} - C_{21})} = 61.34$ МПа.

Предельная нагрузка корпуса демпфера будет равна

$$F_{кор} = 0.25\pi (D_a^2 - (D_a - (D_a - s))^2) \sigma_B \approx 659 \text{ кН.}$$

Таким образом, стенки демпфера могут выдержать давление до 60 МПа в процессе эксплуатации устройства, имея при этом большой запас прочности на растяжение. Таким образом, МРД (рис. 1) удовлетворяет допускам по напряжению растяжения и действию давления.

Пружина демпфера (17) (рис. 1) имеет жесткость $C = 192$ кН/м и ход 80 мм. Такие параметры пружины обеспечивают ее сжатие на половину хода в летний и зимний период, что предотвращает возможность биения поршня о мембрану и витков пружины друг о друга.

Расчет магнитореологического трансформатора

Управление силой демпфирования демпфера осуществляется посредством магнитореологического трансформатора (МРТ), состоящего из возбуждающего электромагнита, магнитопровода и кольцевого канала с МРЖ.

В среде мультифизического проектирования и конечно-элементного анализа была разработана модель МРТ, позволяющая рассчитать поля магнитной индукции в различных элементах МРТ, выбрать оптимальные геометрические размеры, исследовать реологические и магнитореологические параметры в кольцевом канале с МРЖ, необходимые для расчета силы демпфирования. Геометрические размеры МРТ были подобраны таким образом, чтобы МРТ удовлетворял техническим требованиям:

1) достаточное быстродействие ($T < 0.1$ с при $f = 10$ Гц); 2) незначительное энергопотребление ($W < 10$ Вт); 3) ток не должен перегревать катушку ($4I / \pi d^2 \leq 5$ А/мм²); 4) магнитное поле в канале с МРЖ должно достигать насыщения при максимальном токе ($B \geq 0.3$ Тл); 5) создаваемая сила демпфирования должна обеспечивать существенное снижение амплитуд вибраций и колебаний проводов.

После нескольких итераций процесса оптимизации были определены значения искомых параметров МРТ. Эти параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1. — Параметры магнитореологического трансформатора

Параметр	Обозначение	Значение
Радиус средней линии катушки, м	$r_{\text{ср}}$	0.028
Число витков	N	3250
Диаметр обмотки, м	d	0.0002
Толщина катушки, м	h_k	0.005
Толщина канала, м	$h - R_2 - R_1$	0.0015
Сопротивление катушки, Ом	R	298
Индуктивность электромагнита, Гн	L	12.44
Сила тока, А	I	0.1
Потребляемая мощность, Вт	W	2.98
Постоянная времени, с	$T_{\text{эм}}$	0.042
Магнитная индукция в канале, Тл	B_0	0.35
Плотность тока, А/мм ²	$J = I/S$	3.183

Учет намагничивания сердечника и МРЖ в модели осуществлялся по кривым намагничивания $B(H)$, интерполированным по набору точек. Быстродействие катушки оценивалось через величину электромагнитной постоянной времени $T_{эм}$. Наконец, ток I , протекающий через катушку, выбран таким, чтобы он не перегревал катушку, работающую в непрерывном режиме, с естественным охлаждением.

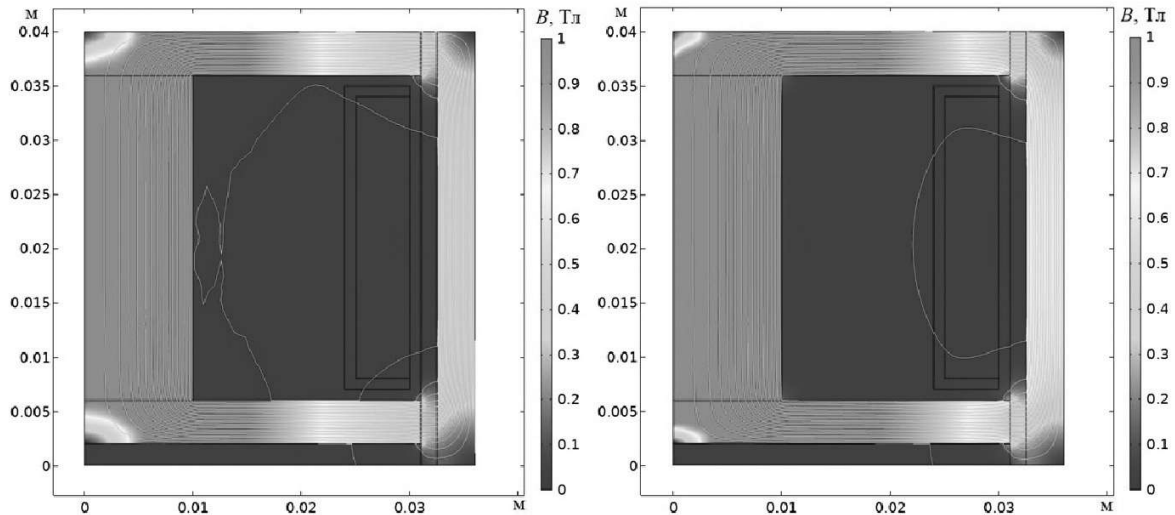


Рис. 2. Магнитная индукция в магнитопроводе и кольцевом канале с МРЖ: при $I = 0.1$ А (а), при $I = 0.2$ А (б)

На рис. 2 приведены графики распределения значений магнитной индукции в магнитопроводящих узлах демпфера и МРЖ.

Из табл. 1 и рис. 3 следует, что электромагнит МРТ удовлетворяет требованиям № 1–4, сформулированным в начале раздела. Кроме того, катушка имеет полуторакратный запас по току. Кратковременное повышение тока позволит значительно увеличить диапазон регулирования силы демпфирования и быстродействие МРТ при больших токах.

Параллельно электромагнитному расчету МРТ был проведен реологический расчет демпфирующей подсистемы, заключающийся в определении взаимосвязи между скоростью МРЖ в кольцевом канале и возникающими в ней механическими напряжениями под действием внешнего магнитного поля. МРЖ представляет собой вязкопластичный материал, реология которого описывается моделью Бингама–Папанастиасиу, характеризующейся ненулевым пределом текучести τ_y , находящимся в интервале $\tau_{00} \div \tau_{нас}$,

пластической вязкостью μ_p и экспоненциальным коэффициентом m_p , определяющим степень нарастания механического напряжения τ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$.

Моделирование магнитореологических процессов в МРД с движущимся поршнем выполнялось с использованием квазистатической осесимметричной модели, описывающей течение МРЖ в кольцевом канале. Предел текучести τ_y , при этом является функцией радиальной координаты r [14, 15].

$$\begin{cases} \tau = \tau_y (H) \operatorname{sgn}(\dot{\gamma}) + \mu_p \dot{\gamma} & \tau > \tau_y \\ \dot{\gamma} = 0 & \tau \leq \tau_y \end{cases}, \quad (1)$$

где τ — сдвиговое напряжение; $\dot{\gamma}$ — скорость сдвига; $U_x(r)$ — скорость потока; V_0 — скорость поршня; r — радиальная координата.

Скорость сдвига и граничное условие для нее определяются отношениями:

$$\dot{\gamma} = \frac{du_x(r)}{dr}; u_x(R_1) = -v_0; u_x(R_2) = -v_0. \quad (2)$$

Согласно (2), скорость движения пристеночных слоев МРЖ равна нулю. В действительности эти слои будут перемещаться вместе с поршнем против направления течения основного потока МРЖ со скоростью $u_{cp} = v_0 \left(\frac{A_{\Pi}}{A_{\kappa}} + 1\right)$, где A_{Π} — площадь сечения поршня, A_{κ} — площадь сечения канала с МРЖ. Типовая модель реологии пластика Бингама–Шведова в кольцевом канале приведена на рис. 3.

Здесь можно выделить три области потока, границы которых определены шириной области «С», зависящей от предела текучести. Взаимное перемещение слоев жидкости осуществляется в областях I и II, поскольку напряжение сдвига не превышает предел текучести, в то время как в области «С» слои МРЖ практически неподвижны относительно друг друга. Расчет силы демпфирования. Сила демпфирования, создаваемая МРД при оказании на его шток-поршень силового воздействия, включает в себя три составляющие (рис. 4). Составляющая F_f характеризующая сухое трение поршня о внутренние стенки корпуса, как правило, намного меньше других составляющих, отчего ей обычно пренебрегают. Пассивная сила демпфирования F_{η} не зависит от напряженности магнитного поля H , но зависит от скорости поршня v_0 , определяя наклон характеристики (рис. 4).

Пассивная (неуправляемая) сила демпфирования определяется как

$$F_{\eta} = \frac{12\mu_p Q l A_{\Pi}}{\pi r_{\text{ср}} h^3}, \quad (3)$$

где Q — объемный поток МРЖ; l — длина канала; A_{Π} — площадь поперечного сечения поршня.

Активная сила демпфирования F_{τ} , напротив, не зависит от скорости поршня, но определяется величиной внешнего магнитного поля. Активная (управляемая) сила демпфирования находится по формуле:

$$F_{\tau} = c \frac{\tau_y l_a A_{\Pi}}{h} \text{sgn}(v_0), \quad (4)$$

где l_a — «активная» длина канала, пронизываемая магнитным полем, c — эмпирический реологический коэффициент.

Объемный поток Q МРЖ, проходящей через канал, рассчитывается как частное массового потока Q_m от плотности ρ :

$$Q = \frac{Q_m}{\rho} = \frac{4.19}{2340} = 1.791 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5)$$

Пассивная сила демпфирования при скорости поршня $v_0 = 0.1$ м/с согласно (3) будет равна $F_{\eta} = 150.4$ Н, а при $v_0 = 5$ м/с — $F_{\eta} = 5266.5$ Н. Активная сила демпфирования в отсутствие поля при $\tau_y = 10$ Па по (4) будет равна $F_{\tau} = 5.3$ Н, а при максимальном магнитном поле — 990 Н. Таким образом, при $v_0 = 0.1$ м/с сила демпфирования может регулироваться в широком диапазоне.

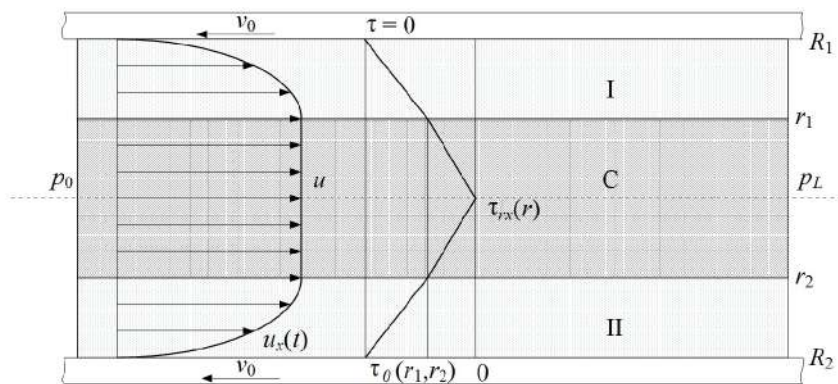


Рис. 3. Реология МРЖ в кольцевом гидравлическом канале

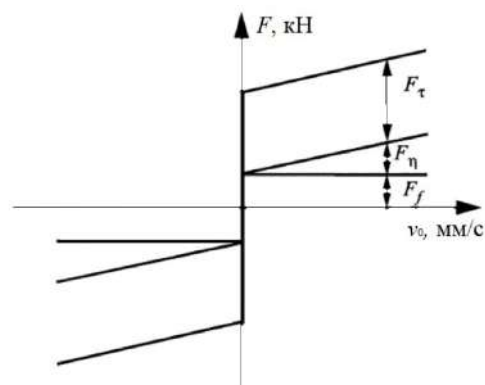


Рис. 4. Сила сопротивления, создаваемая демпфирующей системой МРД

Заклучение.

Используя мировой опыт применения магнито-реологических демпферов, была предложена конструкция МРД, рассчитанная с использованием компьютерных методов конечно-элементного проектирования. Активная сила демпфирования МРД может управляемо изменяться от 5 до 990 Н, а пассивная при максимальной виброскорости 5 м/с достигает 5.37 кН, что сопоставимо с силой, действующей на провод ВЛЭП 110 кВ в условиях ветра и гололеда ($P_{MRD} = 6.57$ кН).

Вибрационные испытания функционального макета МРД подтвердили эксплуатационную пригодность устройства. В частотном диапазоне от 10 до 50 Гц макет обеспечил виброгашение на 3–7 дБ в пассивном режиме и на 4–10 дБ — в управляемом (полуактивном) при продольном направлении вибрации.

Список использованной литературы

1. Правила Устройства Электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Введ. 2003-01-01. — М. : ООО «ВНИИЭ», 2003. — 222 с.
2. Подготовка к осенне-зимнему периоду 2016–2017, прохождение и основные итоги ОЗП 2015–2016 / Под ред. заместителя Министра энергетики Российской Федерации А. В. Черезова, 2016. — 216 с.
3. Виноградов, А. А. О гасителе пляски проводов воздушных ЛЭП / А. А. Виноградов, А. Н. Данилин, Е. Л. Кузнецова [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2017. — № 7. — С. 124.
4. Бидерман, В. Л. Теория механических колебаний / В. Л. Бидерман. — М. : Высшая школа, 1980. — 408 с.

5. ГОСТ 11036-75 Сталь сортовая электротехническая нелегированная. Введ. 1977-01-01. М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. — 20 с.
6. ГОСТ 11036-75 Сталь сортовая электротехническая нелегированная. Введ. 1977-01-01. — М. : ИПК Издательство стандартов, 2003. — 20 с.
7. ГОСТ 4543-2016Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Введ. 2017-10-01. — М. : Стандартинформ, 2019. — 53 с.
8. ГОСТ 32388-2013 Трубопроводы технологические. Методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия. Введ. 2014-08-01. — М. : Стандартинформ, 2016. — 114 с.

УДК 621.3

Садовская Л. В., Маманова А. Х.
ФГБОУ ВО «СГУВТ», г. Новосибирск

ОЦЕНКА ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ КАБЕЛЬНОГО ЭКРАНА ВТОРИЧНЫХ
ЦЕПЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПОДСТАНЦИИ

г. Сургут

Аннотация. В статье дана оценка эффективности защитного действия металлического экрана кабеля при индуктивных электромагнитных помехах во вторичных цепях измерительных систем электростанций.

Ключевые слова: Измерительные системы электростанций, вторичные цепи измерительных систем, металлический экран кабеля, индуктивные электромагнитные помехи.

Sadovskaya L. V., Mamanova A. H.
FSFEI HE "SSUWT", Novosibirsk

EVALUATION OF THE PROTECTIVE EFFECT OF THE CABLE SHIELD
OF SECONDARY CIRCUITS OF ELECTRICAL SUBSTATION
MEASURING SYSTEMS

Surgut

Abstract. Evaluation of the effectiveness of the protective effect of the metal shield of the cable in case of inductive electromagnetic interference in the secondary circuits of measuring systems of power plants.

Keywords: Measuring systems of power plants, secondary circuits of measuring systems, metal cable shield, inductive electromagnetic interference.

Исследования паразитных напряжений, которые наводятся на вторичных кабелях управления и измерительных каналах микропроцессорной аппаратуры (МПА) при выполнении коммутаций на подстанции высокого

напряжения, позволяют определять основным источником помех импульсные потенциалы, наводящиеся во вторичную цепь из заземлителя и сети питания. Наводящиеся коммутациями со стороны высоковольтного коммутационного оборудования токи и напряжения в цепи «жила–жила» вторичных кабельных цепях создают паразитное влияние на нормальный режим работы различных функций автоматизированной системы, таких как релейная защита и автоматика (РЗаА), противоаварийная автоматика (ПА), автоматизированные информационно-измерительные системы (АИИС) и др., причем при высоком паразитном сигнале происходит аварийный выход из строя элементов МПА [6].

Выполнение совместных расчетов при определении потенциалов импульсов на элементах заземляющего устройства, переходных процессов (ПП) в первичных цепях при коммутации первичного высоковольтных оборудования электроподстанции и во вторичных слаботочных линиях, которые располагаются поблизости и в которых создаются наводки от ПП первичных цепей, крайне сложные. В этом случае оценки ПП в исследуемой первичной цепи подстанции проводятся с использованием стандартных расчетов электромагнитных влияний [4,5] на кажущейся частоте.

Соотношение для оценивания эффективности защиты металлического экрана информационного вторичного кабеля по параметру затухания экранирования (A) записывается через коэффициент экранирующего действия (КЭД) S :

$$A = 20 \times \lg |1/S|, \text{ дБ.}$$

Учет таких явлений, как отражение, которое возникает на границах металл-диэлектрик (A_o), поглощение в толще экрана (A_{Π}) энергии и экранирующего действия продольных токов, которые протекают в цепи «экран–земля» (A_z), дает возможность исследовать действие экрана относительно поперечных электромагнитных полей (ЭМП) и вихревых токов, которые создаются этими ЭМП:

$$A = A_{\Pi} + A_o + A_z.$$

При эксперименте применяются высокочастотный кабель КСПП 1x4x0,9 и кабель для промышленного интерфейса RS-485 КИПКВ 2x2x0,78

для измерения напряжений, которые наводятся при коммутациях высоковольтного оборудования подстанций. На этом примере можно провести теоретический и численный анализ затухания экранирования A . Длительность ПП при коммутации высоковольтного оборудования составляет несколько десятков микросекунд при так называемой кажущейся частоте $f = 0,3 - 1,0$ МГц. Выражение, которое используется для определения отражения и затухания поглощения для экрана информационного вторичного кабеля, записывается [1]:

$$A_n = 20 \times \lg |ch(\kappa_M t_3)|, \quad A_o = 20 \times \lg \left| 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_\partial}{Z_y} + \frac{Z_M}{Z_\partial} \right) ch(\kappa_M t_3) \right|,$$

где $Z_M = \sqrt{\frac{i \times \omega \times \mu}{\sigma \times M}}$ и $Z_\partial = i \cdot \gamma \cdot r_3$ — волновые сопротивления металла и диэлектрика.

Результирующее затухание $A_3 = A_n + A_o$ определяется поперечными вихревыми токами в экране. Результаты для кабелей КСПП или КИПКВ в зависимости от экранного затухания A_n и A_o представлены в таблице 1. Тогда можно сформулировать следующий вывод: с увеличением исследуемой частоты также возрастает затухание экранирования A_3 .

Таблица 1. — Взаимозависимость частоты и затухания экранирования

Затухание	Частота, МГц			
	0,1	0,3	0,5	1,0
A_n , дБ	1,114	3,10	4,846	8,512
A_o , дБ	15,81	23,19	26,41	30 39
A_3 , дБ	16,92	26,29	31,25	88 ,39

Реальный коэффициент экранирующего действия цепи экран-земля [3] позволяет определить значения $A_z = 20 \times \lg |1/S_z|$:

$$S_z = S_{ид} \times \Phi, \quad S_{ид} = Z_{св} / Z_2,$$

где Φ — функция, которая зависит от постоянной распространения γ_2 и волнового сопротивления $Z_{в2}$ цепи «экран–земля», длины линии l_2 условий сближения, условий и места заземления;

Z_2 — полное продольное сопротивление цепи «экран–земля»;

$S_{ид}$ — КЭД идеально заземленного экрана с нулевым сопротивлением;

Z_{cb} — сопротивление связи экрана, рассчитывается по следующим выражениям [2]:

$$Z_{cb} = Z_{cb}^T + \left[R^T + \frac{i\omega\mu}{4} \right] ctg^2(\alpha_s),$$

где

$$R^T = \frac{K_M}{2\pi \times r_3 \times \sigma_M} \text{cth}(K_M t_3) \text{ — ее комплексное продольное сопротивление;}$$

$$Z_{cb}^T = \frac{K_M}{2\pi \times r_3 \times \sigma_M \times \text{sh}(K_M t_3)} \text{ — сопротивление связи однородной трубы;}$$

α_s — угол подъема витка спирального ленточного экрана.

При любом значении сопротивления заземления экрана информационного кабеля, когда $|\gamma_2 l_2| \gg 1$, то значение функции Φ приближается [3] к единице. Значения реального КЭД цепи «экран–земля» S_z и идеального КЭД заземленного экрана с нулевым сопротивлением $S_{ид}$ в этом случае практически совпадают. При длине $l_2 \geq 100$ м в области исследуемых частот коммутационного ПП $f = 0,3 - 1$ МГц для кабеля КСПП значения $|\gamma_2 l_2| \gg 1$, таким образом $S_z \approx S_{ид}$.

По итогам эксперимента можно сказать: принятые условия заземления экрана информационного вторичного кабеля не оказывают практически никакого влияния на КЭД цепи «экран–земля» S_z в диапазоне исследуемых частот и длин информационных вторичных кабелей высоковольтной подстанции, так как замыкание экрана информационных вторичных кабелей на землю достигается за счет хорошей емкостной связи в этом случае. С другой стороны, такой эффект не имеет места в области низких частот, на которых происходят короткие замыкания.

Значения КЭД и затухания экранирования информационных вторичных кабелей определяются продольными токами в цепи «экран–земля» (табл. 2, в эту же таблицу сведены данные результирующего экранного затухания и коэффициента экранирования).

Как видим, в области низких частот до 0,1 МГц преобладает экранирование за счет протекающих в цепи «экран–земля» продольных токов, а в интервале частот ПП при коммутации высоковольтного оборудования подстанции $f = 0,3 - 1$ МГц коэффициенты экранирования за счет продольных и вихревых токов имеют примерно одинаковые значения.

С повышением частот затухание экранирования увеличивается за счет роста коэффициента A_3 и в интервале частот ПП при коммутации высоко-

вольтного оборудования подстанции уменьшает внешнее электромагнитное влияние на 60–70 дБ, т. е. более чем в 1000 раз снижает уровень наведенного напряжения по отношению к незащищенному информационному вторичному кабелю.

Таблица 2. — Значения КЭД и затухание экранирования

Параметры	Частота, МГц			
	0,1	0,3	0,5	1,0
$S_z = S_{ид}, 10^{-3}$ о.е.	23,7	22,1	22,6	25,0
A_z , дБ	32,5	33,1	32,9	32,0
$A = A_3 + A_z$, дБ	49,4	59,4	65,2	71,4
$S, 10^{-3}$ о.е.	3,40	1,00	0,55	0,27

В информационном вторичном кабеле типа «витая пара» без экрана наибольшее значения напряжения, которое наводится магнитным полем при коммутации высоковольтного оборудования, может составлять значительную величину — до нескольких кВ. В этом случае по отношению к земле напряжение на жилах «витой пары» не будет превышать нескольких вольт. Для таких кабелей вторичных цепей как КСПП или КИПКВ коэффициент чувствительности «жила–жила» примерно равен 500. С учетом большой асимметрии оконечного микропроцессорного оборудования электроподстанции для всей цепи уменьшится не более чем на порядок.

Итогом является то, что для экранированных кабелей наводимое коммутационным магнитным полем напряжение «жила–жила» не превышает десятков мВ. На центральных жилах паразитные напряжения, которые вызываются гальванически наведенными токами в экране, при заземлении экранов линий кабелей рядом с местом стекания в заземляющее устройство (ЗУ) коммутационных токов могут достигать по отношению к земле сотен вольт и единиц вольт в цепи «жила–жила».

Тогда основной источник регистрируемых паразитных напряжений, которые наводятся в кабелях и микропроцессорной аппаратуре автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), которое устанавливается на высоковольтных подстанциях, — это паразитные потенциалы. Источниками этих паразитных потенциалов являются сети питания и места заземления кабелей, когда место заземления экрана кабеля

находятся в рядом с местом стекания в контур заземления токов при коммутации высоковольтного оборудования.

Реализация мероприятий по защите вторичных цепей измерительных каналов позволяет повысить достоверность получаемой информации, крайне важной для работы практически всех систем электроподстанции, таких как: релейная защита и автоматика, противоаварийная автоматика, подсистемы измерений, автоматизированные системы коммерческого и технического учета, контроля состояния высоковольтных трансформаторов и автотрансформаторов. Требования, предъявляемые к организации вторичных цепей создаваемым подсистем, изложены в нормативных документах ПАО «ФСК «ЕЭС» [7].

Список использованной литературы

1. Гроднев, И. И. Электромагное экранирование в широком диапазоне частот / И. И. Гроднев. — М. : Связь, 1972. — 111 с.
2. Каден, Г. Электромагнитные экраны в высоковольтной технике электросвязи / Г. Каден. — М.-Л. : Гос.энерг.изд., 1957. — 327 с.
3. Михайлов, М. И. Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний / М. И. Михайлов, Л. Д. Разумов, С. А. Соколов. — М. : Связь, 1978. — 288 с.
4. Михайлов, М. И. Электромагнитные влияния на сооружение связи / М. И. Михайлов, Л. Д. Разумов, С. А. Соколов. — М. : Связь, 1979. — 264 с.
5. Садовская, Л. В. Влияние электромагнитных помех на параметры электробезопасности заземляющих устройств, электроустановок и на электромагнитную обстановку / Л. В. Садовская [и др.]; под ред. Ю. В. Дёмина. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2007. — 22 с.
6. Садовская, Л. В. Подавление индуктивных электромагнитных помех во вторичных цепях измерительных систем электростанций и подстанций : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергет. системы»/Л. В. Садовская; под науч. рук. Ю. В. Дёмина. — ФГОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. водного транспорта». — Новосибирск : НГАВТ, 2009. — 257 с.
7. СТО 56947007- 29.240.043-2010. Руководство по обеспечению электромагнитной совместимости вторичного оборудования и систем связи электросетевых объектов. — М. : ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. — 25 с.

УДК 621.31

Синицин В. И., Шильникова Е. А., Рослякова О. В.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

ПОЖАРНАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРОВ,
РАБОТАЮЩИХ НА МИНЕРАЛЬНОМ МАСЛЕ

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье описывается опасность трансформаторов при работе на минеральном масле. Рассмотрены проблемы пожарной и экологической безопасности при возникновении чрезвычайных ситуаций на трансформаторах. Предложены пути решения имеющихся проблем.

Ключевые слова: трансформатор, пожарная безопасность, экология, диэлектрическая среда, опасность.

Sinitsin V. I., Shilnikova E. A., Roslyakova O. V.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

FIRE AND ENVIRONMENTAL HAZARDS OF TRANSFORMERS
RUNNING ON MINERAL OIL

Novosibirsk

Abstract. This article describes the danger of transformers when working on mineral oil. The problems of fire and environmental safety in the event of emergency situations on transformers are considered. The ways of solving the existing problems are proposed.

Keywords: Transformer, fire safety, ecology, dielectric medium, danger.

В современном мире трансформаторы являются одними из ключевых элементов энергетических систем, обеспечивающих электроснабжение в городах и на производствах. Возможность возникновения аварийных ситуаций,

связанных с пожарами, является одной из основных проблем, с которыми сегодня сталкиваются производители и потребители энергии. Пожары, взрывы, утечки токсичных веществ и другие несчастные случаи, связанные с трансформаторами, существенно увеличивают риск экологической катастрофы и угрожают здоровью и жизни людей.

Опираясь на статистические данные сборника ВНИИПО МЧС России «Пожары и пожарная безопасность в 2021 г.» [2], можно сделать вывод, что пожары на трансформаторах не являются исключением. Только за период 2017–2021 гг. на трансформаторах произошло 2314 пожаров (рис. 1). Основной причиной возникновения таких пожаров является повышенный срок эксплуатации трансформаторной жидкости. Такие случаи говорят о том, что проблемы пожарной и экологической опасности трансформаторов являются актуальными и требуют усиленного внимания со стороны правительства, энергетических компаний и общественности.

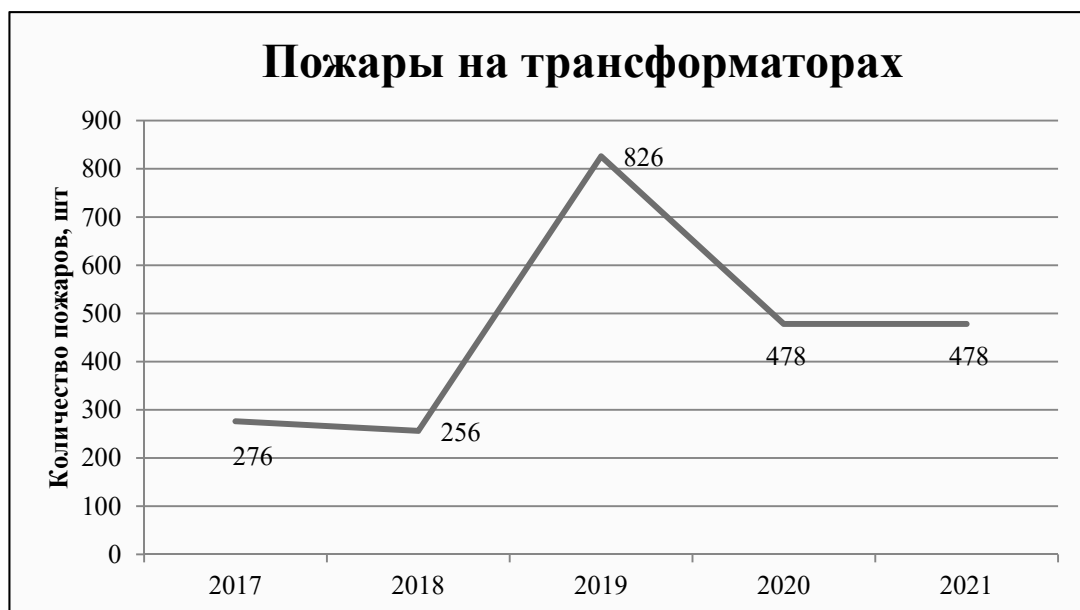


Рис. 1. Пожары на трансформаторах в 2017–2021 годах

В связи с этим на сегодняшний день разработка и внедрение методов повышения пожарной и экологической безопасности стали актуальными вопросами для специалистов отрасли электроэнергетики.

Основными причинами возникновения пожаров являются повреждение обмоток и выработка ресурса диэлектрических сред трансформаторов. Для предотвращения этого необходимо проводить регулярные плановые

проверки трансформаторов, следить за исправной работой и вовремя производить замену используемых диэлектрических сред. Рекомендуется использовать специальное оборудование для диагностики, которое позволяет выявлять любые отклонения в работе оборудования. Данные мероприятия не только способствуют снижению и предотвращению риска возникновения чрезвычайных ситуаций, но и продляют срок службы трансформаторов.

Одним из наиболее распространенных методов повышения пожарной безопасности является применение огнезащитных покрытий. Огнезащитные покрытия наносят на поверхность трансформаторного оборудования и служат для предотвращения возгораний и уменьшения скорости распространения пожара.

Другим не менее важным методом является установка систем пожарной сигнализации и противопожарных устройств, которые могут на раннем этапе определить возникновение пожара и в сочетании со средствами противопожарной защиты автоматически разрывать цепи, отключающие оборудование трансформатора, тем самым предотвращая распространение огня.

Несмотря на все вышеописанные мероприятия, также важно уделить особое внимание проведению пожарных тренировок для работников, которые задействованы при работе трансформаторов. Они должны быть готовы к возникновению различных чрезвычайных ситуаций, знать, как реагировать в случае возникновения аварийной ситуации, уметь применять и подбирать необходимый класс огнетушителей и быстро эвакуироваться из зоны опасности. Проведение тренировок и обучение персонала может стать ключевым компонентом в процессе повышения пожарной безопасности.

Одной из основных проблем экологической безопасности трансформаторов является их масляная изоляция. Трансформаторное масло используется для охлаждения и изоляции внутренних деталей трансформаторов. Если не следить за сроком эксплуатации диэлектрической среды масла, то может возникнуть аварийная ситуация.

Также существует проблема неправильной утилизации масла, что может нанести серьезный ущерб окружающей среде и здоровью людей. Для того чтобы избежать подобных проблем, следует строго контролировать процесс хранения, перекачки и утилизации отработанного масла и использовать для этого только сертифицированное оборудование.

Если же чрезвычайная ситуация все же наступила, необходимо задуматься о возможности сохранения окружающей среды. При авариях на трансформаторных подстанциях с большой долей вероятности может произойти выброс трансформаторного масла, представляющего собой сложные углеводороды. Минеральные трансформаторные масла по причине долгого разложения и интенсивного загрязнения являются крайне опасными при попадании в почву и воду. Может произойти заражение не только участка аварии, но и ближайших территорий.

Во избежание подобных ситуаций могут применяться различные инженерные и технические решения. Одно из них — это возведение защитных экранов, препятствующих разливу нефтепродуктов. Это не только поможет ограничить зону аварийной ситуации, но и не допустит попадание нефтепродуктов в почву и воду.

Также возможно использование синтетического и растительного масла марки MIDEЛ [3]. Данная диэлектрическая жидкость используется во многих странах Европы, Азии и Африки. Этот бренд представляет собой линейку диэлектрических жидкостей, которые не только не уступают «классическому» минеральному трансформаторному маслу, но и значительно превосходят его как по пожарной безопасности, так и по экологической составляющей (табл. 1). MIDEЛ является полностью биоразлагаемой жидкостью и имеет повышенную пожарную безопасность, которая характеризуется следующими показателями:

- температура воспламенения;
- температура вспышки;
- плотность дыма.

Таблица 1. — Сравнение диэлектрических сред

	MIDEЛ	Минеральное масло
Температура вспышки	260	150
Температура воспламенения	316	170
Плотность дыма	35%	100%

Данный вопрос является актуальным для отрасли электроэнергетики, потому что все современное общество является прямыми пользователями трансформаторов. В целом пожарная опасность трансформаторов — это

серьезная проблема, которая требует внимания как со стороны производителей, так и со стороны пользователей. Приведенные меры и надлежащее техническое обслуживание могут помочь снизить вероятность возникновения пожара и обеспечить безопасность персонала и окружающей среды от опасных явлений, который может принести утечка масла.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 982-80 Масла трансформаторные. Технические условия [Текст]. Введ. 1982-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 1982. — 6 с.
2. Гончаренко, В. С. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: статист. сб. Балашиха / В. С. Гончаренко, Т. Чечетина [и др.]. — 2022. — С. 116.
3. Синицин, В. И. Работа трансформаторов на минеральных и растительных маслах с учетом их пожарной и экологической безопасности / В. И. Синицин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2022. — № 3. — С. 47–49.

УДК 621.3.05

*Ананьина Т. В.¹, Денчик Ю. М.¹, Иванова Е. В.¹, Переладов М. Е.¹,
Сальников В. Г.²*

¹Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ
БЕРЕГОВОЙ И СУДОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ
ПРИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ СУДНА С БЕРЕГА

*г. Новосибирск
г. Сургут*

Аннотация. Описаны проблемы несимметрии береговой и судовой электрической сети. Проведены экспериментальные исследования качества электрической энергии в береговой сети 0,4 кВ ремонтной базы Новосибирского района водных путей, гидросооружений и судоходства «НРВПГиС» г. Новосибирск. Выполнена оценка экономической рентабельности снижения показаний коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности для энергетической структуры сетей России.

Ключевые слова: кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи, несимметрия напряжений, электромагнитная совместимость, электромагнитные помехи.

*Ananyina T. V.¹, Denchik Yu. M.¹, Ivanova E. V.¹, Pereladov M. E.¹,
Salnikov V. G.²*

¹FSFEI HE “Siberian State University of Water Transport”, Novosibirsk

²Surgut State University, Surgut

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF SHORE
AND SHIP ELECTRIC NETWORKS WITH POWER SUPPLY
OF THE SHORE FROM THE SHORE

*Novosibirsk
Surgut*

Abstract. The problems of asymmetry of the coastal and ship electrical networks are described. Experimental studies of the quality of electrical energy in the 0.4 kV coastal network of the repair base of the Novosibirsk region of waterways, hydraulic structures and navigation in Novosibirsk were carried out. An assessment of the economic profitability of reducing the readings of the voltage unbalance factor in the reverse sequence for the energy structure of Russian networks was carried out.

Keywords: *conducted low-frequency electromagnetic interference, voltage unbalance, electromagnetic compatibility, electromagnetic interference.*

Экономика регионов Сибири и Севера России исторически развивается на основе единой системы водного транспорта. Позиция внутреннего водного транспорта в транспортной системе России за 1989–2014 годы существенно ослабла. Объем перевозок грузов уменьшился в 4,6 раза, что негативно сказалось на региональных логистических связях севера и акватории Северного морского пути. Требуется кардинально трансформировать структуру транспортировки грузов в связи с повышением спроса товаров и услуг в данных областях.

Для повышения эффективности водного транспорта принята «Стратегия развития внутреннего водного транспорта РФ на период до 2030 года», утвержденная распоряжением Правительства РФ № 327-р от 29 февраля 2016 г. При этом значительная роль при осуществлении этих планов отводится электрификации. В соответствии с «Планом развития инфраструктуры

Северного морского пути на период до 2035 года», утвержденного распоряжением Правительства РФ № 3120-р от 21 декабря 2019 г., также предусматривается реализация мероприятий, необходимых для обеспечения перспективного спроса на электрическую энергию и мощность на прибрежных территориях Северного морского пути. Система электроснабжения береговых объектов должна развиваться с учетом электрических нагрузок судов технического флота и плавучих объектов, работающих в акватории. Устойчивое электроснабжение судна с берега является одной из важных задач, поскольку береговая электроэнергия дешевле, экономится ресурс судовой электроустановки, повышается пропускная загруженность портовых объектов, снижается опасность травматизма у персонала, увеличивается выработка человеко-часов.

Обеспечение согласованного электроснабжения береговых и плавучих объектов является одним из направлений повышения энергоэффективности в соответствии с государственной программой РФ «Развитие энергетики», утвержденной постановлением Правительства РФ № 321 от 15 апреля 2014 г. Эта проблема является частью проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) судовых технических средств и береговой электрической сети. Она относится к глобальной проблеме в электроэнергетике — ЭМС линий электропередач различного напряжения с техническими средствами. Глубокая проработка данного вопроса способствует повышению качества электроэнергии (КЭ) и пропускной способности сетей разного класса напряжения в целом.

Основной причиной нарушения уровня электромагнитной совместимости является несимметрия напряжений в береговых электрических сетях низкого и среднего напряжений. Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений, являются коэффициенты несимметрии напряжений по прямой последовательности K_{1U} , обратной последовательности K_{2U} и нулевой последовательности K_{0U} [3]. Ретроспективный анализ показателей качества электроэнергии береговых сетей показал, что несинусоидальность напряжений находится в допустимых ГОСТом 32144-2013 значениях [2–4]. Это позволяет показатель K_{1U} не определять, а показатели K_{2U} и K_{0U} определять по формулам:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{H(1)}} \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{H(1)}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $U_{2(1)}$ — действующее значение междуфазного напряжения обратной последовательности основной гармоники; $U_{0(1)}$ — действующее значение фазного напряжения нулевой последовательности основной гармоники; $U_{H(1)}$ — номинальное значение междуфазного напряжения. Значения величин $U_{0(1)}$, $U_{2(1)}$ определяются методом симметричных составляющих [3].

ЭМС технических средств тесно связана с эффективностью электрообеспечения потребителей. Нормально допустимые значения K_{2U} и K_{0U} могут превышать 2%, но не более 5% времени от периода наблюдений в течение недели. Предельно допустимые значения K_{2U} и K_{0U} не должны превышать 100% времени в течение недели. При несимметрии напряжений, составляющей $K_{2U} = 2\%$, срок службы асинхронных двигателей (АД) ввиду дополнительных потерь активной мощности сокращается на 10,8%, синхронных — на 16,2%, трансформаторов — на 4%, конденсаторов — на 20% [3]. Срок службы полностью загруженного АД, длительно работающего при $K_{2U} = 4\%$, сокращается в 2 раза. Основные негативные последствия несимметрии напряжений в электрических сетях 0,4–10 кВ приведены на рис. 1.

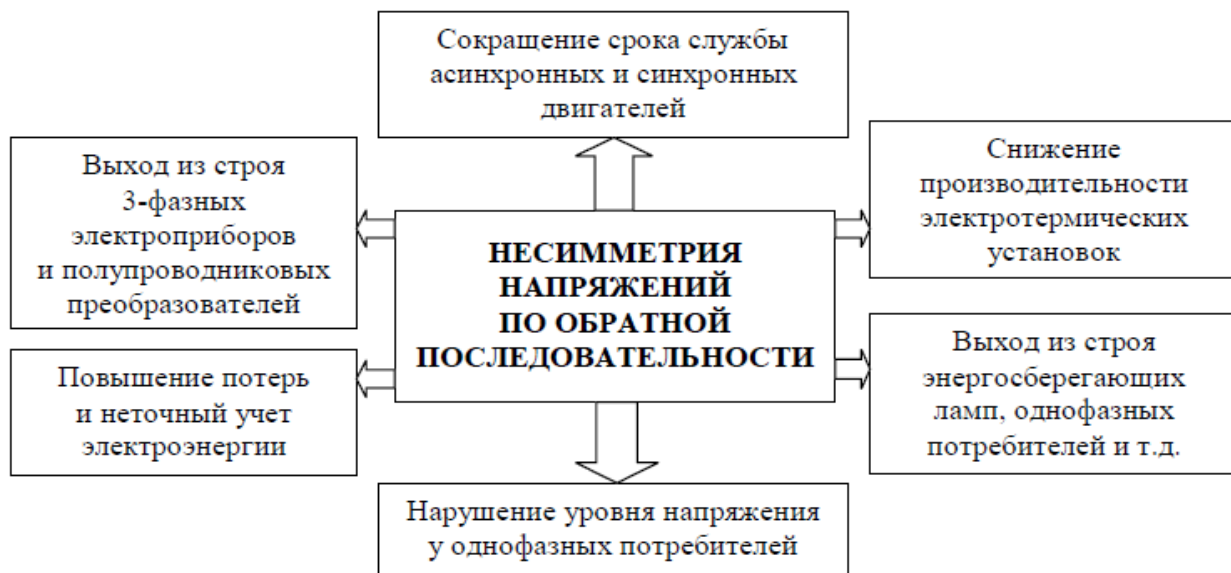


Рис. 1. Последствия воздействий несимметрии напряжений по обратной последовательности на технические средства в питающей сети

Экспериментальные исследования качества электрической энергии в береговой сети 0,4 кВ ремонтной базы Новосибирского района водных

путей, гидросооружений и судоходства «НРВПГиС» г. Новосибирск показали, что $0,5\% \leq K_{2U} \leq 5,3\%$. Наблюдается кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха (ЭМП) по коэффициенту несимметрии напряжения по обратной последовательности δK_{2U} . Следовательно, нарушена ЭМС технических средств в береговой электрической сети, что влечет к неправильной работе электрооборудования у потребителей.

Для нормализации отношений между энергоснабжающей организацией и потребителем ГОСТ 30372-2017 [5] введено понятие «качество функционирования технического средства» — совокупность показателей технического средства, характеризующих его способность удовлетворить требованиям эксплуатации. Тем самым допускается определенный компромисс в договорных отношениях, основанный на учете характеристик питающей сети и приемников электроэнергии, которые характеризуются восприимчивостью к ЭМП и уровнем устойчивости к ЭМП. Это позволяет сформулировать суждения (аксиомы), которые используются при оценке ЭМС технических средств [2; 3].

Аксиома 1. Режим работы технических средств при номинальных (нормированных) показателях КЭ является эффективным. При таком режиме работы претензии со стороны потребителей ЭЭ по качеству электроэнергии к электроснабжающей компании являются необоснованными.

Аксиома 2. Кондуктивные низкочастотные ЭМП по коэффициентам K_{2U} и K_{0U} характеризуют режим работы СЭС как неэффективный (утяжеленный) установившийся. Этот режим отрицательно влияет на работу всех звеньев электроэнергетической системы, приводит к увеличению потерь, снижению надежности работы электрооборудования и всей системы электроснабжения [1–3].

Аксиома 3. Технические средства, функционирование которых основано на законах электротехники, радиотехники и электроники, являются рецепторами, реагирующими на кондуктивные низкочастотные ЭМП по показателям КЭ, характеризующим несимметрию напряжений.

Аксиома 4. Кондуктивные низкочастотные ЭМП по коэффициентам несимметрии напряжений по обратной последовательности δK_{2U} и по нулевой последовательности δK_{0U} являются критерием качества функционирования технических средств по несимметрии напряжений [1–3].

Как было показано ранее на рис. 1, несимметрия напряжений по обратной последовательности ведет к повышению потерь и неточному учету

электроэнергии. Потери электроэнергии в электрических сетях от общего объема отпуска электроэнергии по Энергетической стратегии России на период 2021–2035 гг. должны быть снижены до 8%. Результатом уменьшения потерь будет снижение выбросы в атмосферу CO_2 , вредных оксидов азота и двуокисей серы.

Одним из показателей потерь электроэнергии является несимметрия напряжения. Низкие показатели несимметрии напряжения оказывают положительный эффект на надежность электроэнергетической системы. Повышается вероятность безотказной работы, увеличивается время «жизни» электрооборудования, снижаются амортизационные издержки, увеличивается коэффициент технического использования.

Таким образом, одной из основных задач в проблеме повышения качества функционирования ЭЭС является подавление кондуктивных низкочастотных ЭМП δK_{2U} и δK_{0U} путем обеспечения нормированных (согласованных) коэффициентов K_{2U} и K_{0U} . Низкие показания отклонения от установившихся уровней приводит к нормальному режиму работы электрооборудования, снижению воздействию магнитных полей на здоровье персонала и нормализация экологического фон в целом.

Список использованной литературы

1. Сальников, В. Г. Каскадные отказы опор воздушных линий электропередач как угроза энергетической безопасности прибрежных регионов с суровым климатом / В. Г. Сальников, Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, Е. В. Иванова, Б. В. Палагушкин, М. Н. Романов // Морские интеллектуальные технологии. — 2020. — № 4. Том 1. — С. 180–186.
2. 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 : НГАВТ, 2013. — 559 с.
3. Сальников, В. Г. Несимметрия напряжений в трехфазных системах как электромагнитная помеха: учебное пособие / В. Г. Сальников, Е. В. Иванова, Е. Ю. Кислицин, М. Е. Переладов и др. — М. : Издательство «Знание-М», 2022. — 94 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии

в системах электроснабжения общего назначения. Введ. с 01.07.2014 г. — М. : Стандартинформ, 2014. — 16 с.

5. ГОСТ 30372-2017. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. Введ. с 01.12.2018 г. — М. : Стандартинформ, 2018. — 59 с.

6. Смыков, Ю. Н. Оптимизация системы электроснабжения судна с берега / Ю. Н. Смыков // Россия молодая : Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2019. — С. 20141. — EDN VHEXBG.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621

Михайлов Н. П.¹, Прохорова Е. В.²

¹Теле-плюс, г. Сургут

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

МОДЕЛЬ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ СБОРА,
ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается проблема несовершенства системы учета данных счетчиков бытовой телеметрии и предлагается готовое решение в системе IoT. Проводится анализ трех различных систем сбора данных с технико-экономическим обоснованием и делается вывод о возможности построения автоматизированной системы сбора данных телеметрии на российском оборудовании в условиях импортозамещения.

Ключевые слова: *бытовая телеметрия, импортозамещение, LoRaWan, IoT.*

Mikhailov N. P.¹, Prokhorova E. V.²

¹Tele-plus, Surgut

²Surgut State University, Surgut

THE MODEL OF THE CORPORATE SYSTEM OF COLLECTION,
PROCESSING AND TRANSMISSION OF TELEMETRY DATA

Surgut

Abstract. The article deals with the problem of imperfection of the data accounting system of household telemetry meters and offers a ready-made solution in the IoT system. The analysis of 3 different data collection systems with a

feasibility study is carried out and a conclusion is made about the possibility of building an automated telemetry data collection system on Russian equipment in the conditions of import substitution.

Keywords: *household telemetry, import substitution, LoRaWAN, IoT.*

В настоящий момент в системе жилищно-коммунального хозяйства существует проблема несовершенства системы учета ресурсов [1]. Пользователи должны сами передавать в управляющую компанию показания счетчиков, и это порождает ошибки и потерю данных. Компания «Телеплюс» предлагает готовое решение в системе IoT для датчиков телеметрии бытового назначения, на оборудовании российского производства, с возможностью автоматической отправки данных в облачную среду.

Структурная схема модели изображена на рис. 1 и состоит из следующих блоков: датчики телеметрии, базовая станция, облачная среда и потребители в лице управляющих компаний, пользователей и расчетно-кассовых центров.

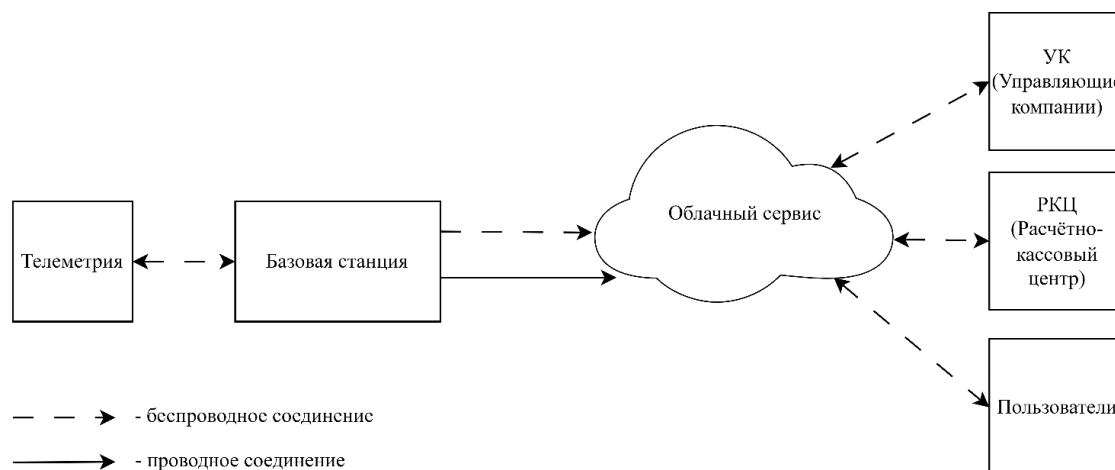


Рис. 1. Структурная схема системы телеметрии

Устройства бытовой телеметрии

В качестве счетчика водоснабжения используется Бетар-Вега СХВЭ/СГВЭ (счетчик холодного/горячего водоснабжения электронный), газа — Бетар-Вега СГБМ-1,6 (счетчик газовый бытовой модернизированный), электроэнергии — ЦЭ2727А (центрального энергоснабжения).

Базовая станция

В качестве базовой станции используется модель Вега БС-2.2 производства российской компании «Вега-Абсолют» [2]. Питание станции и сообщение

с сервером осуществляется через витую пару, также есть возможность использования сети 3G, поддерживаются частоты: Dual-Band UMTS и GSM 900, 1800, 2100 МГц. Технические характеристики станции представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Технические характеристики базовой станции Вега БС-2.2

Параметр	Значение
Частотный диапазон	863–870 МГц
Модуляция	Линейно-распределенная частотная
Выбор частоты	Автоматический, ручной
Мощность передатчика	до 0.5 Вт
Дальность радиосвязи	В городской местности — до 5 км В сельской — до 15 км

Облачная среда

В качестве облачной среды выступает собственная система компании «Вега-Абсолют», позволяющая подключаться к базовой станции и добавлять новые счетчики, просматривать собранные данные и отслеживать состояние каждого отдельного прибора.

Сравнение российского и европейского счетчиков водоснабжения

В качестве российского счетчика выбран Бетар-Вега СХВЭ/СГВЭ (счетчик горячего/холодного водоснабжения электронный), в качестве иностранного — немецкий ITELMA с радиомодулем LoRaWAN. В таблице 2 приведено сравнение их технических характеристик.

Таблица 2. — Сравнение счетчиков Бетар-Вега и ITELMA

Параметр	Датчики	
	Бетар-Вега	ITELMA
Частотный диапазон	863–869 МГц	863–867 МГц
Стоимость	997 руб	>1498 руб.
Поверочный интервал	7 лет	5 лет
Чувствительность, dBm	-138 дБм	-130 дБм
Емкость батареи, мАч	3400 мАч	3200 мАч

По итогам сравнения счетчик российского производства оказывается дешевле, а по техническим характеристикам имеет ряд преимуществ перед европейским аналогом.

Экономическое обоснование

Виды сбора данных со счетчиков:

1. Ручной (работники УК снимают данные в квартирах).
2. Самостоятельный (абоненты передают показания счетчиков).
3. Автоматический (данные отправляются автоматически по заданному расписанию).

В таблице 3 приведен расчет затрат на приобретение оборудования и запуск автоматической системы сбора данных. Поскольку одна базовая станция позволяет обслуживать счетчики в радиусе 5 км, то для Сургута необходимо установить 5 таких станций для сбора данных со всех домов города. Лицензия на использовании системы мониторинга от производителя приобретается отдельно и оплачивается раз в месяц. Умные счетчики приобретаются абонентами самостоятельно или закупаются по оптовой цене управляющей компанией для дальнейшего распространения среди владельцев квартир.

Таблица 3. — Экономический расчет автоматической системы сбора данных

Параметр	Цена
Количество базовых станций	5
Стоимость базовой станции	50 000
Лицензия на использование системы мониторинга	15 000

В таблице 4 приведен экономический расчет для ручной системы сбора данных. Основные затраты в ручной системе сбора — это заработная плата работников, которые должны регулярно снимать показания счетчиков.

Таблица 4. — Экономический расчет ручной системы сбора данных

Параметр	Значение
Количество работающих людей	10
Средняя зарплата 1 работника	30 000
Зарплата за 7 лет	25 200 000

Самостоятельный сбор данных не требует затрат на приобретение оборудования, как в случае с автоматической системой, и позволяет проверять счетчики реже, чем в ручной системе [3], однако большинство счетчиков электрической энергии, установленных у потребителей, в стране работают по устаревшему индукционному типу, из-за чего происходит погрешность в измерениях, что приводит к огромному количеству неучтенных, но потребленных ресурсов [4]. В настоящий момент идет планомерная замена устаревших счетчиков на электронные, в том числе на модели, имеющие возможность автоматической отправки данных.

Как видно из рис. 2, сумма задолженности за услуги ЖКХ в декабре 2020 года составила 1,3 трлн руб., задолженность коммунальным службам составила 867 млрд руб.

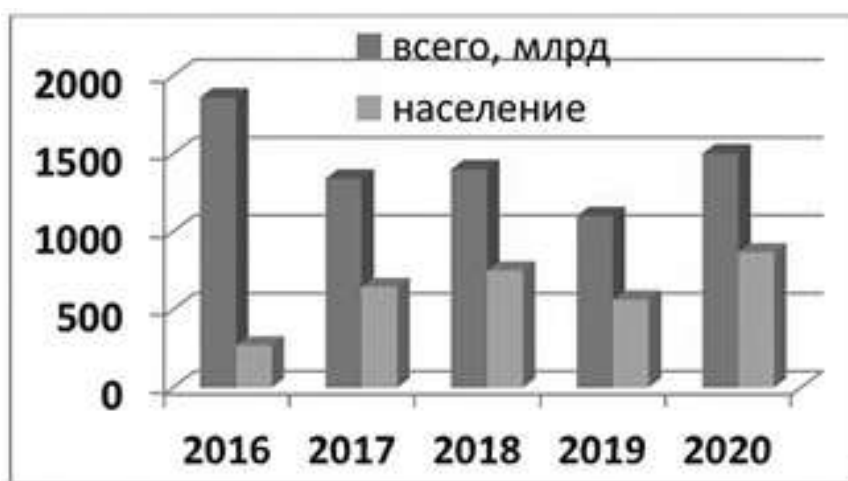


Рис. 2. Долг за услуги ЖКХ

Подводя итоги, можно сделать вывод, что в России имеются возможности и ресурсы для построения системы с возможностью автоматической отправки данных в облачную среду на оборудовании Российского производства в условиях импортозамещения.

Список использованной литературы

1. IoT-решения для ЖКХ: какими будут умные счетчики и кто их должен обслуживать? // Сообщество IT-специалистов:сайт. — URL: habr.com/ru/companies/smileexpo/articles/425093 (Дата обращения: 09.04.2007).
2. Вега-абсолют. — URL: <https://vega-absolute.ru>
3. Леонид Ю. Ю Актуальные проблемы при сборе платежей за потребленные ресурсы ЖКУ и пути их решения // Муниципальная Академия : сетевой журн. (электр. журн.). — 2021. — URL: http://journalrma.ru/storage/app/media/4_21_3.pdf (Дата обращения: 13.04.2023).
4. Покупать ли импульсный счетчик воды. — URL: <https://oschetchike.ru/vody/s-impulsnum-vyходом> (Дата обращения: 13.05.2023)

УДК 681.518

Семенова Л. Л., Герасимова Н. Н., Макаrchук В. Э.
Сургутский государственный университет, г. Сургут

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЕМНОЙ ЧАСТИ ЦИФРОВОЙ
СИСТЕМЫ СВЯЗИ

г. Сургут

Аннотация. В данной работе представлено исследование приемной части системы связи. С помощью программы Simulink смоделирована и представлена модель системы связи, состоящая из передающей части, канала связи и приемной части. Приведены результаты работы виртуальной схемы в виде осциллограмм, глазковых диаграмм и созвездий. Также сделана оценка влияния шума, интерференции и фазовых искажений на передаваемый сигнал.

Ключевые слова: радиоприемное устройство, виртуальный радиоприемник, приемник, приемное устройство, моделирование в программе Simulink, моделирование системы связи, цифровая система связи.

Semenova L. L., Gerasimova N. N., Makarchuk V. E.
Surgut State University, Surgut

MODELLING OF THE RECEIVING PART
OF A DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM

Surgut

Abstract. this paper presents a study of the receiving part of the communication system. With the help of the Simulink program, a model of a communication system was modeled and presented, consisting of a transmitting part, a communication channel, and a receiving part. The results of the virtual circuit operation in the form of oscillograms, eye diagrams and constellations are presented. They also assessed the effect of noise, interference and phase distortion on the transmitted signal.

Keywords: *radio receiver, virtual radio receiver, receiver, receiver, Simulink simulation, communication system simulation, digital communication system.*

Проблема заключается в том, что далеко не все процессы, связанные с различного рода измерениями, можно исследовать на устаревшем лабораторном оборудовании, зачастую оно может отсутствовать, так как смена оборудования дорогостоящая, а технологии меняются стремительно. Также бывают проблемы в комплектации оборудования, недостаток отдельных элементов значительно сказывается на условиях проведения экспериментов, так как система связи передачи сигналов должна быть полной.

Решением проблемы выступает использование виртуальных моделей в программах для исследования различных параметров систем связи.

Существует несколько причин, почему моделирование системы связи в программах может быть более актуальным для проведения лабораторных работ, чем использование реального оборудования при обучении студентов:

1. Экономия ресурсов. Использование реального оборудования может быть дорогостоящим, а также требовать больших затрат на его обслуживание и обновление. Моделирование позволяет избежать таких затрат и сэкономить ресурсы.

2. Безопасность. Работа с реальным оборудованием может быть опасной, особенно для студентов, которые могут не иметь достаточного опыта в обращении с ним. Моделирование системы связи обеспечивает безопасную среду для проведения экспериментов и изучения различных аспектов работы системы связи.

3. Гибкость. Также моделирование позволяет более гибко настраивать параметры системы и изменять ее конфигурацию для проведения различных экспериментов.

4. Доступность. Кроме того, оно может быть доступным для студентов в любое время и в любом месте. Это позволяет студентам получать практические навыки работы с системой связи в более комфортных условиях.

5. Расширяемость. А также оно может быть более расширяемым, чем использование реального оборудования. Например, можно добавить новые компоненты системы или изменить ее архитектуру без необходимости покупки нового оборудования.

Таким образом, моделирование системы связи может быть более актуальным и удобным форматом для проведения лабораторных работ в обучении студентов, чем использование реального оборудования. Однако полностью заменять им лабораторные работы с приборами не рекомендуется.

Новизна работы заключается в экспериментальном подтверждении влияний шума, интерференции и фазовых искажений на передаваемый сигнал в цифровой системе связи, модель которой была выполнена в программной среде Simulink.

Целью научной статьи является моделирование схемы приемника и изучение его работы в системе связи.

Задачи:

1. Описать теоретические модели процессов, происходящих в приемниках цифровых систем связи.
2. Смоделировать цифровую систему связи и исследовать работу приемной части.
3. Исследовать устойчивость КАМ-сигналов к воздействию искажения сигнала при прохождении по радиоканалу.

В качестве методов исследования мы выбрали моделирование и тестирование виртуальной установки, анализ результатов эксперимента, а также визуализацию зависимостей параметров сигнала от условий проведения опыта.

В теоретической части исследования были изучены основные понятия.

Цифровая модуляция (или манипуляция) — это процесс преобразование последовательности кодовых символов в последовательность элементов сигнала.

Квадратурная амплитудная модуляция (КАМ) — разновидность амплитудной модуляции сигнала, которая представляет собой сумму двух несущих колебаний одной частоты, фазы которых отличаются на 90° .

Отличие квадратурной амплитудной модуляции от обычной квадратурной модуляции заключается в том, что изменяется как фаза, так и амплитуда сигнала. Это позволяет увеличить количество информации, передаваемой одним состоянием сигнала.

На рис. 1 приведена упрощенная структурная схема формирователя КАМ-сигнала.

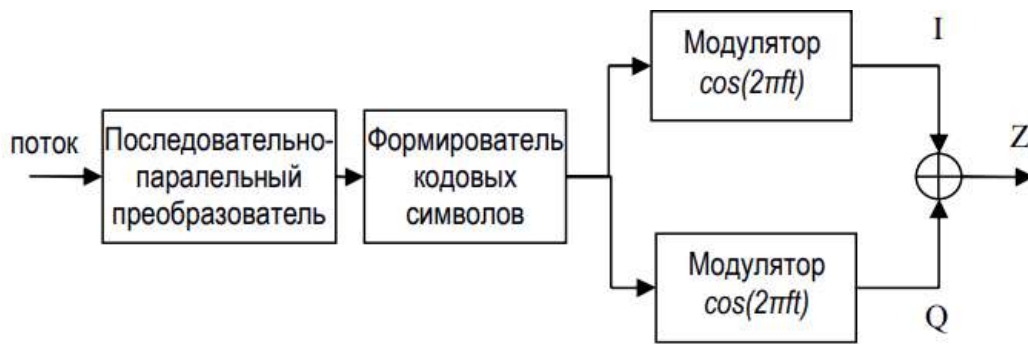


Рис. 1. Формирователь КАМ-сигналов

Отметим, что с увеличением порядка модуляции возрастает скорость передачи информации, то есть сигнал может нести больше бит информации на символ. Однако это происходит в ущерб помехоустойчивости.

Схемы модуляции более высокого порядка значительно меньше устойчивы к шумам и помехам. Учитывая это, многие системы радиосвязи используют динамические методы адаптивной модуляции, заключающиеся в том, что анализируются каналные условия и выбирается схема модуляции с самой высокой скоростью передачи для данного состояния канала.

Воздействие помех приводит к возникновению неконтролируемых изменений амплитуды и фазы сигнала. При увеличении числа точек созвездия расстояние между ними уменьшается и, следовательно, возрастает вероятность ошибок при распознавании символа.

Как правило, приемная часть системы связи является более сложной в сравнении с передающей частью (рис. 2). Это вызвано в первую очередь необходимостью синхронизации с принимаемым сигналом по частоте и фазе несущего колебания. Зачастую приемная часть системы связи вынуждена работать при очень низких отношениях сигнал/шум, что требует от разработчика реализации наиболее эффективных методов цифровой обработки сигналов.

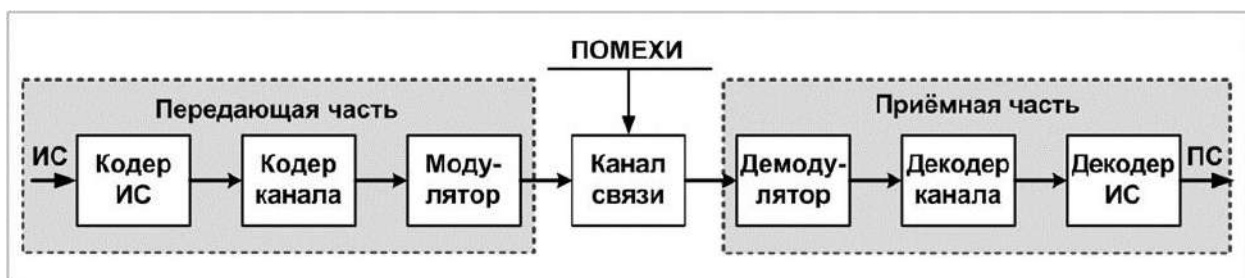


Рис. 2. Структурная схема системы связи

В практической части с помощью блоков в Simulink была собрана схема виртуальной установки, изображенная на рис. 3. В данную схему входят передающая часть, канал связи и приемная часть. А также мы использовали дополнительные блоки, с помощью которых можно подать сигнал, вывести промежуточные результаты, отобразить осциллограммы.

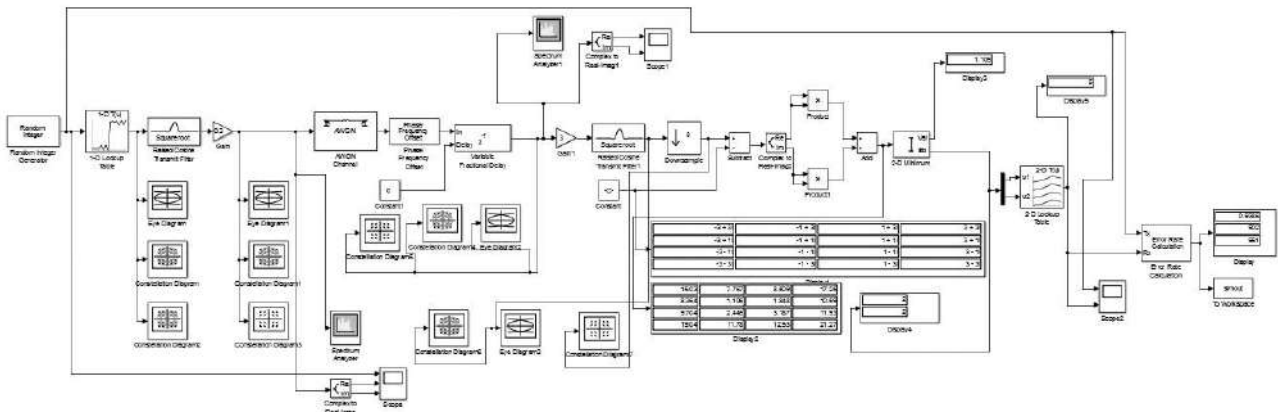


Рис. 3. Модель системы связи в Simulink

Для приемной части мы использовали блоки: Gain — усилитель сигнала; фильтр с характеристикой приподнятого косинуса, который фильтрует входной сигнал с помощью фильтра с конечной импульсной характеристикой; Downsample — для понижения частоты дискретизации; Subtract — подсистема, позволяющая оформить часть модели в виде отдельного блока; Complex to Real-Imag — блок выделения реальной и мнимой части комплексного сигнала; Product — перемножает входные сигналы; Add — для суммирования/вычитания сигналов; 2D-Minimum — блок поиска минимального значения вектора/матрицы сигналов; Constant — источник неизменяемого сигнала (константа); блок Eye Diagram (Ай дайаграм) — блок отображения глазковой диаграммы сигнала и рассеяния сигнала; Constellation Diagram — блок отображения траектории вектора комплексной огибающей сигнала на плоскости (изменяя настройки данного блока, можно увидеть созвездие из отдельных точек и созвездие с отображением линий траекторий между точками); 2D-Lookup table — блок 2-размерной таблицы соответствий (таблицы истинности); Scope — осциллограф; блоки Display, которые применяются для отображения информации (сигналов).

Модель представлена на рис. 4.

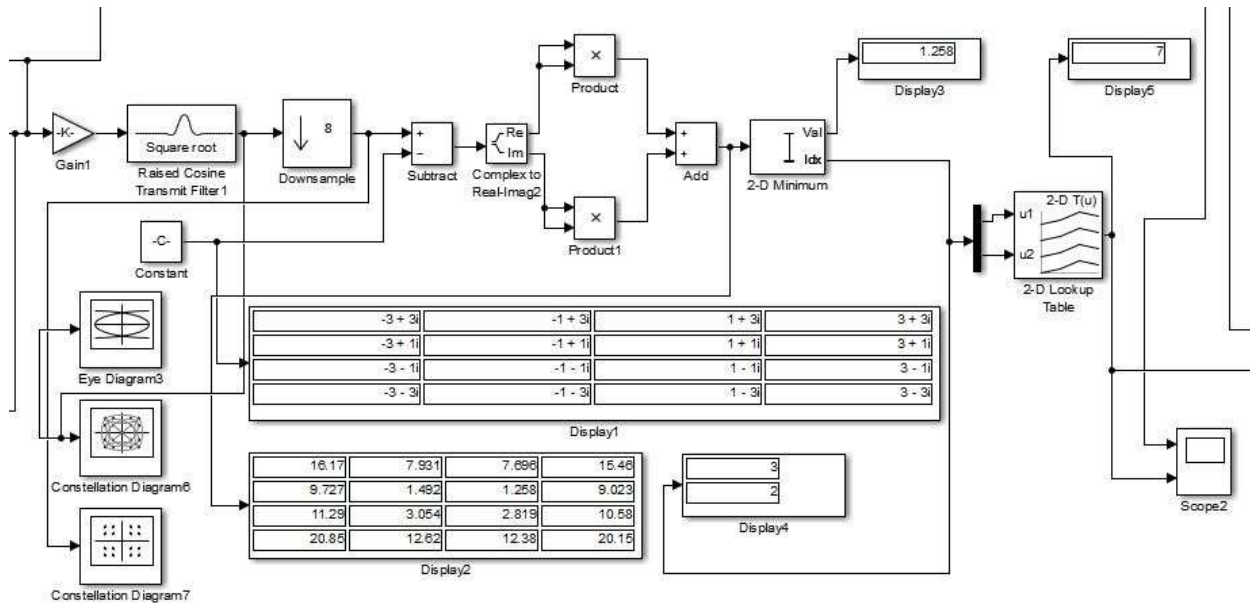


Рис. 4. Модель приемной части системы связи в Simulink

По результатам работы схемы мы получили сигнальные созвездия. На рис. 5 представлена диаграмма созвездия принимаемого сигнала с выхода согласованного фильтра при отсутствии шумов, без частотного и фазового рассогласования и без задержки в канале связи. Также можно отметить, что на принимаемое созвездие практически не оказывает влияния межсимвольная интерференция.

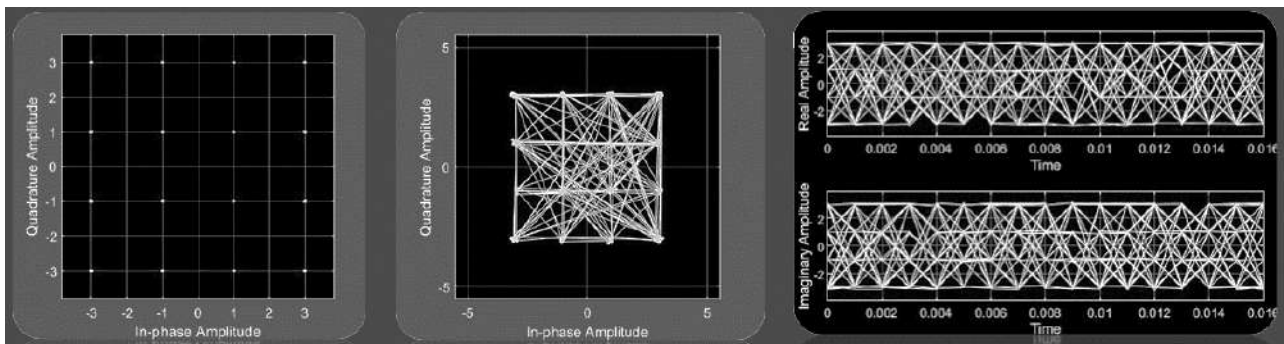


Рис. 5. Согласованный прием сигнала

По диаграммам, полученным на выходе канала связи, можно сделать вывод, что добавление к сигналу аддитивного белого гауссовского шума приводит к размытию точек в созвездии и повышению вероятности ошибки при приеме сигнала (рис. 6).

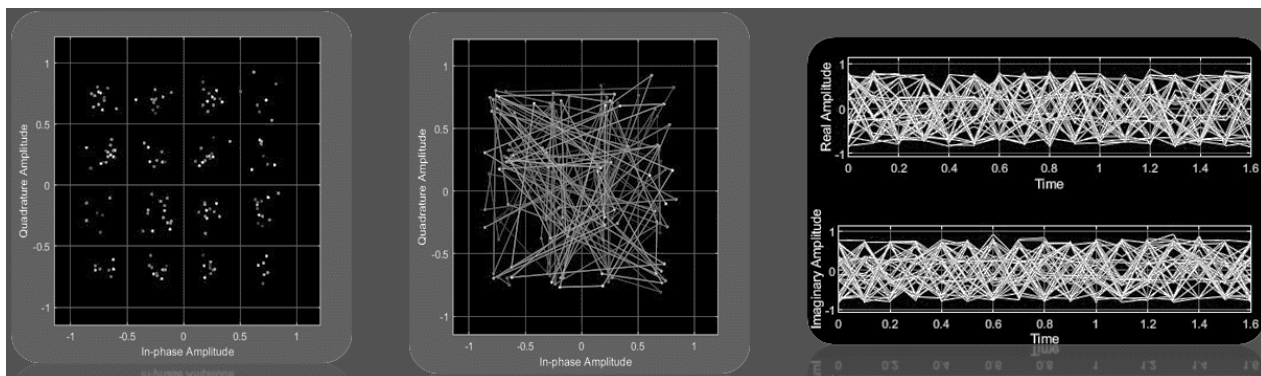


Рис. 6. Воздействие АБГШ на принимаемый сигнал

Частотное же рассогласование приводит к вращению сигнального созвездия, что показано на рис. 7.

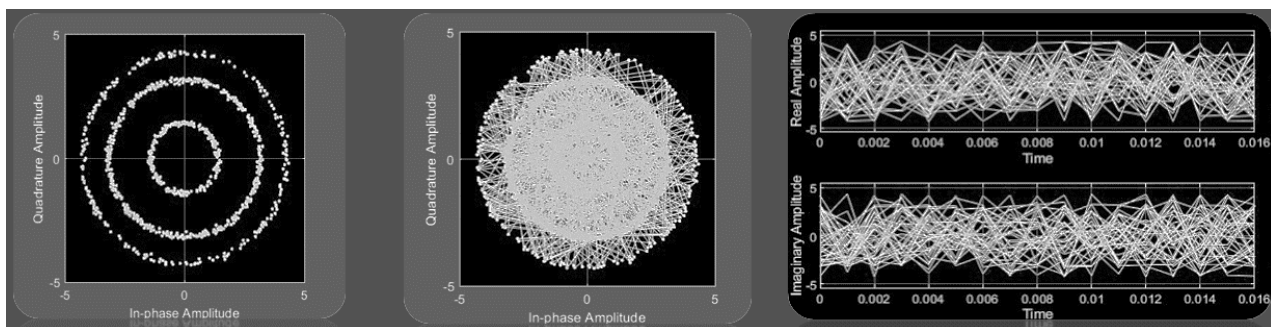


Рис. 7. Результат частотного рассогласования при приеме

Фазовое рассогласование приводит к повороту сигнального созвездия. Это можно увидеть на рис. 8.

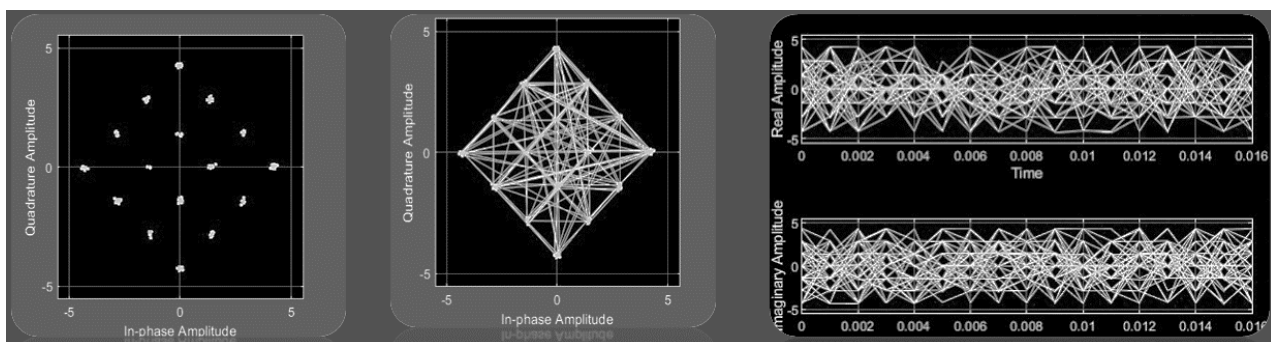


Рис. 8. Результат фазового рассогласования при приеме

Также были получены осциллограммы на выходе модулятора (рис. 9).

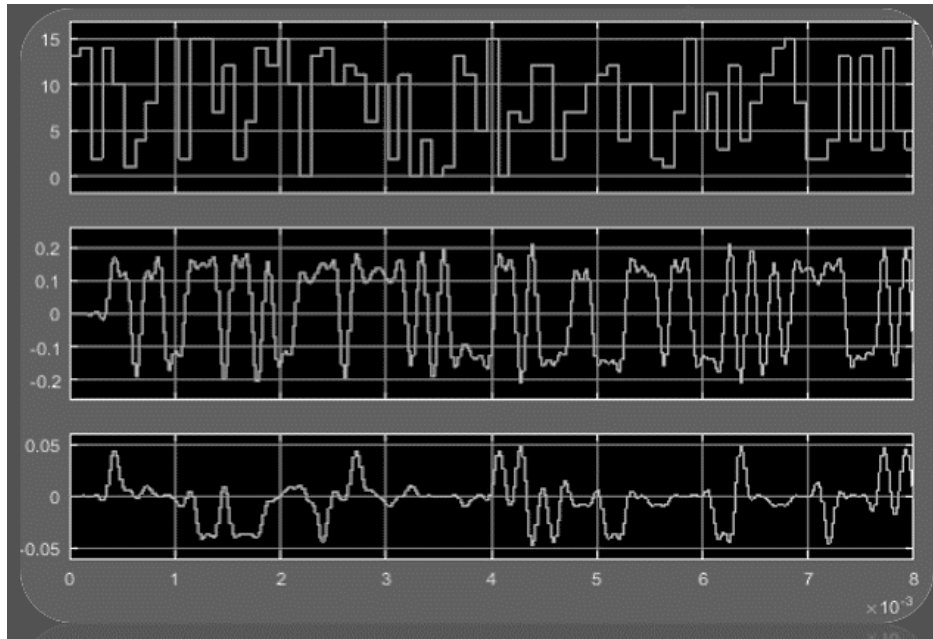


Рис. 9. Осциллограммы шины данных и комплексной огибающей сформированного сигнала

На выходе канала связи они представлены на рис. 10.

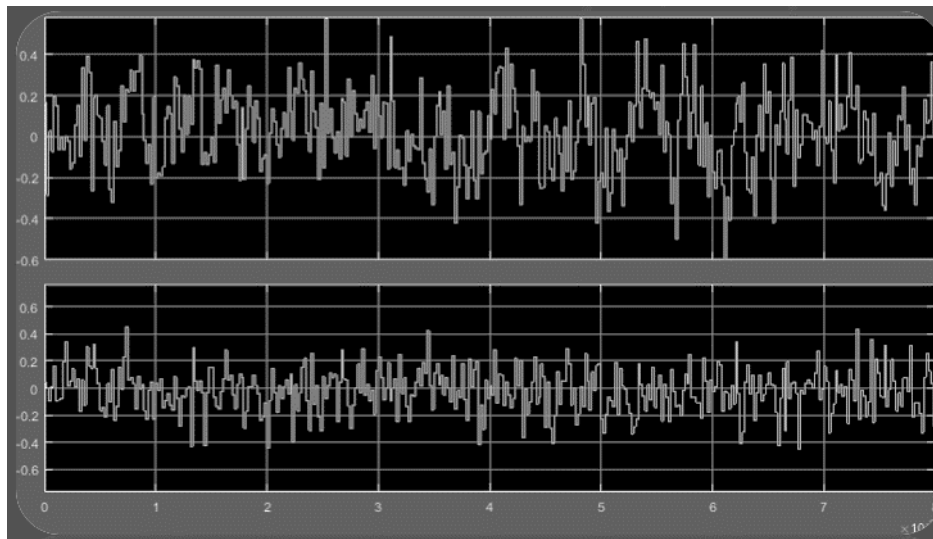


Рис. 10. Осциллограммы сигнала после прохождения по каналу связи

А также отобразили осциллограммы передаваемого и принимаемого сигналов (рис. 11). Оценить общую задержку в системе связи по осциллограммам не удалось, впоследствии необходимо будет определить более точное время моделирования для получения корректной оценки.

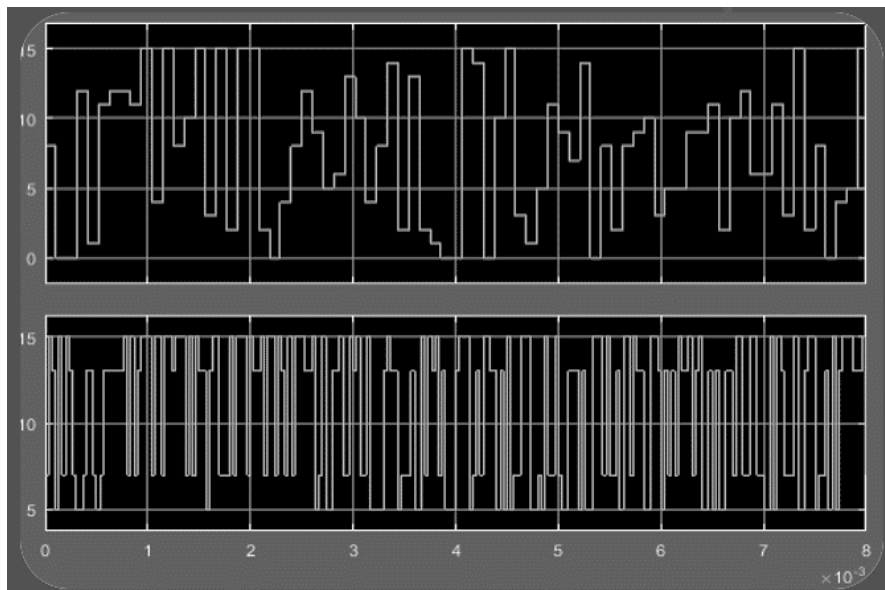


Рис. 11. Осциллограммы сигнала на приемной стороне

Можно отметить, что описанная выше структура является типовой, то есть ее общий вид соответствует большинству современных систем связи. Тем не менее существует множество систем, реализованных по иным схемам. Кроме этого, каждая из систем обладает существенно различными особенностями реализации.

Таким образом, поставленные нами задачи в работе были выполнены, цель достигнута. С помощью программы Simulink изучили принцип работы приемной части цифровой системы связи и рассмотрели его внутренние составляющие. Можно оценить влияние шума, интерференцию, фазовые искажения по диаграммам, полученным с помощью виртуальных установок. Схему можно использовать для проведения лабораторных работ по дисциплинам, связанным с передачей и приемом цифровых сигналов.

Предложением о возможных дальнейших исследованиях является изменение параметров модели, например, типов изучаемых QAM-сигналов, для снятия особенностей поведения сигналов при передаче по цифровой системе связи.

Список использованной литературы

1. Математическое моделирование в среде Simulink: сайт. — URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_564115998/Praktikum_na_EVM_simulink.pdf (Дата обращения: 11.03.2023). — Текст: электронный.

2. MATLAB, Simulink и SimPowerSystems в электроэнергетике: сайт. — URL: <https://s.siteapi.org/ca7cf74119b6a4e/docs/59d7f5f72cdd7ddd621e63fffa3d7c68b9b58142.pdf> (Дата обращения: 17.03.2023). — Текст: электронный.

3. Simulink: сайт. — URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/simulink-concepts-models.html> (Дата обращения: 15.03.2023). — Текст: электронный.

УДК 621

Авдеев В. В., Прохорова Е. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ
СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

г. Сургут

Аннотация. В данной работе исследуются методы оптимизации передачи данных по протоколам Интернета вещей через системы связи. Одним из методов оптимизации является уменьшение количества отчетов на передающей стороне с помощью децимации, а затем восстановление сигнала на приемной стороне с помощью алгоритмов адаптивной фильтрации и линейной интерполяции. В работе были изучены различные алгоритмы адаптивной фильтрации и на основе полученных данных были сделаны выводы о среднеквадратической ошибке. Эта работа может быть полезна для решения проблемы увеличивающегося трафика в системах Интернета вещей.

Ключевые слова: *адаптивная фильтрация, Интернет вещей, децимация, системы телеметрии.*

Avdeev V. V., Prokhorova E. V.

Surgut State University, Surgut

RESEARCH OF OPTIMIZATION MODELS INTERNET
OF THINGS SYSTEMS

Surgut

Abstract. In this paper, methods of optimizing data transmission over Internet of Things protocols through communication systems are investigated. One of the optimization methods is to reduce the number of samples on the transmitting side using decimation, and then restore the signal on the receiving side using adaptive

filtering and linear interpolation algorithms. Various adaptive filtering algorithms were studied and conclusions were drawn based on the obtained data on the root-mean-square error. This work can be useful to solve the problem of increasing traffic in Internet of Things systems.

Keywords: *adaptive filtering, Internet of Things, decimation, telemetry systems.*

Целью исследования является нахождение и проверка способов снижения нагрузки на беспроводные каналы связи в рамках концепции Интернета вещей.

Существует множество статистических прогнозов о количестве устройств Интернета вещей, и все они указывают на постоянный рост их числа [1, 2]. Как отмечается в работе [3], в ближайшем будущем ожидается значительное увеличение плотности устройств в сети IoT с достижением уровня одного устройства на 1 м², что приведет к значительному увеличению нагрузки на сеть (в несколько раз).

В другом исследовании [4] было выявлено, что средняя скорость передачи данных одного устройства интернета вещей составляет от 98 до 590 бит в секунду. Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что максимальная нагрузка на сеть может достигнуть 590 Мбит в секунду. Такая скорость не поддерживается ни одним из существующих стандартов Интернета вещей [5], что указывает на необходимость разработки способов уменьшения объема передаваемого трафика.

В рамках данной работы проведена проверка эффективности метода снижения объема передаваемого трафика в реальной системе телеметрии [6]. Этот метод основан на децимации на передающей стороне и восстановлении трафика на приемной стороне с помощью алгоритмов адаптивной фильтрации, описанных в работе [5], также проведено сравнение с другим методом восстановления.

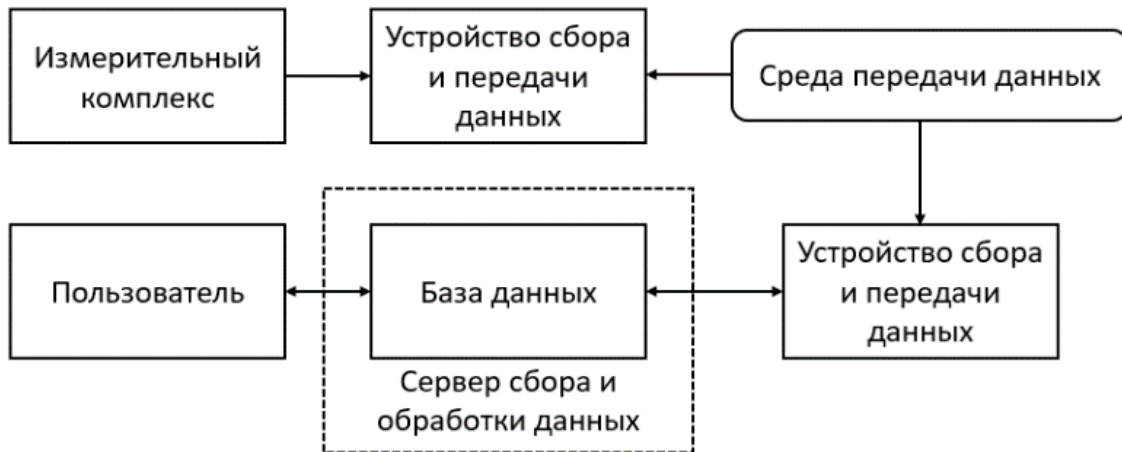


Рис. 1. Структурная схема системы телеметрии, используемой в настоящее время

Проверка проводилась в системе телеметрии, изображенной на рис. 2:

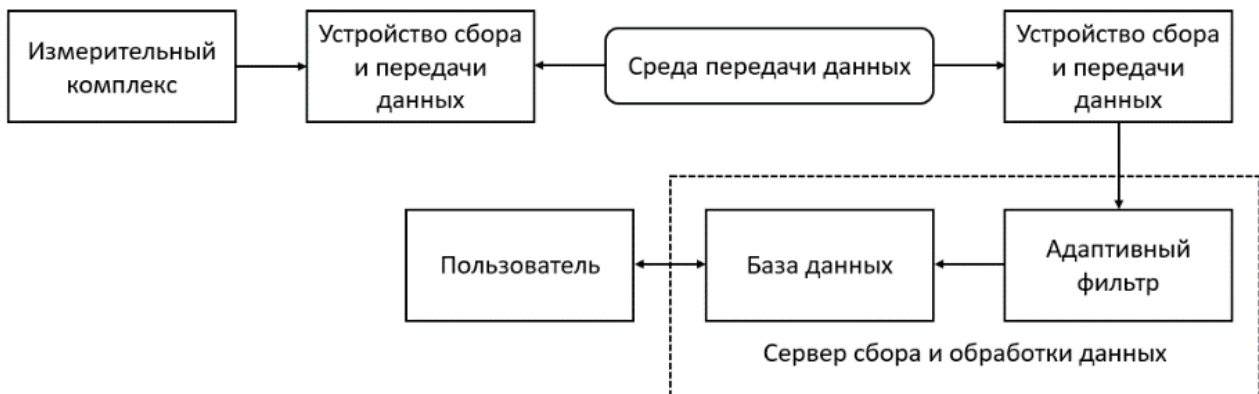


Рис. 2. Структурная схема оптимизированной системы телеметрии

В качестве среды передачи выступала глобальная сеть. Для измерения и передачи данных были использованы плата Wemos D1 Mini с протоколом Wi-Fi и плата Arduino UNO с протоколами Ethernet (W5100) и GPRS (SIM800L). В качестве пользовательского и серверного устройства были задействованы два персональных компьютера, соединенные в локальную сеть.

Было спроектировано двенадцать моделей с различными протоколами и методами восстановления, с которыми можно ознакомиться в таблице:

Таблица 1. — Исследуемые модели

Алгоритм восстановления	С уменьшением нагрузки			Исходная система
	Интерполяция	LMS	NLMS	
Протокол передачи данных	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi
	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet
	GPRS	GPRS	GPRS	GPRS



Рис. 3. Исследуемая система (Wi-Fi)

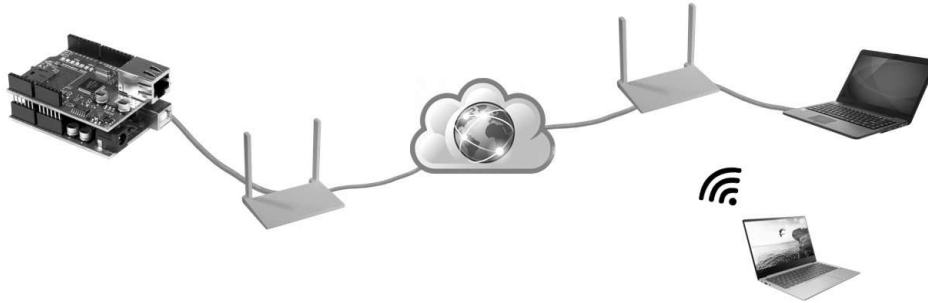


Рис. 4. Исследуемая система (Ethernet)



Рис. 5. Исследуемая система (GPRS)

Было рассмотрено два варианта системы телеметрии:

1) Система, описанная в схеме на рис. 1, в которой синусоидальный сигнал генерировался каждые 0,5 секунды и посылался на сервер в виде GET-запроса. На стороне сервера осуществлялся сбор данных в базу данных. На стороне пользователя отправляется запрос на отправку данных, после получения происходит отрисовка графика.

2) Во второй системе, описанной в схеме на рис. 2, отличие которой состоит в децимации на передающей стороне. Для этого было изменено время генерации счетчика синусоиды — с 0,5 до 1 секунды. На стороне сервера применялись алгоритмы адаптивной фильтрации или интерполяция для предварительного восстановления отчетов перед сохранением данных в базу данных.

Была проведена оценка задержки, объема переданных данных и скорости трафика для обоих вариантов системы. Для каждого варианта было проведено три замера в каналах связи, представленных на рис. 3–5. Замеры осуществлялись на участках между пользователем и сервером, а также между измерительным комплексом и сервером. Результаты измерений представлены в таблицах.

Таблица 2. — Пользователь — сервер

Wi-Fi				
	Без уменьшения нагрузки	Интерполяция	LMS	NLMS
Ср. объем переданных данных, Кбайт	3,01	3,02	3,07	2,98
Ср. задержка одного запроса, мс	34,78	33,25	33,24	33,02
Ср. нагрузка одного запроса, Кбайт/с	96,80	98,12	99,59	96,65
Общий объем переданных данных, Мбайт	0,52	0,47	0,50	0,48
Ethernet				
	Без уменьшения нагрузки	Интерполяция	LMS	NLMS
Ср. объем переданных данных, Кбайт	2,91	2,93	2,97	2,97
Ср. задержка одного запроса, мс	34,35	33,17	33,20	33,20
Ср. нагрузка одного запроса, Кбайт/с	98,18	98,92	96,08	96,33
Общий объем переданных данных, Мбайт	0,48	0,47	0,45	0,45

Таблица 3. — Измерительный комплекс — сервер

Wi-Fi				
	Без уменьшения нагрузки	Интерполяция	LMS	NLMS
Объем переданных данных, байт	1346	674	674	674
Ср. задержка одного запроса, мс	810,32	326,3	322,9	330,1
Ср. нагрузка одного запроса, байт/с	4,96	3,39	3,29	3,27
Ethernet				
	Без уменьшения нагрузки	Интерполяция	LMS	NLMS
Объем переданных данных, байт	1346	674	674	674
Ср. задержка одного запроса, мс	166,93	67,21	68,43	67,23
Ср. нагрузка одного запроса, байт/с	7,69	4,36	4,49	4,36
GPRS				
	Без уменьшения нагрузки	Интерполяция		
Объем переданных данных, байт	1346	674		
Ср. задержка одного запроса, мс	5019	5019		
Ср. нагрузка одного запроса, байт/с	0,81	0,41		

Как отражено в табл. 2, применение разных протоколов между измерительным комплексом и сервером, а также различных методов восстановления, не оказывает влияния на канал связи между пользователем и сервером, поскольку задержка, вызванная работой сервера, учитывается на стороне пользователя.

Таблица 4. — Задержка восстановления

Интерполяция	LMS	NLMS
99 мс	100 мс	102 мс

Большая часть задержки, представленной в таблице 4, является результатом процессов чтения запросов с измерительного комплекса и записи восстановленных данных в базу данных, а не алгоритма восстановления. Задержка, обусловленная алгоритмами восстановления, составляла 1 мкс для интерполяции, 0,1 мс для LMS и 0,2 мс для NLMS.

Таблица 2 не содержит данных по GPRS, а таблица 3 содержит только частичные данные по протоколу. При использовании модуля SIM800L для отправки данных необходимо выполнить две отдельные AT-команды: загрузить данные в модуль и отправить их. Эти действия выполняются двумя разными AT-командами. Между загрузкой данных в модуль и их отправкой должна быть установлена задержка, минимум 2 секунды, и между отправкой и получением ответа от сервера — не менее 5 секунд. При повторной отправке данных модуль не успевает сохранять новый отчет, при увеличении задержки между сохранением отчета и его отправкой проблемы не только сохраняются, но и ухудшаются. Если продолжать отправлять данные, модуль перестает отправлять данные вовсе. В исследуемой модели при использовании восстановления необходимо, чтобы модуль отправил 150 отчетов, в обратном случае — 300 отчетов. Если SIM800L не справляется с отправкой такого количества отчетов, то он точно не справится с загрузкой на сервер сигнала ЭКГ, который планируется использовать в дальнейшем. В то же время другие протоколы успешно передают данные, как видно из таблицы 2: объем переданных данных уменьшается в два раза, задержка одного запроса уменьшается примерно на 60%, а нагрузка запроса уменьшается на 30–45%.

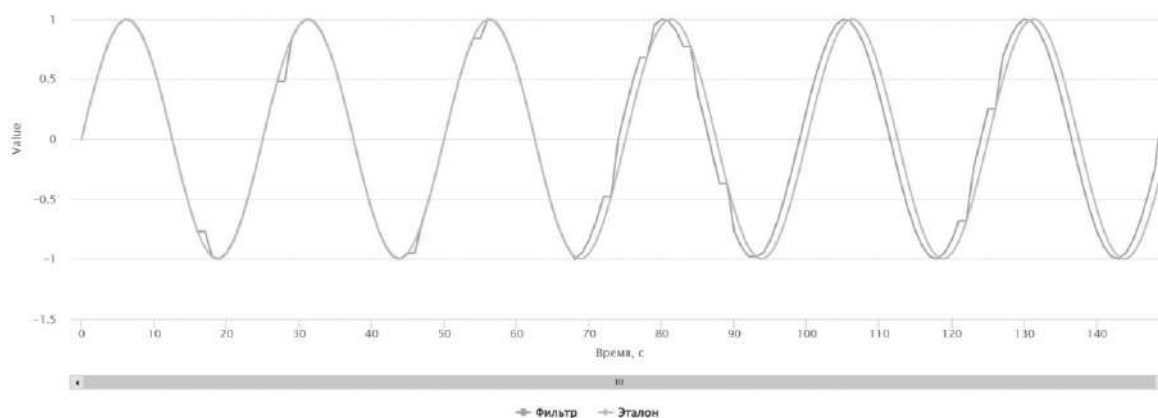


Рис. 6. График синусоиды, переданной по GPRS и восстановленной интерполяцией

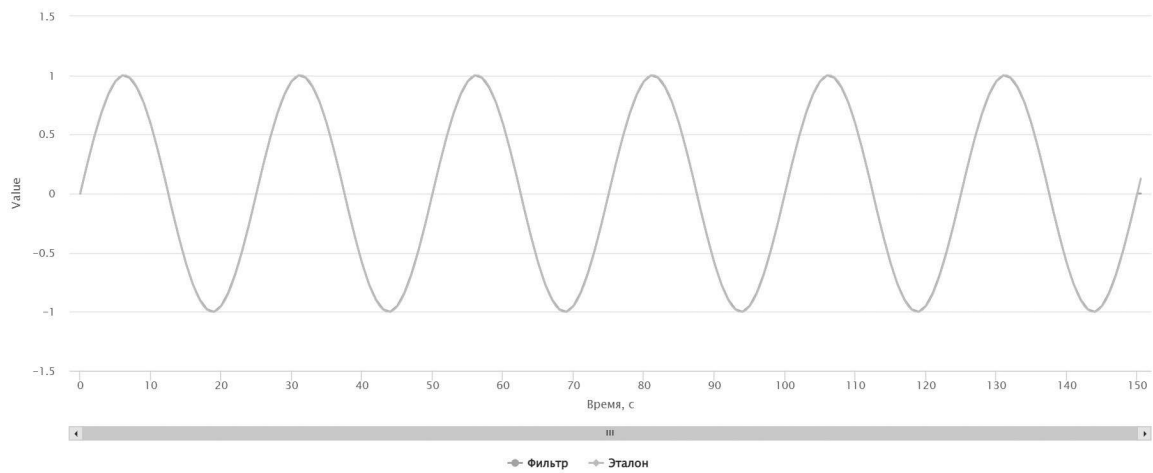


Рис. 7. График интерполированного сигнала на фоне эталонного

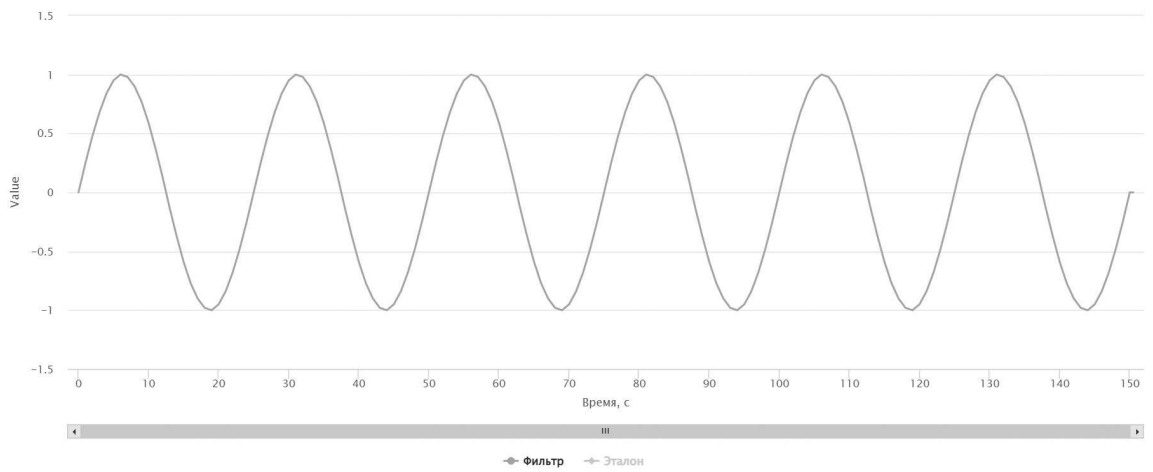


Рис. 8. График интерполированного сигнала

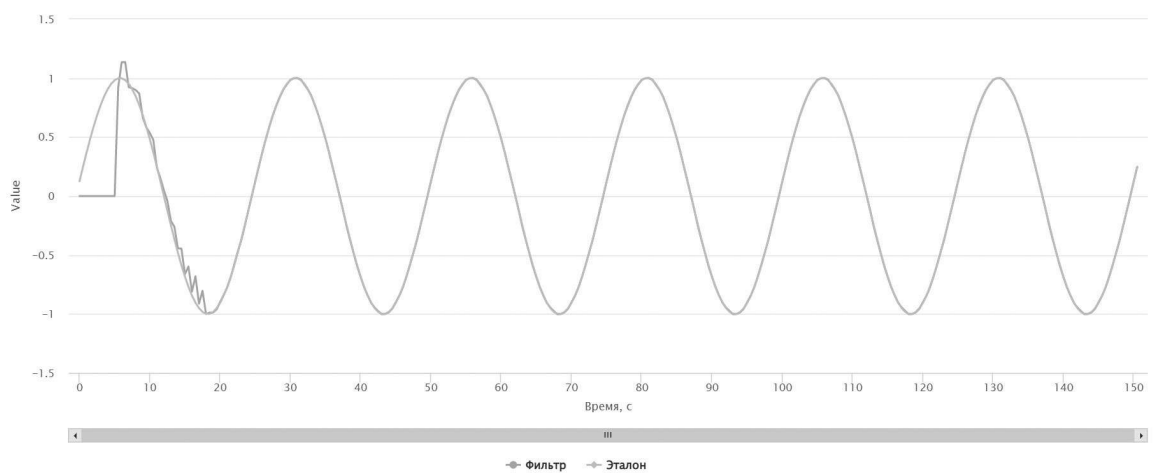


Рис. 9. График LMS-сигнала на фоне эталонного

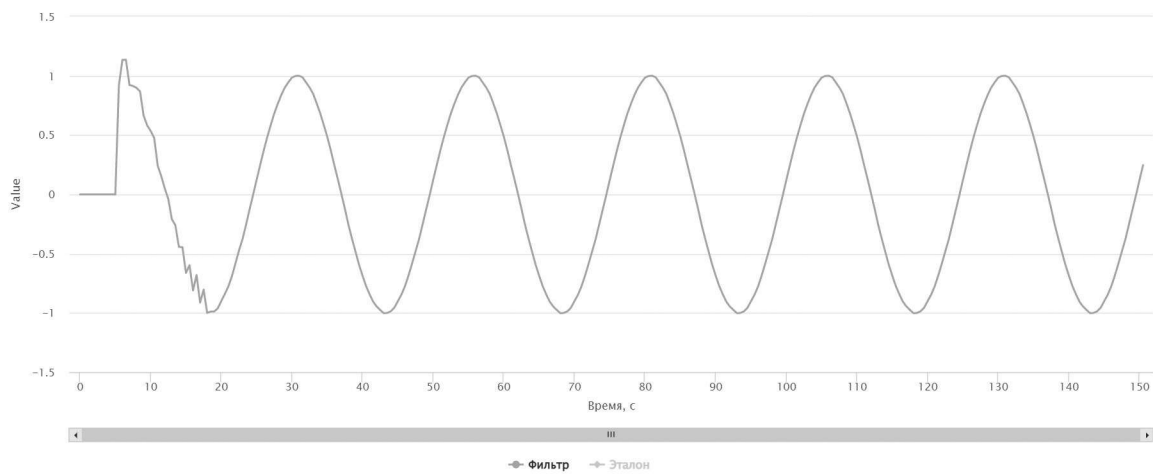


Рис. 9. График LMS-сигнала

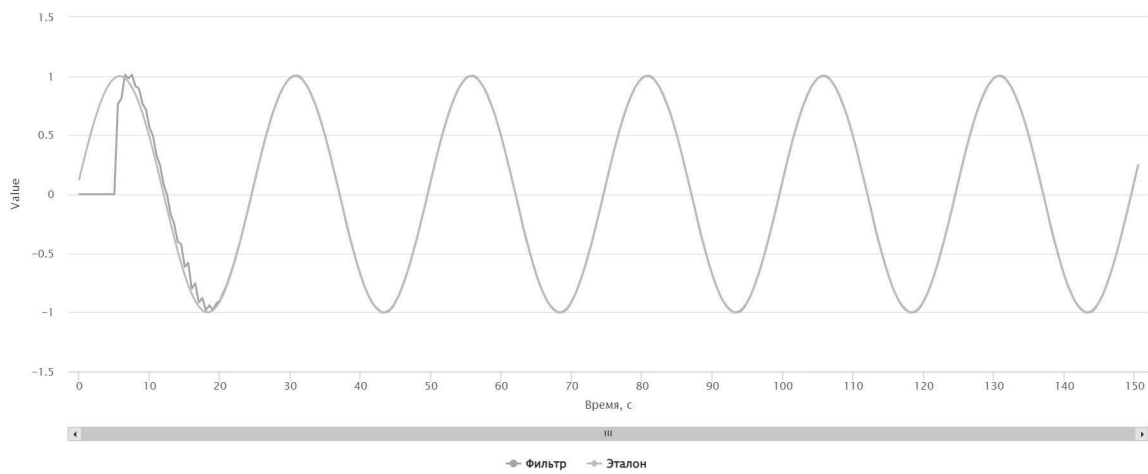


Рис. 10. График NLMS-сигнала

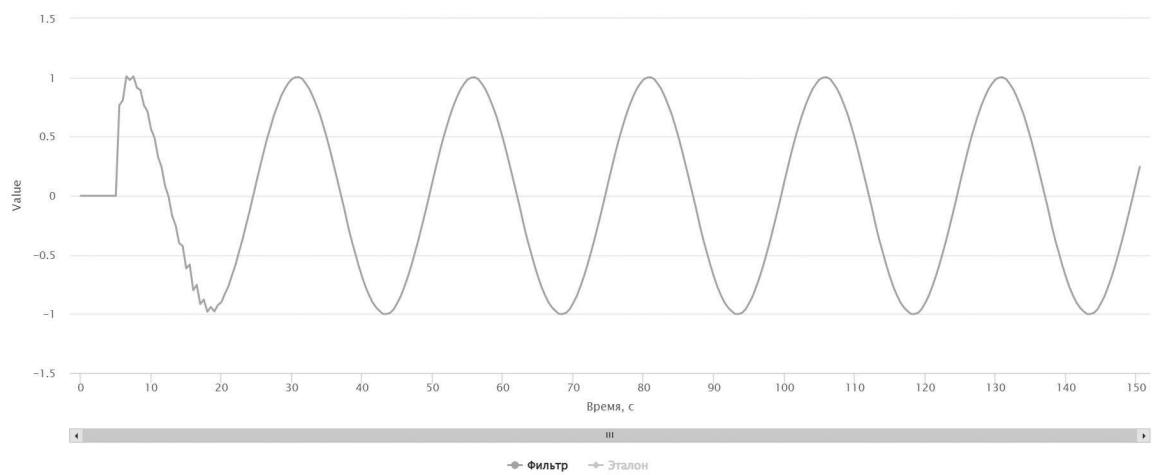


Рис. 11. График LMS-сигнала на фоне эталонного

Для оценки точности восстановления сигнала была рассчитана среднеквадратическая ошибка, которая в среднем составила 0,0012 для LMS, 0,00094 для NLMS, 0,00012 для интерполяции, эти значения соответствуют требованиям ГОСТ Р МЭК 60601-2-25-2016, регулирующего данную область.

В заключение можно сделать вывод о применимости алгоритмов адаптивной фильтрации в реальных системах телеметрии, которые могут значительно снизить нагрузку на сеть Интернета вещей. Тем не менее следует учитывать, что использование протокола GPRS может быть непрактичным в случае необходимости отправки большого количества запросов, в связи с большим временем на передачу данных. Оценка точности, полученная на данном этапе, указывает на возможность использования данного метода в системах медицинского Интернета вещей, которые имеют более строгие требования к точности.

Список использованной литературы

1. Vailshery L. S. Number of IoT connected devices worldwide 2019–2021, with forecasts to 2030 // Statista — The statistics portal. 2022. — URL: <https://www.statista.com> (Дата обращения: 31.03.2023).
2. Mohammad H. State of IoT 2022: Number of connected IoT devices growing 18% to 14.4 billion globally // IoT Analytics — analytics portal. 2022. — URL: <https://iot-analytics.com> (Дата обращения: 31.03.2023).
3. Бородин, А. С. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств / А. С. Бородин, А. Е. Кучерявый, А. И. Парамонов // Электросвязь. — 2018. — № 10. — С. 40–45.
4. Лоднева, О. Н. Анализ трафика устройств интернета вещей / О. Н. Лоднева, Е. П. Ромасевич // Modern Information Technologies and IT-Education, Vol. 14, no. 1, 2018 ISSN 2411-1473
5. Авдеев, В. В. Исследование методов оптимизации систем связи Интернета вещей / В. В. Авдеев, М. Е. Емельянова, Е. В. Прохорова // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : Сб. науч. трудов III Всероссийской с международным участием науч.-пр. конф., Сургут, 21–22 апреля 2022 года. — Москва : Издательство «Знание-М», 2022. — С. 404–410.
6. Глушко, А. А. Исследование структур комплексов систем автоматизации с использованием телеметрических интерфейсов / А. А. Глушко, К. Р. Поспелов // — 2021. — № 3. — С. 37–44.

УДК 621.391.883

Батенков К. А.

РТУ МИРЭА, г. Москва

ВИДЫ СКВОЗНЫХ ПУТЕЙ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ АНАЛИЗЕ КАЧЕСТВА
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

Аннотация. Представлено общее описание сквозного пути как набора объектов, занимающихся переносом целостной информации между конечными точками пути и состоящих из комбинации элементов пути.

Ключевые слова: *сеть связи, телекоммуникационная сеть, показатель качества, цифровой тракт, сквозной путь.*

Batenkov K. A.

RTU MIREA, Moscow

TYPES OF END-TO-END PATHS USED
IN QUALITY ANALYSIS
IN TELECOMMUNICATIONS

Abstract. A general description of the end-to-end path is presented as a set of objects engaged in the transfer of holistic information between the endpoints of the path and consisting of a combination of path elements.

Keywords: *communication network, telecommunication network, quality indicator, digital path, end-to-end path.*

Сквозной путь (*end-to-end path*) — набор объектов, занимающихся переносом целостной информации между конечными точками пути. Сквозной путь состоит из комбинации элементов пути (*path element*).

Элемент пути (*PE — path element*) — часть сквозного пути, определяющая готовность всего пути. Элементы пути определяются географическими, а не архитектурными соображениями, и их границы необязательно совпадают со скоростью передачи рассматриваемого сквозного пути. Например,

сквозной путь со скоростью 2 Мбит/с может физически включать элементы со скоростью 140 Мбит/с на международных участках [1, 4, 5].

Классификационные признаки элементов пути (рис. 1):

- географическое расположение в сети;
- длина;
- уровень качества.

Определены три различные географические категории элементов пути (рис. 1) [2, 3]:

- основной элемент межгосударственного пути (ICPCE — inter-country path core element);
- основной элемент международного пути (IPCE — international path core element);
- элемент национального пути (NPE — national path element).

Концептуальное расположение элементов пути показано на рисунке 2 (FS — frontier station — пограничный пункт, PEP — path end point — конечный пункт тракта, TIC — terminal international center — конечный международный центр).



Рис. 1. Классификационные признаки элементов пути PE

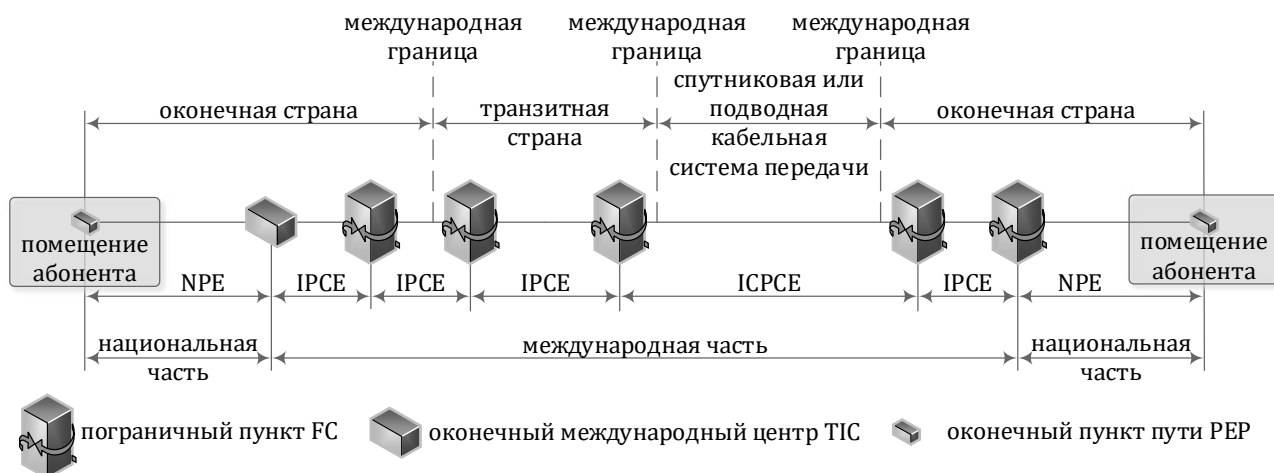


Рис. 2. Пример сквозного пути и его элементов [4]

Основной элемент межгосударственного пути ICPCE — элемент пути PE, переносящий информацию по цифровому пути высшего порядка через географическую границу между двумя странами. Этот элемент ограничен пограничными станциями FC, где может заканчиваться межгосударственный путь высшего порядка. Когда межгосударственный путь высшего порядка не заканчивается в пограничной станции FC, основной элемент межгосударственного пути ICPCE ограничивается точкой доступа межгосударственной секции. Пример основного элемента межгосударственного пути ICPCE приведен на рисунке 3. Он может использовать спутниковую, наземную или подводную кабельную систему передачи [6, 7]. В случае спутниковой системы передачи пограничная станция FS располагается на земной станции.

Основной элемент международного пути IPCE — элемент пути PE, используемый в базовой сети (core network) внутри одной страны. Граница элемента зависит от его применения. Для транзитной страны элемент ограничен двумя пограничными станциями FS, для конечной страны — международным шлюзом (IG — international gateway) и пограничной станцией FS.

Элемент национального пути NPE — элемент пути PE, используемый в конечной стране для соединения международной части и конечного пункта пути PER.

Определены три категории уровней качества (рис. 1):

- стандартный;
- высокий;
- преимущественный.

Преимущественный уровень качества не имеет определенных значений готовности, но может использоваться для резервирования другого пути. Стандартный уровень качества обладает минимальными требованиями, высокий — более жесткими требованиями, чем средний. Потребители могут договориться о любом уровне готовности для любого конкретного сквозного пути посредством договора об уровне обслуживания SLA.

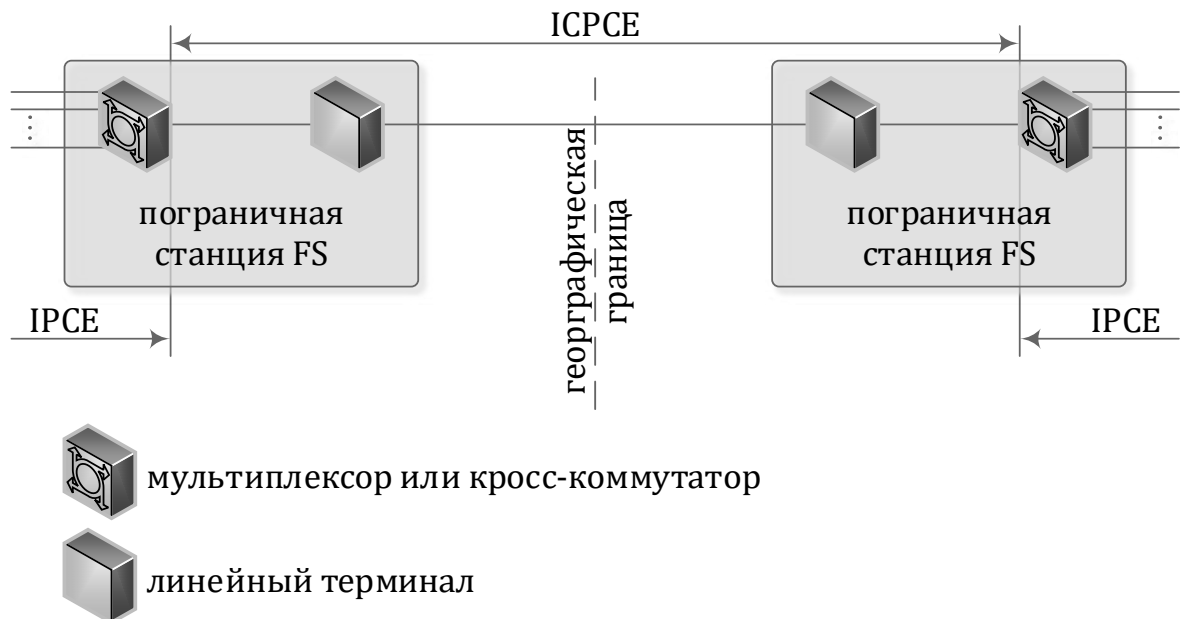


Рис. 3. Пример основного элемента межгосударственного пути ICPCE

Список использованной литературы

1. Rec. G.233. Recommendations concerning translating equipments. — 1993. — Geneva : ITU-T, 1993. — 13 p.
2. Rec. G.821. Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an Integrated Services Digital Network. — 2002–12. — Geneva : ITU-T, 2002. — 18 p.
3. Rec. G.826. End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections. — 2002–12. — Geneva : ITU-T, 2002. — 34 p.
4. Rec. G.827. Availability performance parameters and objectives for end-to-end international constant bit-rate digital paths. — 2003–09. — Geneva : ITU-T, 2003. — 26 p.
5. Батенков, А. А. Анализ вероятности связности телекоммуникационной сети на основе инверсий ее состояний / А. А. Батенков, К. А. Батенков,

А. Б. Фокин // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. — 2022. — № 59. — С. 91–98. <https://doi.org/10.17223/19988605/59/10>.

6. Батенков, А. А. Формирование сечений телекоммуникационных сетей для анализа их устойчивости с различными мерами связности / А. А. Батенков, К. А. Батенков, А. Б. Фокин // Информатика и автоматизация. — 2021. — Т. 20. № 2. — С. 371–406. <https://doi.org/10.15622/ia.2021.20.2.5>.

7. Батенков, К. А. К вопросу оценки надежности двухполюсных и многополюсных сетей связи / К. А. Батенков // Успехи современной радиоэлектроники. — 2017. — С. 604.

УДК 621.396.6

Дёмко А. И.⁵

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

г. Сургут

Аннотация. Современные радиотехнические системы широко используют сочетание аналоговых и цифровых методов формирования и обработки сигналов, что обеспечивает реализацию как известных, так и принципиально новых алгоритмов функционирования. Целью статьи является рассмотрение программно-определяемого радиоприемника. В статье рассмотрен вариант радиоприемника, сочетающего аналоговые и цифровые узлы. Представленные результаты могут быть использованы в радиолокации и связи.

Ключевые слова: алгоритм, линейная часть приемника, сигнальный процессор.

Dyomko A. I.

Surgut State University KMAO-Ugra, Surgut

SOFTWARE-DEFINED COMPONENTS RADIO ENGINEERING SYSTEMS

Surgut

Abstract. Modern radio engineering systems widely use a combination of analog and digital methods for generating and processing signals, which ensures the implementation of both well-known and fundamentally new algorithms for functioning. The purpose of the article is to consider a programmatically defined radio receiver. The article considers a variant of a radio receiver combining analog and digital nodes. The presented results can be used in radar and communications.

⁵ А. И. Дёмко — кандидат технических наук, доцент, Почетный работник высшего образования РФ.

Keywords: *algorithm, receiver linear part, signal processor.*

Совокупность средств и приборов, соединенных между собой и предназначенных для целенаправленного выполнения задачи (ряда задач), связанных с передачей, извлечением, преобразованием или разрушением информации, образуют радиотехническую систему (РТС).

Аналоговые РТС содержат усилители, преобразователи частоты, модуляторы, демодуляторы, фильтры, детекторы и другие аналоговые элементы. С развитием цифровых технологий часть составляющих РТС стали реализовываться с помощью цифровых устройств (аппаратное) или программ на вычислительных устройствах (алгоритмически). Это способствует появлению аналогово-цифровых РТС. Очевидно, что предельным случаем являются цифровые РТС, в которых все операции реализуются на основе цифровых устройств или вычислительных алгоритмов.

В современной научно-технической литературе используется термин «программно-определяемая радиосистема» (ПОР или SDR — Software Defined Radio) [5; 6; 7] для обозначения систем, в которых с помощью программного обеспечения можно задавать рабочие параметры: диапазон частот, вид модуляции, колебательную мощность, частоты среза фильтров. В общем случае принадлежность к SDR могут иметь как радиотехнические системы в целом (радиолокатор, радиопеленгатор и др.), так и отдельные устройства (усилитель, радиоприемник, радиопередатчик и др.).

SDR-системы имеют в своем составе АЦП и ЦАП, между которыми содержатся модули цифровых элементов или алгоритмов. Объем составляющих РТС, которые реализуются при этом аналоговым образом, не регламентируются в SDR. В любом случае аналоговыми элементами остаются приемная антенна, высокочувствительные входные устройства радиоприемника, выходные мощные каскады радиопередатчика и передающая антенна.

Идеальный цифровой радиоприемник содержит антенну и АЦП с передачей цифрового потока в сигнальный процессор, программное обеспечение которого обрабатывает и преобразует поток данных в требуемый звуковой вид (рис. 1 а). Идеальный радиопередатчик состоит из микрофона, АЦП, сигнального процессора и ЦАП, подключенного к антенне (рис. 1 б).

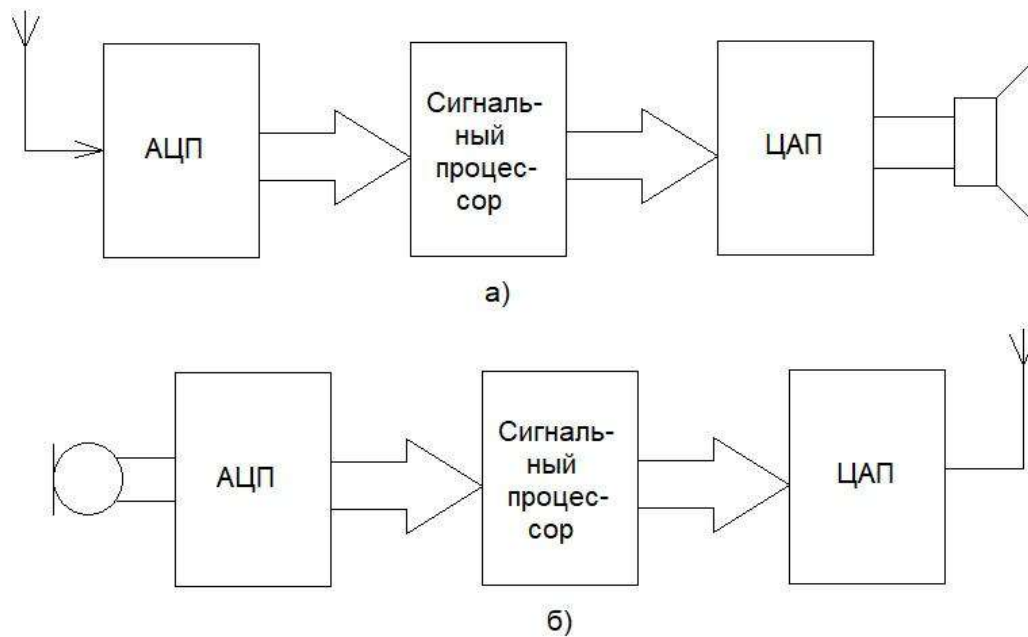


Рис. 1. Обобщенные структурные схемы SDR-устройств

Однако подобные идеальные цифровые устройства не могут быть полностью построены сегодня с учетом достигнутых уровней техники и технологии. Основные проблемы при этом — сложность преобразования в цифровую форму с высокой скоростью и точностью одновременно, сложность формирования узкополосного мощного радиосигнала исключительно цифровыми методами.

SDR-системы [2; 9] могут иметь существенно расширенные возможности по сравнению с аналогичными аналоговыми РТС:

1. Несколько радиопередатчиков могут работать в одной местности в одном диапазоне частот с отсутствием (или небольшими) взаимными помех за счет расширения спектра и использования широкополосных и сверхширокополосных сигналов.

2. Программно-определяемые антенны с адаптивным изменением направления приема (передачи).

3. Когнитивные радиометоды предполагают, что каждая радиостанция анализирует спектр рабочего диапазона и передает эту информацию другим абонентам сети, чтобы передатчики могли избежать взаимных помех путем выбора минимально загруженного участка частот. В другом варианте радиостанции используют базу данных геолокации для получения информации о территориальной загрузке спектра и изменяют несущую частоту

и/или излучаемую мощность для минимизации помех другим беспроводным службам.

4. Динамическая регулировка выходной мощности радиопередатчика на основе информации, принимаемой радиоприемниками, позволяет снизить излучаемую мощность до минимально необходимой, уменьшить проблему «ближний/дальний» и уменьшить взаимные помехи, а также увеличить срок службы источников питания.

5. Ячеистая сеть, в которой каждая добавленная радиостанция увеличивает общую пропускную способность и снижает потребляемую мощность на любом узле. Каждый узел использует мощность передатчика, минимально достаточную для того, чтобы сообщение было передано к ближайшему узлу, уменьшая проблему «ближний/дальний» и уменьшая помехи другим.

Оптимальное соотношение доли цифровых и аналоговых составляющих на современном уровне развития науки и технологий следует рассматривать как отдельные SDR-радиоприемники и SDR-радиопередатчики. Поскольку техника формирования модулированных колебаний в большой степени зависит от вида модуляции, то рассмотрим структуру SDR-радиоприемника, обеспечивающего максимально возможный функционал и высокие качественные показатели (отсутствие необходимости настройки при производстве, цифровые АРУ и АПЧ).

Обобщенная структурная схема SDR-радиоприемника представлена на рис. 2.



Рис. 2. Обобщенная структурная схема SDR-радиоприемника

SDR-радиоприемник содержит аналоговый радиочастотный блок и аналоговые низкочастотные усилители мощности — остальные преобразования выполняются с учетом ЦАП и АЦП в цифровом виде микроконтроллером или с помощью соответствующей программы персональным компьютером. Структура радиочастотного блока определяется параметрами и назначением радиоприемника. Выпускаются специализированные микросхемы многофункциональных радиочастотных модулей для аналоговых (АМ, ФМ, ОБП) и цифровых (DAB, DVB, DVB-T) систем вещания.

В качестве примера на рис. 3 изображена функциональная схема аналоговой части SDR-радиоприемника на основе микросхемы MSi001 (Mirix).

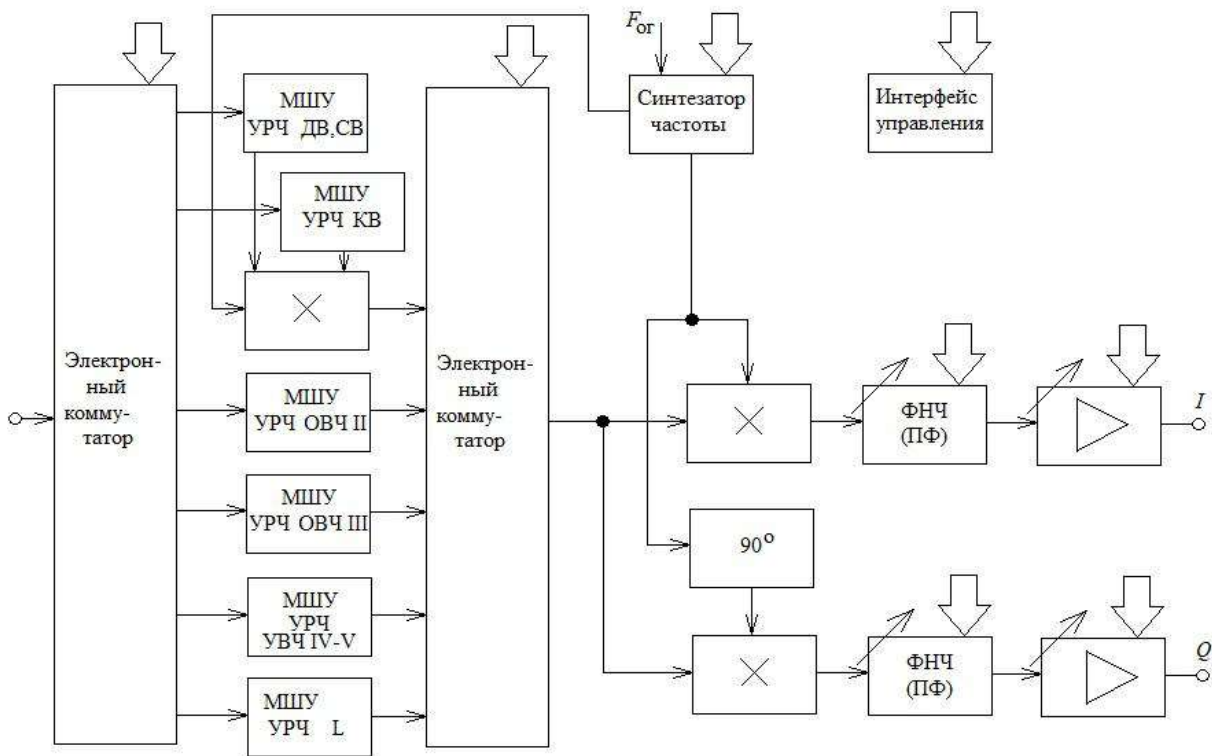


Рис. 3. Структурная схема микросхемы MSi001 фирмы Mirix

Входной сигнал [1; 3; 4] поступает на первый электронный коммутатор микросхемы, который в зависимости от установленной частоты принимаемого сигнала подключает один из полосовых малошумящих усилителей радиочастоты МШУ УРЧ:

- диапазон длинных и средних волн ДВ, СВ (153–1705 кГц);
- диапазон коротки волн КВ (вещательный, включая любительские: 1,81–29,7 МГц);

- диапазон очень высоких частот ОВЧ I (48,5–66 МГц);
- диапазон очень высоких частот ОВЧ II (вещательные, включая авиационный и другие специальные: 76–174 МГц);
- диапазон очень высоких частот ОВЧ III (174–470 МГц);
- диапазон ультравысоких частот УВЧ IV-V (470–950 МГц);
- L-диапазон (1000–2000 МГц).

Выходной сигнал одного из полосовых малошумящих усилителей проходит на выход второго электронного коммутатора, причем сигналы первых двух малошумящих усилителей предварительно проходят через повышающий преобразователь частоты.

На вход малошумящих УРЧ может поступать множество радиосигналов, частоты которых попадают в полосу фильтра, поэтому МШУ УРЧ, а также следующий за ним преобразователь частоты должны обладать высокой линейностью для исключения нелинейных эффектов в виде блокирования, интермодуляционных и перекрестных искажений.

Основные преимущества SDR-структуры заключаются в том, что не требуется высокочастотного неперестраиваемого или перестраиваемого усилителя промежуточной частоты.

При большой величине промежуточной $f_{\text{ПЧ}}$ частоты частота зеркального $f_{\text{ЗК}}$ канала находится намного выше частоты принимаемого $f_{\text{С}}$ сигнала, так как $f_{\text{ЗК}} = f_{\text{С}} + 2f_{\text{ПЧ}}$ (если частота гетеродина $f_{\text{Г}} = f_{\text{С}} + f_{\text{ПЧ}}$ выше, чем частота сигнала $f_{\text{Г}} > f_{\text{С}}$, либо $f_{\text{ЗК}} = f_{\text{С}} - 2f_{\text{ПЧ}}$, когда $f_{\text{Г}} = f_{\text{С}} - f_{\text{ПЧ}}$). При этом нет необходимости устанавливать в преселекторе радиоприемника перестраиваемый полосовой фильтр, а требуемое подавление зеркального и других дополнительных каналов приема можно обеспечить, применив ФНЧ с частотой среза, равной верхней частоте выбранного диапазона, или полосовой фильтр с полосой пропускания, перекрывающий данный рабочий диапазон.

На рис. 4 представлен внешний вид SDR-радиоприемника (программная часть реализована на персональном компьютере — ПК), подключаемого к ПК по интерфейсу USB Type-C. Входной электронный коммутатор здесь отсутствует, поскольку каждый поддиапазон имеет отдельный входной разъем SMA.

На рис. 5 представлен внешний вид интерфейса программы SDRuno для работы с этим SDR-радиоприемником. В окне программы присутствуют элементы установки частоты принимаемого сигнала, вида модуляции

и параметров АЦП-преобразования. Присутствуют стрелочный и численный измеритель уровня принимаемого сигнала, окно отображения спектра принимаемого сигнала шириной до 10 МГц и временная функция спектра (так называемый «водопад»).



Рис. 4. SDR-радиоприемник с программной частью, реализованной на внешнем ПК

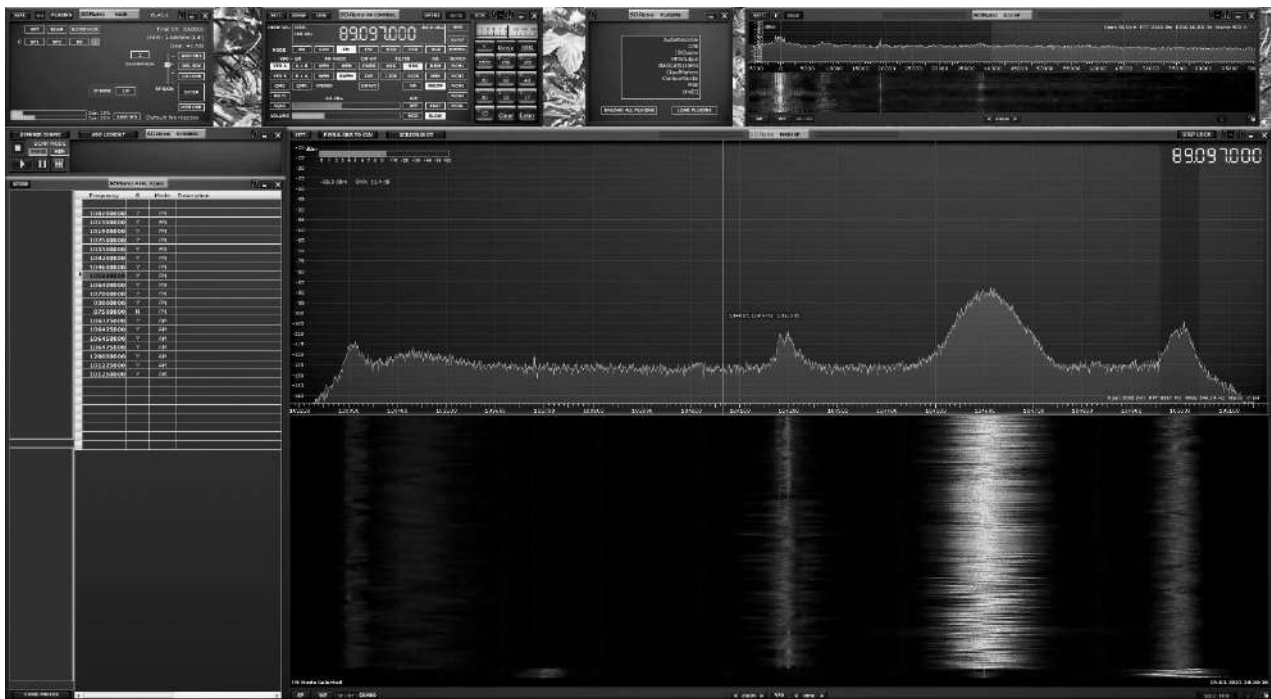


Рис. 5. Интерфейс программы SDRuno

На рис. 6 представлен отечественный вариант практической реализации SDR-приемника [8] «Малахит DSP» (модификации 1, 2 или 3). На ЖК-экране

радиоприемника присутствуют все рассмотренные выше сервисные и визуальные элементы.



Рис. 6. Внешний вид радиоприемника «Малахит DSP2»

Малахит DSP2 представляет собой портативное устройство с широким диапазоном частот (от 50 кГц до 380 МГц и от 400 МГц до 2 ГГц), большим набором видов демодулированных сигналов (AM, SSB, DSB, CW, NFM, WFM) с поддержкой RDS и стереоприема, что позволяет принимать как радиовещательные, так и радилюбительские станции, включая автоматическое декодирование телеграфных сигналов с выводом текста на экран.

Особенности позволяют очень просто их адаптировать к использованию в учебном процессе в вузах, имеющих связные направления подготовки. В частности, на основе SDR-приемника «Малахит DSP» могут быть без дополнительных доработок реализованы лабораторные работы:

- исследование приемника с ЦОС;
- исследование АМ-приемника;
- исследование ЧМ-приемника;
- исследование ОМ приемника;
- исследование системы АРУ приемника;
- исследование односигнальной и многосигнальной избирательности приемника;
- исследование аттенюатора приемника;
- исследование НЧ и ВЧ-фильтров приемника;

- измерение чувствительности и динамического диапазона приемника;
- исследование работы шумоподавителя приемника.

Выводы.

Программно-определяемые радиосистемы и устройства являются новой ступенью развития радиотехнических систем и устройств, просто адаптируемых для использования в учебном процессе для лабораторных практикумов.

Динамика развития программно-определяемых радиосистем и устройств способствует уменьшению числа и объема технических составляющих и усложнению доли программного обеспечения.

Производство программно-определяемых радиосистем и устройств более технологично, поскольку может производиться существенно длительнее по сравнению с непрограммируемыми схемотехническими изделиями.

Список использованной литературы

1. Галкин, В. А. Основы программно-конфигурируемого радио / В. А. Галкин. — М. : Горячая линия–Телеком, 2013. — 372 с.
2. Кацнельсон, Л. Н. Построение DAB-радиоприемников / Л. Н. Кацнельсон, Л. П. Козлова // Журнал «Broadcasting. Телевидение и радиовещание». — №7. — 2007. — С. 51–57. — URL: http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/postroen_dav_radiopriemn.
3. Кацнельсон, Л. Н. Цифровые радиовещательные приемники. Ч. 1. Журнал «Broadcasting. Телевидение и радиовещание». — № 6. — 2009. — С. 37–39. — URL: <http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/cifrovyeradioveshatelnye-priemniki-1>.
4. Кацнельсон, Л. Н. Цифровые радиовещательные приемники. Ч. 2. Журнал «Broadcasting. Телевидение и радиовещание». — № 1. — 2010. — С. 19–21. — URL: <http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/cifrovyeradioveshatelnye-priemniki-2>
5. Keim R. Introduction to Software-Defined Radio. — URL: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/introduction-to-software-defined-radio/>.
6. Программно определяемая радиосистема. Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE_%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%

8F_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0.

7. Программно-определяемое радио — Software-Defined Radio. — URL: https://ru.wikibrief.org/wiki/Software-defined_radio.

8. Радиоприемник «Малахит». — URL: <https://malahiteam.com/>.

9. Список программно-определяемых радиомодулей — List of software-defined radios. — URL: https://ru.wikibrief.org/wiki/List_of_software-defined_radios.

УДК 654

Дехконов Д. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ
В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности эксплуатации оборудования в нефтегазовой отрасли путем установки датчиков и построения беспроводных сенсорных сетей. Внедрение данной технологии позволяет осуществлять непрерывный мониторинг составных частей оборудования и оперативно получать четкую и достоверную информацию о техническом состоянии оборудования. Анализ полученных данных позволяет оперативно выявлять и устранять ошибки и неисправности оборудования, тем самым предотвращая отказы и аварии.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, сенсорный датчик, мониторинг, проникающие сенсорные сети.

Dekhkonov D. A.

Surgut State University, Surgut

APPLICATION OF WIRELESS SENSOR NETWORKS
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Surgut

Abstract. The article discusses the issues of improving the efficiency of equipment operation in the oil and gas industry by installing sensors and building wireless sensor networks. The introduction of this technology allows for continuous monitoring of the components of the equipment and promptly obtain clear and reliable information about the technical condition of the equipment. Analysis of the received data allows you to quickly identify and

eliminate errors and equipment malfunctions, thereby preventing failures and accidents.

Keywords: *wireless sensor networks, touch sensor, monitoring, penetrating sensor networks.*

Организации нефтегазовой сферы стремятся использовать новейшие технологии, которые нацелены на увеличение результативности и безопасности технологических процессов, а также уменьшение издержек. В большинстве случаев оборудование, используемое в данной отрасли, устанавливается в местности с агрессивными условиями окружающей среды (низкие температуры, высокая влажность, вибрации и др.), поэтому необходимо построение распределенных систем сбора информации и непрерывной регистрации данных. Компонентами систем мониторинга выступают датчики — средства измерений, которые вырабатывают сигналы измерительной информации в форме, комфортной для трансляции, последующего преобразования, хранения и обработки, но не поддающейся прямому восприятию наблюдателем. При этом передача этой информации выполняется по кабельной эстакаде, на строительство которой необходимы значительные материальные издержки, так как часто нефтегазовые объекты находятся в труднодоступной местности и распределены на большой территории в несколько километров. Также при таком способе передачи информации операция по проведению мониторинга выполняется обслуживающим персоналом, что является неэффективным, так как сбор информации не всегда точен и протекает достаточно медленно [1].

Наилучшим путем решения вышеизложенных проблем и заменой проводным системам сбора и передачи данных является внедрение технологии беспроводных сенсорных сетей. Под беспроводной сенсорной сетью (БСС) понимается обширная, самоорганизующаяся сеть, состоящая из множества миниатюрных сенсорных узлов (датчиков), объединенных между собой радиоканальной связью, которая обеспечивает непрерывный мониторинг и запись явлений, процессов и характеристик оборудования и осуществляет организацию собранных данных в центральном месте. Зоны действия подобных сетей могут достигать больших размеров (до нескольких километров) благодаря возможности осуществлять ретрансляцию сообщений от одного элемента к другому [2].

Достоинства БСС:

- 1) ограничения по размещению беспроводных устройств минимальны;
- 2) дешевизна монтажа, пуско-наладки и технического обслуживания подобных систем;
- 3) удобство технического обслуживания системы;
- 4) вероятность установки датчиков на уже существующий и эксплуатирующийся объект без вспомогательных работ по прокладке проводной сети;
- 5) длительный срок автономной работы (1 год и более);
- 6) наивысшая отказоустойчивость БСС в целом;
- 7) способность самоорганизации сети передачи информации и ее адаптация к численному составу устройств;
- 8) возможность создания диспетчерской системы, которая гарантирует оператору постоянный доступ к информации о техническом состоянии обслуживаемых объектов.

Требования, предъявляемые к построению БСС, представлены различными международными стандартами типа IEEE 802.4, которые регламентируют для каналов передачи данных протоколы физического, канального и сетевых уровней. На производственном объекте устанавливаются сенсорные технические датчики и исполнительные агрегаты, которые образуют «нижний уровень» беспроводной системы контроля и управления системой. Датчики коммутируются с устройствами сопряжения, которые выполняют функции приема, обработки и передачи информации, обеспечивая промежуточное буферирование данных и выполняя управляющие алгоритмы. Структурная схема БСС представлена на рис. 1 [4].

Сенсорные датчики, которые включены по беспроводным технологиям, применяют как проникающие сенсорные сети (ПСС) с малой скоростью передачи данных (Radio Frequency Identification, ZigBee, Bluetooth и Wi-Fi), так и спутниковые коммуникационные системы с наивысшей скоростью передачи данных. Проникающие сенсорные сети (Ubiquitous Sensor Network, USN) причисляются к интеллектуальному типу: они обладают динамической топологией с узловой неоднородностью и могут располагаться в любом месте в огромных масштабах. Такие сети включают в себя небольшие узлы датчиков и имеют минимальные требования к питанию, они мобильны и могут выдерживать агрессивные условия окружающей среды [3].



Рис. 1. Структурная схема БСС

Состав проникающих сенсорных сетей (ПСС):

- 1) сеть датчиков (совокупность датчиков и источников питания, нужных для передачи данных);
- 2) сетевая инфраструктура;
- 3) устройства допуска к ПСС (промежуточные узлы, собирающие информацию от группы датчиков);
- 4) переходная система ПСС (программное обеспечение для сбора и обработки информации);
- 5) платформа приложений ПСС [5].

Преимущественно главные области использования беспроводных сенсорных сетей (БСС) в нефтегазовой отрасли:

- разработка трубопроводов;
- исследование вибраций оборудования;
- автоматизация бурильных установок;
- мониторинг резервуарного парка;
- сейсмические исследования;
- скважинные измерительные датчики;
- контроль структурной целостности;
- анализ коррозии [3].

В нынешних тенденциях БСС — одни из лучших беспроводных технологий мониторинга и контроля за техническим состоянием оборудования нефтегазовой отрасли. С помощью данных сетей станет возможным мониторинг и контроль работы оборудования на отдаленных труднодоступных участках местности, сбор и передача данных будет осуществляться в диспетчерские системы, то есть анализ информации будет осуществляться не обслуживающим персоналом на месторождении, а более квалифицированным персоналом. Это позволит заблаговременно выявлять ошибки и отклонения работы оборудования от нормального режима, что позволит вносить корректировки в работу оборудования в реальном времени, предотвращая тем самым отказы и аварии. Благодаря БСС увеличивается эффективность эксплуатации оборудования, срок службы, сбережение ресурсов, а также экономическая составляющая. В дальнейшем с развитием беспроводных технологий, ростом их эксплуатационных качеств и понижением их стоимости станет доступной возможность полностью отказываться от проводных систем мониторинга и диагностики состояния оборудования и постепенно переходить на беспроводные сенсорные сети повсеместно.

Список использованной литературы

1. Опыт применения беспроводных технологий в промышленности [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.emerson.com>. (Дата обращения: 13.04.2023)
2. Терентьев, М. Н. Метод функционирования систем мониторинга параметров объектов с изменяемой конфигурацией на базе дискретных беспроводных сенсорных сетей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.15 / М. Н. Терентьев. — Москва, 2010. — 154 с.
3. Преимущества развертывания сенсорных сетей в нефтегазовой индустрии [Электронный ресурс] / CONTROL ENGINEERING РОССИЯ. — 2015. — С. 34. — URL: https://controleng.ru/wp-content/uploads/CE357_Web_ALL.pdf. (Дата обращения: 13.04.2023)
4. Применение беспроводных решений и технологий в цифровой нефтегазовой добыче [Электронный ресурс]. — URL: <https://magazine.neftegaz.ru/>. (Дата обращения: 13.04.2023)
5. Лихтциндер, Б. Я. Беспроводные сенсорные сети: учебное пособие для вузов / Б. Я. Лихтциндер, Р. В. Киричек, Е. Д. Федотов [и др.] — 2020. — 236 с.

УДК 621

Емельянова М. Е., Прохорова Е. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ
СИГНАЛОВ ЭКГ

г. Сургут

Аннотация. В работе проводится расчет размерности фильтра и шага адаптации для LMS-фильтра. Анализ результатов проводится путем сравнения переданного и принятого сигнала методом среднего квадратичного отклонения. Работа может использоваться для нахождения основных характеристик адаптивного фильтра.

Ключевые слова: *размерность фильтра, шаг адаптации, адаптивный фильтр, электрокардиограмма, метод среднего квадратичного отклонения, MatLab.*

Emelianova M. E., Prokhorova E. V.

Surgut State University, Surgut

CALCULATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS
OF THE ADAPTIVE FILTER IN ECG SIGNAL
PROCESSING SYSTEMS

Surgut

Abstract. The paper calculates the dimension of the filter and the adaptation step for the LMS filter. The analysis of the results is carried out by comparing the transmitted and received signal by the mean square deviation method. It can be used to find the main characteristics of an adaptive filter.

Keywords: *filter dimension, adaptation step, adaptive filter, electrocardiogram, mean square deviation method, MatLab.*

Цель работы — основные характеристики фильтра для ЭКГ-сигнала.

На сегодняшнее время количество устройств, передаваемых данные по беспроводным каналам связи, постоянно растет. Множество людей работают и исследуют проблему увеличения нагрузки на беспроводные сети связи. Это исследуют и в работе [1], предполагая, что к 2030 году количество устройств интернета вещей достигнет 1 млн на 1 кв. км.

В другой работе [8] представлены данные, что одно устройство интернета вещей может передавать объем данных от 98 до 590 бит/с. В случае подключения к базовой станции 1 млн устройств нагрузка может доходить до 590 Мбит/с.

Из таблицы 1 ясно, что LTE-M обладает наибольшей скоростью передачи данных в настоящее время — 1 Мбит/с, что составляет лишь 1/98 от прогнозируемой минимальной нагрузки.

Таблица 1. — Анализ стандартов Интернета вещей

Стандарт	Скорость передачи, Мбит/сек (Кбит/сек)		
IEEE 802.15.4	Частота		
6LoWPAN	868 МГц	915 МГц	2,4 ГГц
	20 кбит/с	40 кбит/с	250 кбит/с
NB-Fi	10–100 бит/с		
RMPA	2 Кбит/с		
LTE-M	1 Мбит/с		
Weightless	100 бит/с		
UNB (Sigfox)	100 бит/с		
LoRaWAN RU	300 бит/с-50Кбит		
NB-IoT	200 Кбит/с		

Из проведенных исследований следует, что существующие протоколы неспособны справиться с возрастающей нагрузкой на беспроводные системы передачи данных. В связи с этим необходимо искать пути для уменьшения объемов передаваемого трафика.

Как вариант решения проблемы можно использовать метод снижения количества отчетов на передающей стороне и восстановления их на приемной. В этом случае возникает проблема подбора характеристик фильтра для восстановления сигнала.

Для подбора размерности фильтра и шага адаптации было взято 1000 отчетов исходного ЭКГ, которые были выгружены в программную среду MatLab. После сигнал был зашумлен в соотношении сигнал/шум равным 30 дБ.

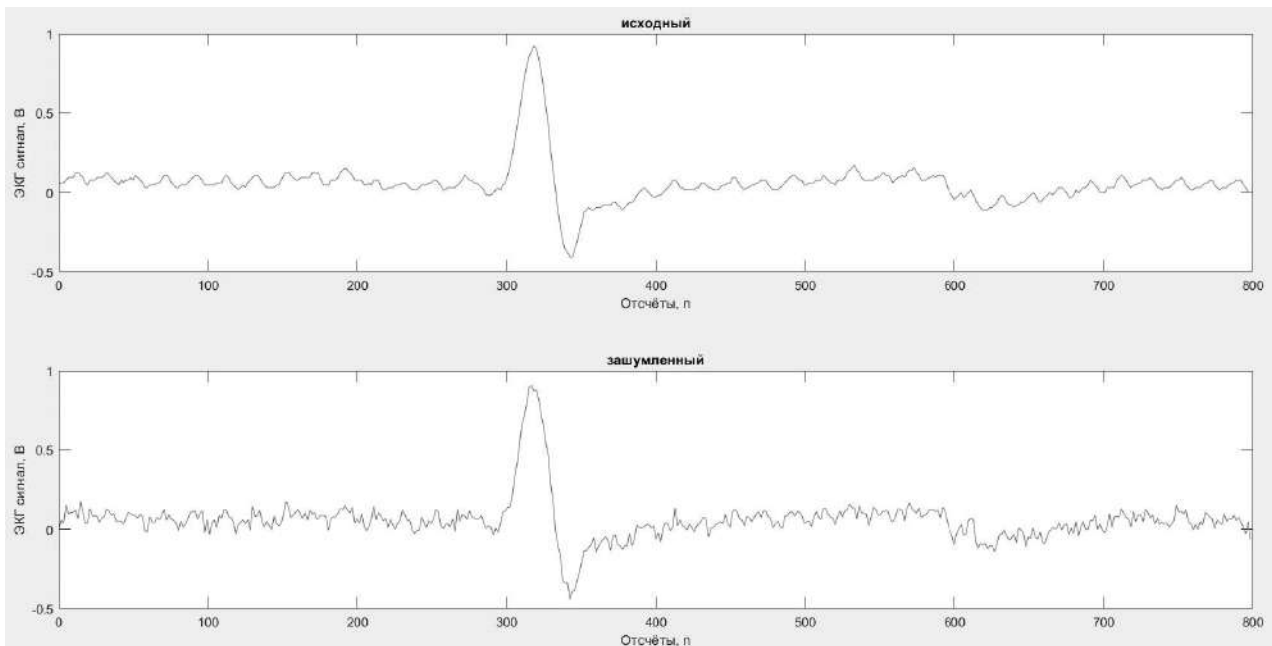


Рис. 1. Исходный и зашумленный сигнал

Далее использовался LMS-фильтр. Для расчета его характеристик был написан код, в котором сперва производился подбор размерности фильтра, используя в качестве шага адаптации его максимальное значение, при котором фильтр будет работать стабильно. Для определения наилучшего коэффициента размерности фильтра использовался способ сравнения сигналов методом среднего квадратичного отклонения. Чтобы получить более точное значение характеристик фильтра, весь алгоритм подбора повторялся с разным значением шума 10 раз. Как видно из таблицы 2, размерность фильтра для выбранного сигнала равна 2.

Таблица 2. — Результаты исследования размерности фильтра

размерность фильтра	1	2	3	4	5	...	99	100
ср. кв. отклонение	0,0027	0,0023	0,0039	302,01	$12 \cdot 10^6$...	$2 \cdot 10^{256}$	$7 \cdot 10^{258}$

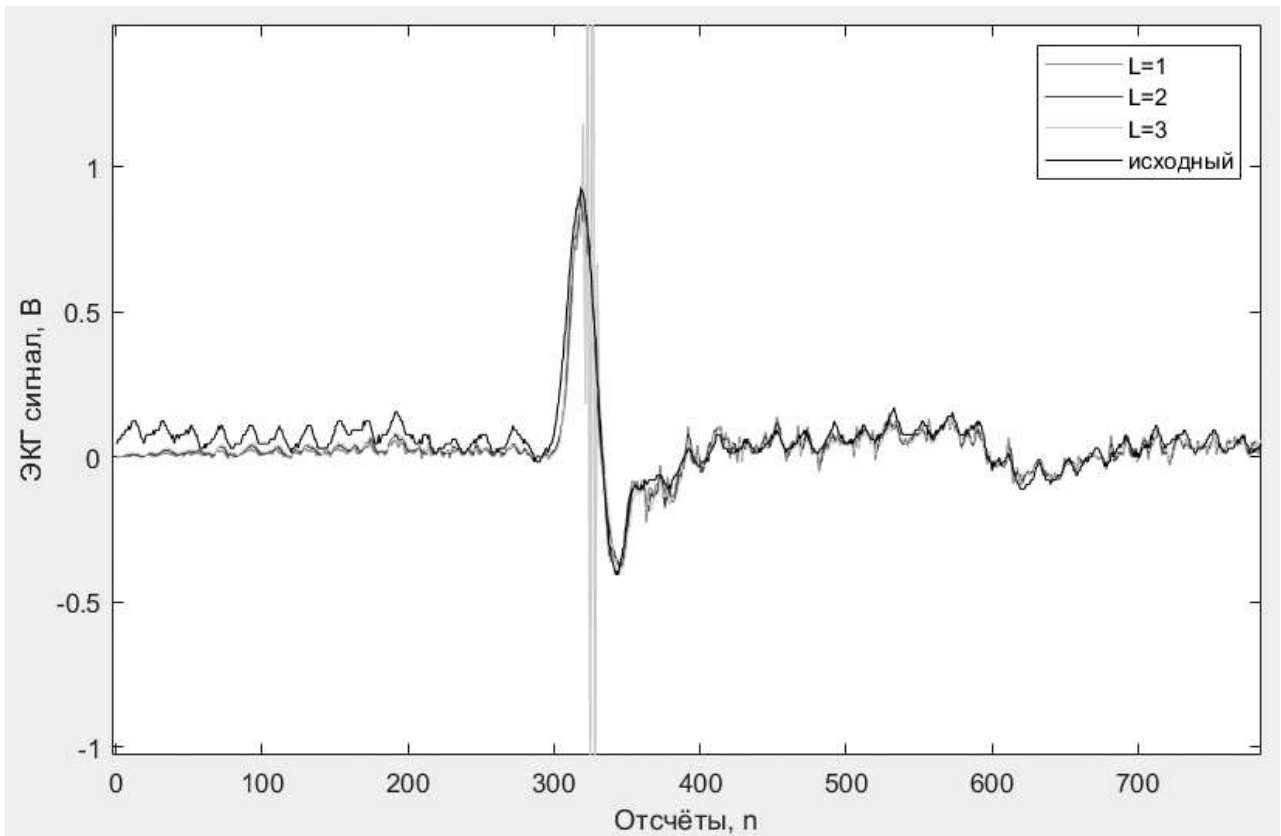


Рис. 2. Исходный и восстановленный сигнал с разной размерностью фильтра

Далее на основе выбранной размерности рассчитывается шаг адаптации фильтра. Для его определения также использовался метод среднего квадратичного отклонения. Для подбора шага адаптации брались значения от 0.0001 с шагом 0.0005 и до его максимального значения при еще стабильной работе фильтра. Весь алгоритм подбора также повторялся 10 раз. Полученный шаг адаптации равен 0,9686, что видно из таблицы 3.

Таблица 3. — Результаты исследования шага адаптации

шаг адаптации	0,0001	...	0,3226	...	0,6476	...	0,9681	0,9686
ср. кв. отклонение	0,0199552	...	0,0028581	...	0,0025308	...	0,0023978	0,0023977

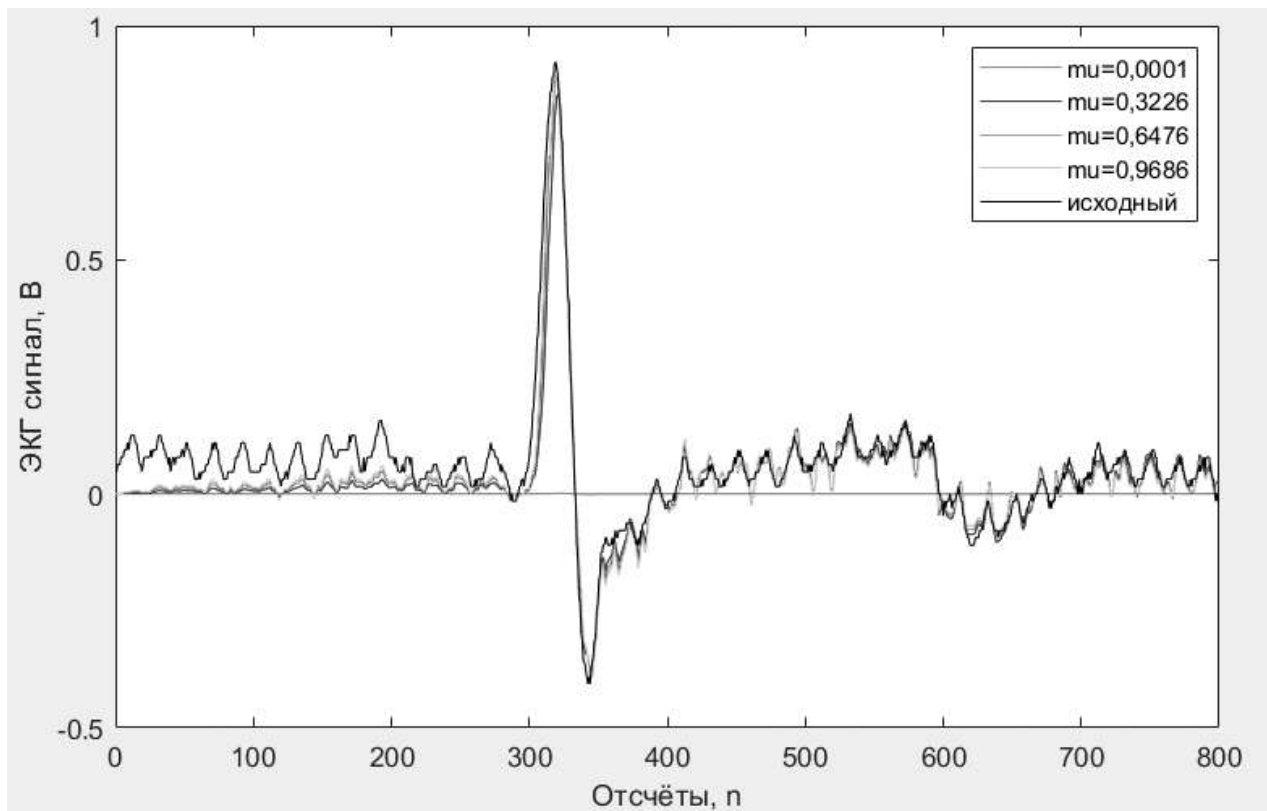


Рис. 3. Исходный и восстановленный сигнал с разным шагом адаптации

Для анализа результатов использовался метод среднего квадратичного отклонения, который был равен 0,0024.

В результате работы было доказано, что метод среднего квадратичного отклонения можно использовать для подбора характеристик адаптивного фильтра, предназначенного для обработки сигнала ЭКГ.

Список использованной литературы

1. Волков, А. Н. Сети связи пятого поколения на пути к сетям 2030 / А. Н. Волков, А. С. А. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2020. — Том 8, № 2. — С. 32–43.
2. Зайцев, В. Особенности мультисервисного трафика с учетом сообщений, создаваемых устройствами IoT / В. Зайцев, Н. Соколов // Первая миля. — № 4. — 2017. — С. 44–47.
3. Киричек, Р. В. Исследование и генерация трафика промышленного Интернета Вещей / Р. В. Киричек, В. А. Кулик // Труды учебных заведений связи. — 2019. - Т. 5. № 3. — С. 27–36. — DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-3-27-36.

4. Лоднева, О. Н. Анализ трафика устройств интернета вещей / О. Н. Лоднева, Е. П. Ромасевич // *Modern Information Technologies and IT-Education*, Vol. 14, no. 1, 2018 ISSN 2411-1473

5. Ромасевич, Е. П. Исследование трафика беспроводных устройств в условиях развития интернета вещей / Е. П. Ромасевич, А. О. Пасюк // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. — 2020.

6. Ромасевич, Е. П. Исследование агрегированного трафика беспроводных IoT устройств / Е. П. Ромасевич // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. — 2017.

7. Соколов, М. Реализация беспроводных сетей на основе технологии ZigBee стандарта 802.15.4 / М. Соколов, О. Воробьев // *Рынок микроэлектроники*. — URL: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/05_02/stat_160.htm

8. E. Morin, M. Maman, R. Guizzetti, and A. Duda, “Comparison of the device lifetime in wireless networks for the internet of things,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 7097–7114, 2017

УДК 338.45

Заварзин Д. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

г. Сургут

Аннотация. Распределенные системы мониторинга нефтегазовых объектов являются важной составляющей инфраструктуры нефтегазовой промышленности. Однако с увеличением объемов данных и количества мониторируемых устройств становится все сложнее обеспечить надежную и эффективную работу системы.

В данной статье представлен подход к структурно-топологической оптимизации распределенной системы мониторинга нефтегазовых объектов на основе анализа сети передачи данных. Описаны методы анализа и оптимизации структуры сети, включая поиск оптимального размещения узлов мониторинга, оптимизацию параметров сети и схему репликации данных.

Результаты экспериментального исследования показали, что использование предложенного подхода позволяет существенно улучшить надежность и эффективность системы мониторинга нефтегазовых объектов, а также снизить затраты на ее поддержку и эксплуатацию.

Ключевые слова: *распределенные системы мониторинга, нефтегазовые объекты, структурно-топологическая оптимизация, сеть передачи данных, оптимизация параметров сети, репликация данных.*

Zavarzin D. V.

Surgut State University, Surgut

STRUCTURAL AND TOPOLOGICAL OPTIMIZATION OF DISTRIBUTED
MONITORING SYSTEMS FOR OIL AND GAS FACILITIES BASED
ON DATA TRANSMISSION NETWORK ANALYSIS

Surgut

Abstract. Distributed monitoring systems for oil and gas facilities are an important component of the infrastructure of the oil and gas industry. However, with increasing amounts of data and the number of monitored devices, it becomes increasingly difficult to ensure reliable and efficient operation of the system.

This article presents an approach to the structural and topological optimization of a distributed monitoring system for oil and gas facilities based on data transmission network analysis. Methods of network structure analysis and optimization are described, including the search for optimal placement of monitoring nodes, optimization of network parameters and data replication scheme.

The results of the experimental study showed that the use of the proposed approach can significantly improve the reliability and efficiency of the monitoring system of oil and gas facilities, as well as reduce the costs of its support and operation.

Keywords: *Network equipment, import substitution, Russian manufacturers, infrastructure.*

Распределенные системы мониторинга (RSM) нефтегазовых объектов представляют собой сложные сетевые инфраструктуры, которые включают в себя множество устройств, осуществляющих сбор, передачу и анализ данных с различных объектов. Таким образом, в RSM необходимо проводить регулярный мониторинг и управление, чтобы обеспечивать эффективное и стабильное функционирование системы.

Однако управление и мониторинг RSM часто сталкиваются с проблемами, связанными с обеспечением высокой степени надежности и выполнением требований безопасности, а также с учетом объемов передаваемой

информации. Следовательно, существует потребность в оптимизации работы RSM, что может быть достигнуто путем проведения структурно-топологической оптимизации сети. Изменение экономической ситуации в мире и резкое увеличение энергозатрат привели к тому, что нефтегазовый сектор вынужден сокращать затраты, увеличивать объем выпуска продукции и искать новые технологии для управления мониторингом нефтегазовых объектов. Распределенные системы мониторинга (RSM) нефтегазовых объектов становятся все популярнее, потому что они могут сократить затраты на техническое обслуживание и повысить качество управления, а также сократить вероятность происшествий.

Проблема RSM заключается в том, что они имеют большой объем информации и информация передается через сеть передачи данных (СПД) несколькими путями. Чтобы обеспечить стабильную и эффективную работу RSM, необходимо провести структурно-топологическую оптимизацию СПД.

Структурно-топологическая оптимизация сети — это процесс выбора оптимальной структуры сети, а также оптимизация параметров сети и оптимальное размещение устройств, включая узлы мониторинга. Целью структурно-топологической оптимизации является повышение эффективности и надежности работы RSM, а также снижение затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию.

Например, линейная структура наиболее проста, но она может приводить к заторам на узких местах и увеличению времени задержки передачи данных. В то время как звездообразная структура может рассматриваться как оптимальная для системы мониторинга.

Кроме того, оптимальное размещение узлов мониторинга может существенно повлиять на эффективность работы RSM. Для определения оптимального размещения узлов мониторинга могут быть использованы математические методы оптимизации. Это позволяет выделить узлы мониторинга, которые наиболее подходят для сбора информации о конкретных объектах, обеспечивая при этом максимальную эффективность и надежность выполнения задач.

В данном изложении рассмотрим подход к структурно-топологической оптимизации сети в распределенных системах мониторинга нефтегазовых объектов.

I. Анализ сети передачи данных.

Перед оптимизацией необходимо выполнить анализ сети передачи данных (СПД), на основе которого можно определить параметры, такие как скорость передачи данных, вероятность потери пакетов и др. Важно учитывать, что для RSM необходимы четкие требования к СПД, которые могут отличаться от тех, которые используются для обычных сетей передачи данных. Поэтому при анализе СПД необходимо учитывать специфику RSM и определять параметры, которые необходимы для их работы.

II. Оптимальная структура СПД.

Определив параметры СПД, следует выбрать оптимальную структуру сети. При выборе оптимальной структуры СПД следует учитывать следующие факторы:

- Надежность и отказоустойчивость.
- Масштабируемость.
- Скорость передачи данных.
- Стабильность работы.

Например, линейная структура наиболее проста, но она может приводить к заторам на узких местах и увеличению времени задержки передачи данных. В то время как звездообразная структура может рассматриваться как оптимальная для системы мониторинга.

Для RSM структуры сети, такие как древовидные и звездообразные, часто являются наиболее оптимальными, так как они обеспечивают хорошую масштабируемость, стабильность и отказоустойчивость работы. Однако оптимальная структура СПД может зависеть от конкретных потребностей и требований каждой компании.

III. Расположение узлов мониторинга.

Правильное расположение узлов мониторинга также является важным фактором структурно-топологической оптимизации RSM. Это может быть достигнуто с помощью алгоритмов оптимизации, которые учитывают факторы, такие как уровень шума и потерь пакетов, скорость передачи данных и другие метрики. Такие алгоритмы могут выделить оптимальное количество узлов мониторинга и определить места расположения для этих узлов.

IV. Параметры СПД.

Оптимизация параметров СПД включает настройку таких параметров, как пропускная способность, размерность битовой скорости и число узлов.

Эти параметры влияют на скорость передачи данных и, соответственно, на общую производительность RSM. Их правильная настройка обеспечивает эффективную работу сети и уменьшает вероятность возникновения ошибок и аварий.

Заключение. В структурно-топологической оптимизации СПД нефтегазовых объектов на основании анализа СПД необходимо учитывать спецификации RSM и определять параметры, которые необходимы для их работы. Оптимизация СПД включает выбор оптимальной структуры, правильное размещение узлов мониторинга и настройка параметров. Правильная оптимизация поможет повысить эффективность работы RSM, снизить затраты на обслуживание и сократить вероятность возникновения аварий. Важно отметить, что структурно-топологическая оптимизация СПД является процессом непрерывного улучшения, который должен периодически повторяться в зависимости от изменения условий работы RSM.

Список использованной литературы

1. Сони, Д. К. Оптимальное размещение и выбор устройств мониторинга в сложных крупномасштабных сетях / Д. К. Сони, А. С. Сривастава.
2. Самади, М. Оптимальное размещение устройств мониторинга в трубопроводах для обнаружения утечек с использованием нечеткой логики и генетических алгоритмов / М. Самади, М. Парса Могхаддам.
3. Федотов, А. М. Оптимизация структуры беспроводной сети передачи данных для систем мониторинга добычи нефти / А. М. Федотов, А. Ю. Граченков, Е. И. Лозовик // Материалы международной научно-технической конференции. — 2014. — С. 90–93.
4. Овсянникова, Е. А. Метод структурной оптимизации комплексной автоматизированной системы мониторинга технологических процессов на нефтеперерабатывающих заводах / Е. А. Овсянникова, А. Г. Дегтярев [и др.] // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2017 (4). — С. 126–133.
5. Ковалев, М. Г., Мажин, С. В., Грищенко, А. С. и др. (2013). Исследование кактусной сети передачи данных для задач мониторинга систем нефтепереработки / М. Г. Ковалев, С. В. Мажин [и др.] // Материалы научной конференции «Системный анализ и информационные технологии». — 2013. — С. 322–328.

6. Туракулов, Ж. З. (2017). Технологии беспроводной передачи данных для мониторинга работы нефтеперерабатывающих производств / Ж. З. Туракулов, М. И. Бакиров [и др.] // Современные технологии, материалы и оборудование в нефтегазовой промышленности. — 2017. — С. 127–130.

7. Шереметьев, А. В. (2016). Оптимизация сетевой топологии с целью повышения надежности мониторинговой системы на основе сравнения метрик графов / А. В. Шереметьев, А. Л. Зверев [и др.] // Технологии и системы связи. — 2016 (4). — С. 82–90.

УДК 3

Калиновский Д. А., Аврамчук В. С.

Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники, г. Томск

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИСТОЧНИКА СИГНАЛА МЕТОДОМ
ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

г. Томск

Аннотация. Задача оценки временной задержки (TDE) состоит в измерении разницы во времени прихода сигналов, зарегистрированных разнесенными в пространстве датчиками. Эта задача актуальна для многих приложений, в том числе для тех, которые сопряжены с локализацией источника сигнала.

Ключевые слова: источник, временная задержка, локализация, сигнал.

Kalinovsky D. A., Avramchuk V. S.

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR),
Tomsk

LOCALIZATION OF THE SIGNAL SOURCE BY THE METHOD
OF ESTIMATING THE DELAY TIME

Tomsk

Abstract. The task of time delay estimation (TDE) is to measure the difference in time of arrival of signals recorded by spaced apart sensors. This problem is relevant for many applications, including those associated with signal source localization.

Keywords: source, time delay, localization, signal.

В данной работе рассматривается простейший случай с двумя датчиками (микрофонами), продемонстрированный на рис. 1. Весьма вероятно,

что двух датчиков будет недостаточно для гарантированной локализации источника звука сигнала на плоскости или в пространстве, но в зависимости от взаимного расположения микрофонов и расположения источника сигнала для нахождения направления сигнала на объект будет достаточно и пары микрофонов. В общем случае для нахождения расположения источника сигнала необходимо не меньше трех микрофонов [1].

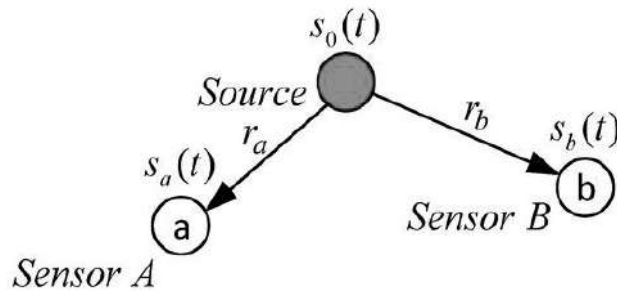


Рис. 1. TDE с двумя датчиками

Образцовая модель распространения предполагает, что существует только один маршрут от источника сигнала к каждому из микрофонов. Пусть это сигнал, генерируемый источником. В таком случае сигналы приемников (микрофонов) будут:

$$S_a = \alpha_a - S_0(t - \tau_a) + n_a(t),$$

где τ_a, τ_b — значения запаздывания; α_a, α_b — коэффициенты ослабления сигнала; $n_a(t), n_b(t)$ — случайные некоррелированные аддитивные шумы микрофонов. Значения τ_a, τ_b определяются геометрическими расстояниями r_a, r_b от источника сигнала до соответствующего приемника:

$$\tau_a = \frac{r_a}{c},$$

$$\tau_b = \frac{r_b}{c}.$$

где c — скорость звука. Затухание сигналов α_a, α_b может быть вызвано различными факторами, однако в простейшем идеальном случае рассматривается исключительно диаграмма направленности луча источника и рассеивание звуковой волны, поэтому:

$$\alpha_a = \frac{k}{r_a^2},$$

$$\alpha_b = \frac{k}{r_b^2}$$

где k — постоянный коэффициент.

В этом случае TDE применяется для получения $\tau_{ab} = \tau_b - \tau_a$, которое в дальнейшем будет использоваться для определения положения источника звука. Используя приведенные выше обозначения, мы получаем следующее:

$$S_a = \frac{k}{r_a^2} * S_0 \left(t + \frac{r_b - r_a}{c} \right) + n_a(t),$$

$$S_b = \frac{k}{r_b^2} * S_0(t) + n_b(t).$$

Существует более одного алгоритма вычисления TDE по двум сигналам. Одним из наиболее известных и часто применяемых методов является метод общей взаимной корреляции (GCC), в котором два сигнала взаимно коррелируются. Досадная проблема с методом GCC заключается в том, что для получения хорошего углового разрешения требуется высокая частота дискретизации и большое расстояние между микрофонами, особенно для углов, близких к оси микрофонов. Если, например, частота дискретизации слишком низкая, угол будет квантоваться с небольшими шагами, когда он перпендикулярен оси микрофона и становится все больше и больше по мере приближения угла к оси микрофона [2].

Взаимная корреляционная функция (ВКФ) двух сигналов $S_a(t)$ и $S_b(t)$ может быть выражена через корреляционную функцию (КФ) $R_s(\tau)$ и имеет следующий вид [3, с. 5]:

$$R_{ab}(\tau) = E\{a^*(t)b(t + \tau)\} = \alpha_a^* \alpha_b R_s(\tau - \Delta)$$

где E — математическое ожидание; $\Delta = T_b - T_a$ — задержка между двумя сигналами $S_a(t)$ и $S_b(t)$.

Так как КФ имеет максимум в нуле, то аргумент τ , при котором значения ВКФ максимально, принимается за оценку времени задержки Δ между двумя сигналами $S_a(t)$ и $S_b(t)$.

Для реализации приложения определения локализации источника сигнала в пространстве был использован язык программирования Python 3.

В качестве источника сигнала был сгенерирован двуканальный сигнал, который представляет собой синусоиду с заданной частотой и амплитудой.

Следующим шагом является создание функции вычисления корреляционной функции и определения задержки сигнала.

В данной программе использовался коэффициент корреляции Пирсона [4], который вычисляется следующим образом:

$$r_{ab} = \frac{\sum (d_a * d_b)}{\sqrt{(\sum d_a^2 * d_b^2)}}$$

Итогом первой части работы разработанного приложения служат графики двух сгенерированных сигналов относительно времени (рис. 3) и коэффициент корреляции относительно задержки времени (рис. 4).

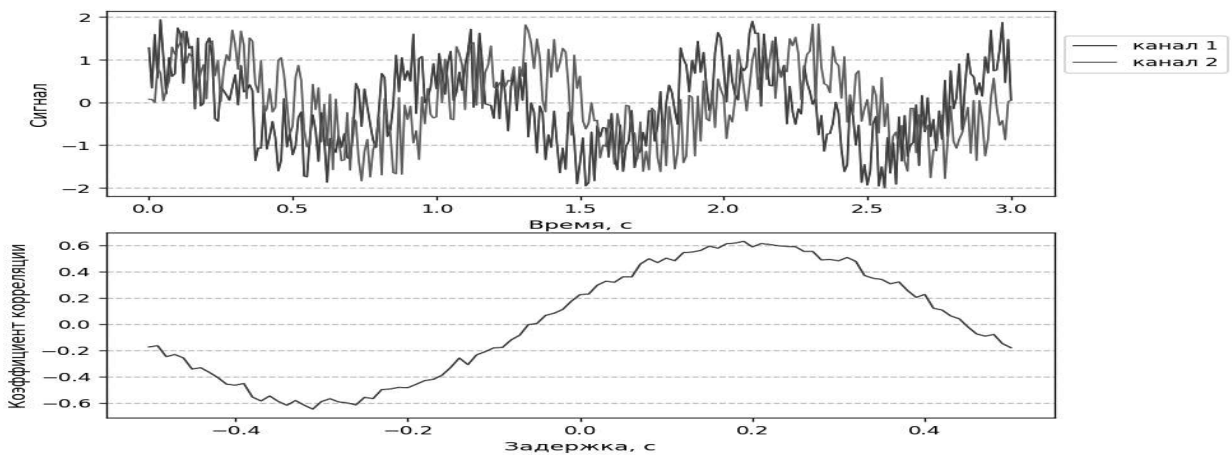


Рис. 3. Сгенерированные сигналы

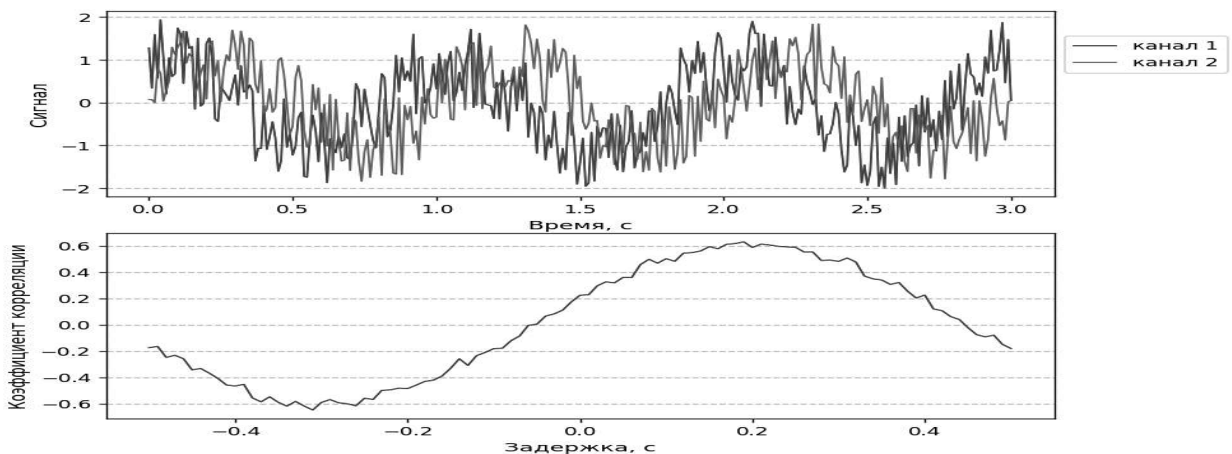


Рис. 4. Коэффициент корреляции

Для получения искомой зависимости вычисления задержки выполняются при нескольких значениях «сигнал/шум» (SNR) в диапазоне от 10^{-4} до 10^1 .

При каждом значении С/Ш расчеты повторяются 1000 раз и по полученному набору значений задержек вычисляются метрики точности, такие как [5]:

- MAE (*англ.* Mean Absolute Error) — средняя абсолютная ошибка, позволяет оценить абсолютную ошибку — то, насколько число в прогнозах разошлось с реальным числом.
- RMSE (*англ.* Root Mean Square Error, RMS Error) — среднеквадратическая ошибка, используется для оценки ошибки в прогнозах.

Результаты исследований зависимости точности определения задержки сигнала от отношения «сигнал/шум» (SNR) представлены в таблице 1.

Таблица 1. — Зависимость точности определения задержки сигнала от отношения «сигнал/шум» (SNR)

С/Ш (SNR)	MAE	RMSE
1.00E-04	0.18	0.43
1.12E-04	0.18	0.43
1.26E-04	0.19	0.44
1.42E-04	0.17	0.42
1.59E-04	0.18	0.42

После этого были созданы графики зависимости ошибок MAE и RMSE от отношения SNR (рис. 5).

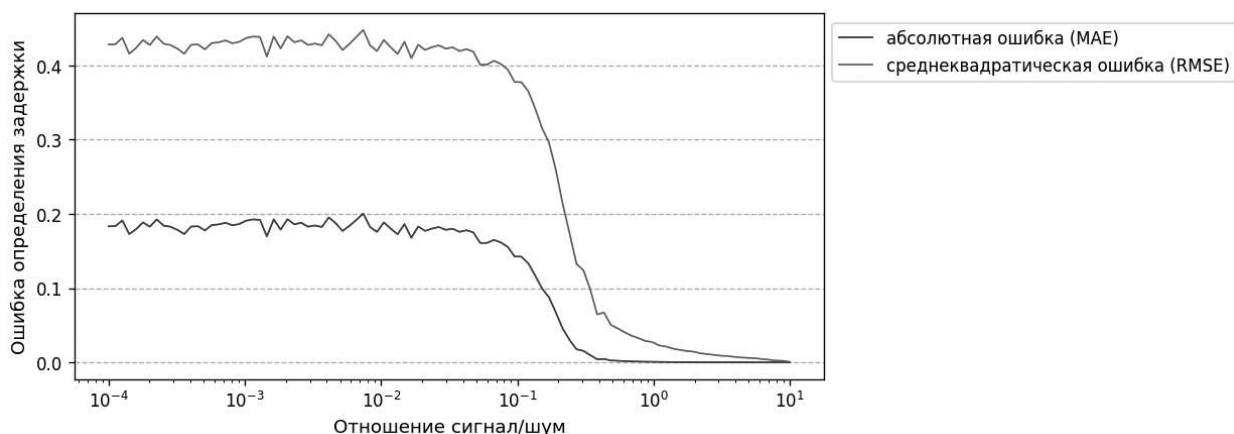


Рис. 5. График зависимости MAE и RMSE от SNR

По результатам экспериментов было выявлено, что при отношении сигнал/шум (SNR) более 0.3 средняя абсолютная ошибка (MAE) не пре-

вышает 10%. Также в ходе вычислительного эксперимента была выявлена применимость корреляционного метода оценки времени запаздывания (ОВЗ) для решения задачи локализации источника сигнала в пространстве. При этом корреляционный метод показывает большую надежность и универсальность.

Список использованной литературы

1. Исследование метода оценки временной задержки обобщенного фазового спектра для определения местоположения источника в акустической среде небольшого помещения / В. Фаерман, В. Аврамчук, К. Воеводин, И. Сидоров, Е. Костюченко // Датчики в системах автоматического управления: XV Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АРЕИЕ-2021. — 2022. — URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/3/965> (Дата обращения: 10.12.2022)
2. Определение местоположения акустических источников с помощью мультилатерации / Daniel Dalskov / Магистерская программа по технологиям при кафедре электронных систем, Ольборг, 2014. — URL: <http://www.военноеправо.ru/node/2149> (Дата обращения: 10.12.2022).
3. Гущина, О. А. Временные корреляционные методы оценки задержки комплексных сигналов, некратной периоду дискретизации, на основе полиномиальной интерполяции / О. А. Гущина, Т. Я. Шевгунов // Журнал радиоэлектроники, ISSN 1684-1719. — 2020. — № 12.
4. Саадалов, Т. Ы. Методика расчета коэффициента корреляции Фехнера и Пирсона, и их области применения / Т. Ы. Саадалов, Р. М. Мырзаibraимов, Ж. Д. Абдуллаева // Бюллетень науки и практики. — 2021. — № 10. — С. 270–276.
5. Диагностика систем машинного обучения / М. Коротеев. — 2022. — URL: <https://koroteev.site/text/ml4/> (Дата обращения: 10.12.2022).

УДК 621

Рыжак В. В., Круглов В. Е.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРОФИЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА
В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Аннотация. В статье ставится задача рассмотреть возможности процессов классификации и профилирования трафика. Объектом исследования является мультисервисная сеть связи. Рассмотрены возможности и достоинства данных процессов. Сделан вывод о необходимости наличия систем, предназначенных для классификации и профилирования трафика в рамках мультисервисных сетей, с целью предоставления как можно более качественных и выгодных услуг связи потребителям.

Ключевые слова: классификация трафика, профилирование трафика, мультисервисная сеть, передача данных, оптимизация сети, технология обслуживания трафика, модель взаимодействия открытых систем, соглашение об уровне услуг.

Ryzhakov V. V., Kruglov V. E.

Surgut State University, Surgut

CLASSIFICATION AND PROFILING OF TRAFFIC IN MULTI-SERVICE
COMMUNICATION NETWORKS

Abstract. The article aims to consider the possibilities of considering and profiling traffic. The object of research is a multiservice communication network. The possibilities and qualities of these processes are excluded. It is concluded that there are systems designed to block and profile traffic within multiservice networks, with the provision of the most visible and profitable communication services to users.

Keywords: traffic classification, traffic profiling, multiservice network, data transmission, network optimization, quality of service, the open systems interconnection model, service level agreement.

В мультисервисных сетях связи часто возникают проблемы, связанные с недостаточной производительностью и качеством обслуживания, что приводит к низкой удовлетворенности клиентов и потере прибыли. Для решения этих проблем в мультисервисных сетях связи часто применяются процессы классификации трафика и профилирования трафика.

Профилирование трафика в мультисервисных сетях связи — это процесс анализа сетевого трафика с целью определения его характеристик и принадлежности к определенным пользователям и сервисам. Например, с помощью профилирования трафика можно определить, какой тип данных передается, какие устройства используются для передачи этих данных и сколько данных передается. Такая информация может быть использована для улучшения качества обслуживания и оптимизации сети.

Классификация трафика в мультисервисных сетях связи — это процесс разбиения трафика на различные классы на основе его характеристик, таких как тип данных, источник и назначение. Классификация позволяет эффективно распределять ресурсы сети, например, для управления пропускной способностью и приоритизации трафика. Конечный результат классификации и профилирования трафика — это повышение производительности и качества обслуживания в сети.

Процессы классификации трафика и профилирования трафика реализуются в мультисервисных сетях связи на уровне модели OSI с помощью специализированного оборудования.

На уровне 7-го уровня OSI модель, приложение или сервис можно идентифицировать по определенным протоколам и портам. На уровне 6-го уровня OSI сервисы могут быть идентифицированы по характеристикам их использования сессий. На уровне 5-го уровня OSI фрагменты трафика могут быть идентифицированы как определенный протокол, который используется, чтобы установить связь между приложениями.

На уровне 4-го уровня OSI трафик может быть классифицирован с помощью набора правил, которые определяют по исходящим и входящим IP-адресам, портам и протоколам, какой класс трафика находится в данном фрагменте пакетов.

Оборудование, которое отвечает за процессы классификации и профилирования трафика, включает в себя коммутаторы, маршрутизаторы, брандмауэры и сетевые устройства, которые выполняют функции обработки

пакетов и защиты сети. Некоторые из производителей оборудования, которое используется в этих процессах, включают Cisco, Juniper, Huawei, Fortinet, Palo Alto Networks и Check Point.

Сами эти процессы реализуются согласно соглашению об уровне услуг (далее SLA). Данное соглашение является формальным договором между заказчиком услуги, будь это физическое или юридическое лицо, и компанией, предоставляющей эти самые услуги связи.

Процессы профилирования и классификации трафика могут предоставить мультисервисным сетям связи множество возможностей, таких как:

- управление пропускной способностью: процесс классификации позволяет управлять пропускной способностью трафика, что может улучшить качество обслуживания для определенных пользователей или сервисов;
- оптимизация ресурсов: классификация трафика может помочь оптимизировать использование ресурсов сети, позволяя провайдерам заранее знать, какой трафик будет поступать в сеть;
- предотвращение атак: профилирование трафика позволяет обнаружить аномальный сетевой трафик, что может помочь в обнаружении и предупреждении атак;
- улучшение прогнозирования: профилирование трафика может предоставить провайдерам информацию о том, как пользователи используют их услуги, что может помочь улучшить прогнозирование спроса и создание лучших услуг.

Игнорирование технологии профилирования трафика может привести к неравномерному распределению ресурсов сети и недостаточной защите данных. Например, без профилирования трафика провайдеры могут не заметить, что кто-то получает больше ресурсов, чем ему положено, что может привести к ухудшению обслуживания для других пользователей.

Хоть процессы классификации и профилирования трафика и реализуются автоматически при помощи специализированного оборудования на основе заключенного SLA, могут возникнуть случаи, когда вмешательство в них человека является необходимым.

Причин у этого может быть множество. К ним можно отнести: сбой оборудования; несанкционированный вход постороннего в сеть; возникновение жалоб со стороны клиента, услуги связи которому предоставляются и т. д.

В таком случае имеется ряд программ, позволяющих вручную проанализировать трафик, передающийся в сети, а также позволяющий выявить проблему, которую не способно обнаружить оборудование.

Одной из этих программ является WireShark. Данный программный продукт позволяет подробно анализировать каждый пакет, передаваемый в сети.

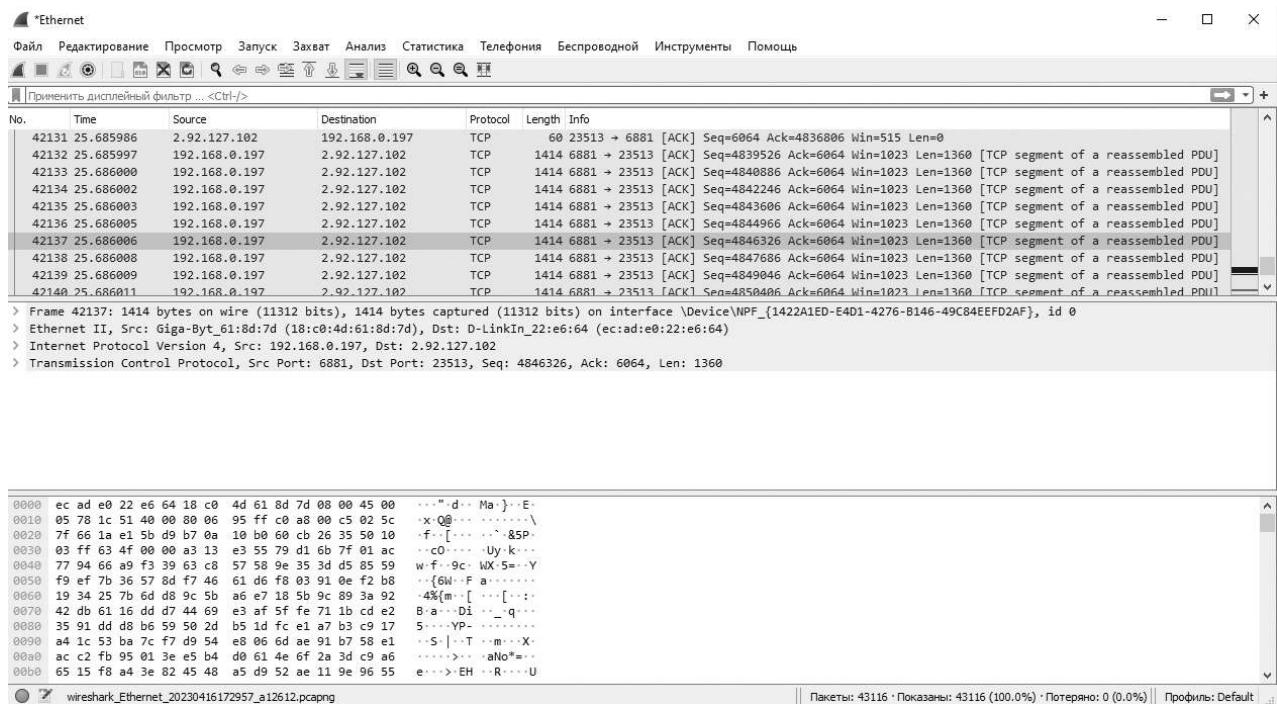


Рис. 1. Вид интерфейса программы WireShark

Пользуясь этой программой, можно проводить операции по устранению неполадок сетевого подключения, исследовать сессии прикладного уровня, устранять неполадки DHCP с данными на уровне пакетов и т. д.

Процессы классификации и профилирования трафика в мультисервисных сетях связи могут принести множество пользы компаниям-провайдерам. Возможности, предоставленные этими двумя процессами, могут привести к более эффективному использованию ресурсов компании, а благодаря этому, в свою очередь, принести выгоду путем предоставления своих услуг большему количеству пользователей, удовлетворяя потребность в качественных услугах связи каждого.

Список использованной литературы

1. Вихров, М. С. Исследование методов анализа интернет-трафика [Электронный ресурс] / М. С. Вихров // Электронный научный журнал «Дневник науки». — 2020. — № 3. — С. 19. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42679100> (Дата обращения: 28.03.2023)
2. Гетьман, А. И. Анализ сетевого трафика в режиме реального времени: обзор прикладных задач, подходов и решений [Электронный ресурс] / А. И. Гетьман, Е. Ф. Евстропов [и др.] // Препринт ИСП РАН 28. — 2015. — С. 1–52. — URL: https://www.ispras.ru/preprints/archives/prep_28_2015.php (Дата обращения: 01.04.2023)
3. Альтман, Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в IP-сетях [Электронный ресурс] / Е. А. Альтман // Омский научный вестник. — 2002. — С. 145–148. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-trafikom-i-kachestvo-obsluzhivaniya-v-ip-setyah/viewer> (Дата обращения: 27.03.2023)
4. Лоскот, С. Ю. Оптимизация работы защищенной мультисервисной сети [Электронный ресурс] / С. Ю. Лоскот, А. В. Мурашко, О. А. Хацкевич // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных. — 2018. — С. 27–32. — URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/36295/1/Loskot_Optimizatsiya.pdf. (Дата обращения: 05.04.2023)
5. Шопов, А. И. Особенности проектирования мультисервисных сетей [Электронный ресурс] / А. И. Шопов // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. — 2009. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-proektirovaniya-multiservisnyh-setey>. (Дата обращения: 29.03.2023)
6. Гладких, А. М. Основные методы анализа сетевого трафика [Электронный ресурс] / А. М. Гладких // Вопросы науки и образования. — 2020. — С. 23–28. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-metody-analiza-setevogo-trafika/viewer> (Дата обращения: 02.04.2023)

УДК 04.056

УДК 621.39

Клягина О. Е.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

г. Сургут

Аннотация. Представлен обзор текущего состояния развития технологии промышленного интернета вещей (IIoT) и ее применения в различных отраслях промышленности. В статье рассматриваются основные компоненты и принципы работы систем IIoT, такие как сенсоры, сетевое взаимодействие, облачные технологии и аналитика данных. В ней описываются преимущества и вызовы, связанные с использованием IIoT в промышленности, включая повышение эффективности производства, улучшение качества продукции и уменьшение затрат на обслуживание оборудования.

Ключевые слова: интернет вещей, производственные процессы, автоматизация, сбор данных.

Klyagina O. E.

Surgut State University, Surgut

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS SYSTEMS

Surgut

Abstract. “Industrial Internet of Things Systems” provides an overview of the current state of development of industrial Internet of Things (IIoT) technology and its application in various industries. The article discusses the main components and principles of IIoT systems, such as sensors, networking, cloud technologies and data analytics. It describes the advantages and challenges associated with the use of IIoT in industry, including increasing production efficiency, improving product quality and reducing equipment maintenance costs.

Keywords: Internet of things, production processes, automation, data collection.

Системы промышленного интернета вещей (IIoT) — это сеть устройств (сенсоров, контроллеров, машин и других устройств), которые собирают, обрабатывают и обмениваются данными в промышленных условиях. IIoT позволяет собирать большое количество данных о производственных процессах, а также анализировать и использовать их для повышения эффективности и оптимизации работы промышленных предприятий.

Системы промышленного интернета вещей используют различные технологии, такие как беспроводные сети, облачные вычисления, платформы аналитики данных, машинное обучение и искусственный интеллект. Они позволяют автоматизировать производственные процессы, оптимизировать использование ресурсов, предсказывать сбои в работе оборудования и улучшать качество продукции.

Применение систем IIoT может повысить эффективность и выход продукции промышленных предприятий и сократить расходы на производство. Но при этом важно обеспечить безопасность и защиту данных, а также учитывать нормативные и законодательные требования.

Применение систем промышленного интернета вещей (IIoT) может помочь улучшить эффективность и оптимизировать производственные процессы на предприятии. Вот несколько возможных способов применения IIoT:

1. Мониторинг состояния оборудования. Установка датчиков и диспетчеризация оборудования позволяют получать информацию о его техническом состоянии и производить мониторинг его работы в режиме реального времени. Это позволяет предотвращать отказы и экономить на ремонте.

2. Оптимизация производственных процессов. IIoT позволяет собирать данные о производственных процессах и использовать аналитику, чтобы оптимизировать их работу. Например, можно снизить расходы на энергию, отслеживать исправность оборудования, оптимизировать расход материалов.

3. Управление качеством продукции. IIoT могут использоваться для контроля качества продукции. Установка датчиков на производственном оборудовании позволяет отслеживать процесс производства и определять проблемные участки.

4. Внедрение системы мониторинга окружающей среды. IIoT позволяют мониторить уровень загрязнения воздуха, воды и почвы на предприятии. Это позволяет улучшить экологический след и соответствовать нормам экологической безопасности.

5. Разработка более эффективных продуктов. IIoT могут использоваться для сбора обратной связи от потребителей о продуктах и проектирования новых, более эффективных продуктов.

Это лишь некоторые примеры того, как системы промышленного интернета вещей могут быть применены на предприятии. Важно разработать план, внедрить необходимое оборудование и собрать команду специалистов, которые смогут помочь в решении задач.

Системы промышленного интернета вещей (IIoT) предоставляют множество преимуществ, таких как повышение эффективности производства, оптимизация использования ресурсов, улучшение качества продукции, сокращение времени простоя оборудования. Однако они также имеют некоторые недостатки.

Преимущества IIoT включают:

- 1) автоматизацию и оптимизацию производственных процессов, что позволяет сократить количество ошибок и снизить расходы на производство;
- 2) улучшенную связность и сбор данных, которые могут быть обработаны и использованы для принятия решений, таких как оптимизация вывода продукции и предотвращение отказов оборудования;
- 3) уменьшение времени простоя оборудования, что позволяет сэкономить время и улучшить производственный цикл;
- 4) оптимизацию использования ресурсов, таких как энергия и вода, что может привести к экономическим выгодам и снижению вредных выбросов.

Недостатки IIoT включают:

- 1) высокие затраты на внедрение и обслуживание системы;
- 2) риск потери данных или их несанкционированного доступа, что может оказаться небезопасным для предприятия;
- 3) сложность интеграции новых систем с уже существующей инфраструктурой;
- 4) необходимость обучения и поддержки персонала, который будет использовать систему.

В целом преимущества системы промышленного интернета вещей преобладают над недостатками, но каждое предприятие должно проанализировать свои потребности и ресурсы для того, чтобы определить, насколько эффективным внедрение IIoT будет для них.

Внедрение систем промышленного интернета вещей (IIoT) в России может быть вызовом, но, возможно, успешным, если учитывать ряд факторов. Вот несколько рекомендаций для внедрения IIoT в России:

1. Определить цели и потребности. Необходимо проанализировать свои производственные процессы и определить, какие задачи IIoT может решить и какие преимущества это принесет для предприятия.

2. Оценить готовность инфраструктуры. Для успешной реализации IIoT на предприятии необходимо оценить существующие системы управления, средства связи и прочие факторы, которые могут повлиять на работу IIoT-системы.

3. Подобрать надежного поставщика решения IIoT. От выбора поставщика IIoT-системы зависит качество и производительность системы, а также ее стоимость. Надежность поставщика, его опыт и компетентность должны быть тщательно проверены.

4. Обучить сотрудников. Введение IIoT изменит производственные процессы на предприятии. Необходимо подготовить персонал, который будет использовать новую систему, и обеспечить им доступ к необходимым ресурсам.

5. Обеспечить безопасность. Введение IIoT-системы может повлечь за собой новые угрозы кибербезопасности. Важно защитить систему от внешних атак и установить меры безопасности.

6. Провести экономический анализ. Необходимо убедиться, что затраты на внедрение IIoT-системы будут оправданы экономически и что выгоды будут существенно превышать издержки.

7. Начать внедрение с пилотного проекта. Лучшим способом внедрения IIoT системы на предприятии является начать с небольшого пилотного проекта. Это поможет идентифицировать возможные проблемы и освоить процесс внедрения системы.

Как и в любых других регионах, внедрение IIoT в России требует тщательной подготовки и проведения детального анализа. Однако, если правильно реализовать IIoT-систему, она может существенно повысить эффективность производства и принести заметные экономические выгоды.

Точной статистики по использованию системы интернета вещей (IIoT) на предприятиях в мире нет. Однако в последние годы наблюдался значительный рост числа предприятий, использующих IIoT для улучшения своей

производственной деятельности. Согласно отчету McKinsey & Company за 2019 год, более 70% крупных предприятий во всем мире уже используют какие-либо формы IoT-технологий, а более 90% из них считают, что IoT будет существенно влиять на их бизнес в ближайшие годы.

Согласно прогнозам Juniper Research на 2022 год, ожидается, что число устройств IoT на предприятиях достигнет более 18 миллиардов, что является более чем в два раза больше, чем в 2017 году. Это свидетельствует о том, что использование IoT на предприятиях продолжает расти и развиваться с каждым годом.

В целом, IoT на предприятиях уже является значимым направлением и продолжает расти по всему миру. Однако в разных секторах и регионах процент использования IoT может отличаться в зависимости от многих факторов.

Алгоритм работы системы промышленного интернета вещей (IIoT) может иметь различные вариации в зависимости от конкретной системы и применяемых технологий. Однако в общем виде работа IIoT-системы может быть описана следующими шагами:

1. Сбор данных. Для работы IIoT-системы необходимо собирать данные с помощью различных устройств и датчиков, например, температуры, давления, влажности и т. д. Данные могут быть собраны как в режиме реального времени, так и с определенной периодичностью.

2. Обработка и анализ данных. После сбора данных необходимо обработать его с помощью аналитических инструментов, например, машинного обучения и искусственного интеллекта, для получения ценной информации.

3. Контроль и оценка. Обработанные данные могут использоваться для контроля и оценки производственных процессов, чтобы максимизировать эффективность и качество производства. Например, могут использоваться для определения уровня загрузки оборудования, прогнозирования времени простоя и предотвращения аварий.

4. Управление и решения. Это последний этап работы IIoT-системы, когда на основе полученных данных и результатов контроля и оценки принимаются управленческие решения. Например, производственные процессы могут быть изменены, машины перенастроены или отремонтированы, чтобы повысить эффективность производства.

Важно отметить, что IIoT-система является динамической и может изменяться в зависимости от требований и потребностей предприятия. Например, новые датчики или аналитические инструменты могут быть установлены, чтобы улучшить сбор данных и анализ информации.

Список использованной литературы

1. Ли, С. Промышленный Интернет вещей (IIoT) — технология прогнозирования и управления состоянием здоровья в интеллектуальном производстве / С. Ли, Дж. Фан, Ю. Ся, Ю. Ли. IEEE Transactions on Industrial Informatics. — 2020. — 16 (9). — С. 5857–5868.
2. Аранха, Дж. В. Платформа IIoT для повышения энергоэффективности промышленных процессов / Дж. В. Аранха, Р. А. Хуссейн, И. Шкрян // Энергии. — 2020. — 13(8), 1–21.
3. Касем, М. М. Интеллектуальное прогнозирование энергопотребления с использованием промышленного интернета вещей / М. М. Касем, У. Эль-Хатиб // Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия. 2019. — 597, 1–12.
4. Лю, Ю. Новая модель интеллектуального управления техническим обслуживанием промышленного оборудования в среде IIoT / Ю. Лю, Х. Чен, Л. Ван // Математические задачи в инженерном деле. — 2020, 1–11.
5. Ли, К. Применение IIoT в интеллектуальном управлении цепочками поставок производственных предприятий / К. Ли, Б. Ли, Дж. Ли // Материалы Международной конференции по промышленному инжинирингу и производственным технологиям 2019 года. — 2019, 15–19.
6. Косеоглу, С. Обзор промышленного Интернета вещей (IIoT): ключевая технология в индустрии 4.0. / С. Косеоглу, Л. Кочак // Журнал интеллектуального производства. — 2019. — 30 (6). — С. 2269–2290.

УДК: 621.396.97, 654.165

*Дёмко А. И.*⁶

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СЛОЖНЫЕ СИГНАЛЫ НА ОСНОВЕ КОДОВ ФРЭНКА

Аннотация. В радиолокации и связи широко используются сложные сигналы, что определяет актуальность развития и оптимизации подобных сигналов. Целью статьи является рассмотрение сигналов на основе кодов Фрэнка и их модификаций. Представленные результаты могут быть использованы в радиолокации и связи.

Ключевые слова: код Фрэнка, кодирующая матрица, боковые лепестки, функция неопределенности.

*Dyomko A. I.*⁷

Surgut State University, Surgut

COMPLEX SIGNALS BASED ON FRANK CODES

Abstract. Complex signals are widely used in radar and communications, which determines the relevance of the development and optimization of such signals. The purpose of the article is to consider signals based on Frank codes and their modifications. The presented results can be used in radar and communications.

Keywords: Frank's code, coding matrix, side lobes, uncertainty function.

Введение. Развитие современных радиотехнических систем тесно связано с поиском новых и исследованием свойств уже известных сигналов. В значительной мере это стимулируется новыми возможностями формирования сигналов на основе широкого использования вычислительных алгоритмов и цифровых схем, при этом даже известные сигналы, ранее

⁶ Для цитирования: Дёмко, А. И. Сложные сигналы на основе кодов Фрэнка // Вестник кибернетики. 2023. № 2 (46). С. 39–45.

⁷ For citation: Dyomko A. I. Complex signals based on Frank codes// Proceedings in Cybernetics. 2023. №. 2 (46). P. 39–45.

не применявшиеся из-за технических ограничений, могут получить второе рождение. Детальный анализ известных сигналов может приводить к синтезу новых сигналов с близкими свойствами. В статье рассматриваются многофазные сигналы, логически связанные по своей структуре и корреляционным свойствам с сигналами на основе кодов Фрэнка.

Материалы и методы. Свойства радиотехнических систем во многом определяются используемыми сигналами, которые подразделяются на простые (с близким к единице произведением длительности сигнала T на ширину спектра $\Delta\omega$ — базой $B = T \cdot \Delta\omega$) и сложные со значением базы много больших единицы [1–4].

Области применения и корреляционные свойства сигналов характеризуются функцией неопределенности $\chi(\tau, F)$ (ФН)

$$\chi(\tau, F), \quad (1)$$

где τ — временной сдвиг;

F — частотный сдвиг.

Для ограниченного во времени сигнала пределы интегрирования при вычислении ФН определяются длительностью сигнала:

$$\chi(\tau, F) = \int_{-\frac{T}{2} + \tau}^{\frac{T}{2}} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t - \tau) e^{j2\pi Ft} dt, \quad 0 \leq \tau \leq T. \quad (2)$$

Функцию неопределенности можно определить как для одиночного, так и для периодического сигнала — периодическую функцию неопределенности (ПФН) $\chi_T(\tau, F)$:

$$\chi_T(\tau, F) = \int_{-\frac{T}{2}}^{-\frac{T}{2} + \tau} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t + T - \tau) e^{j2\pi Ft} dt + \int_{-\frac{T}{2} + \tau}^{\frac{T}{2}} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t - \tau) e^{j2\pi Ft} dt, \quad 0 \leq \tau \leq T, \quad (3)$$

где первый интеграл учитывает корреляцию левой части периода сигнала с окончанием предыдущего периода задержанного сигнала.

ФН и ПФН имеют в начале координат максимальное значение (главный максимум), определяемое энергией сигнала.

$$\chi(0,0) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t) dt = \mathcal{E}, \quad (4)$$

$$\chi_T(0,0) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t) dt = \mathcal{E}. \quad (5)$$

В окрестностях главного максимума (боковые лепестки) значения этих функций уменьшаются. Удобнее для анализа нормированные к энергии ФН и ПФН.

$$\chi'(\tau, F) = \frac{1}{\mathcal{E}} \int_{-\frac{T}{2}+\tau}^{\frac{T}{2}} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t-\tau) e^{j2\pi Ft} dt, \quad 0 \leq \tau \leq T. \quad (6)$$

$$\chi(\tau, F) = \frac{1}{\mathcal{E}} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}+\tau} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t+T-\tau) e^{j2\pi Ft} dt + \frac{1}{\mathcal{E}} \int_{-\frac{T}{2}+\tau}^{\frac{T}{2}} \dot{S}(t) \cdot \dot{S}^*(t-\tau) e^{j2\pi Ft} dt, \quad 0 \leq \tau \leq T. \quad (7)$$

Любой сигнал может быть представлен в тригонометрической:

$$s(t) = S_m \cos[\psi(t)], \quad (8)$$

или комплексной форме:

$$\dot{S}(t) = S_m e^{j\psi(t)}, \quad (9)$$

где S_m — амплитуда сигнала,

$\psi(t)$ — текущая фаза

$$\psi(t) = \omega_0 t + \varphi_0 \quad (10)$$

Многофазные квантованные сигналы на основе кода (матрицы) Фрэнка [1] имеют в периодически следующие моменты времени nmT ($n = 0, 1, 2, \dots, N-1$; $m = 0, 1, 2, \dots, N-1$) фазу:

$$\varphi_{nm} = \frac{2\pi k_{nm}}{N}, \quad n = 0, 1, N-1; \quad m = 0, 1, N-1, \quad (11)$$

где n — номер столбца;

m — номер строки;

k_{nm} — коэффициенты образующей матрицы Фрэнка.

$$[k_{nm}] = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & \dots & n & (N-1) \\ 0 & 2 & 4 & \dots & 2 \cdot n & 2(N-1) \\ 0 & 3 & 6 & \dots & 3 \cdot n & 3(N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & m & m \cdot 2 & \dots & m \cdot n & m \cdot (N-1) \\ 0 & (N-1) & (N-1) \cdot 2 & \dots & (N-1) \cdot n & (N-1)(N-1) \end{pmatrix} \quad (12)$$

Последовательность коэффициентов k_{nm} образуется считыванием строки за строкой (или столбец за столбцом) элементов матрицы, при этом число элементов в последовательности $K = N^2$.

На рис. 1 изображен закон изменения фазы для последовательности Фрэнка из 16 элементов ($N = 4$). Каждый из линейных участков соответствует определенной строке матрицы, от строки к строке скорость изменения фазы нарастает.

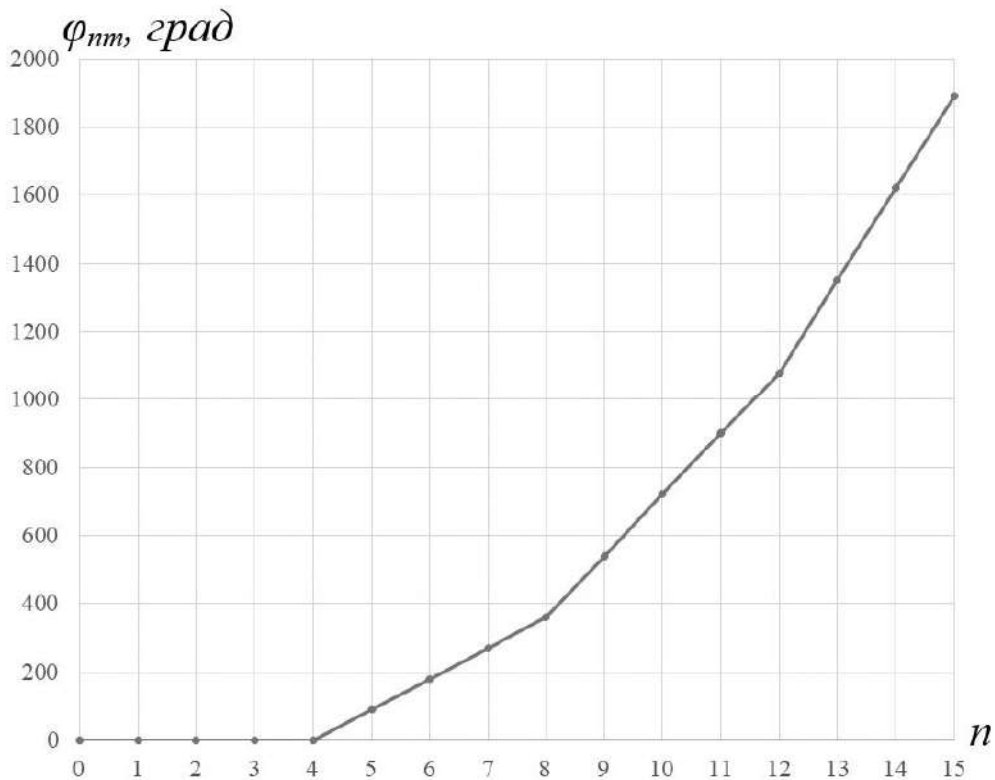


Рис. 1. Закон изменения фазы многофазного сигнала на основе кода Фрэнка для последовательности из 16 элементов ($N = 4$)

Примечание. Составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Результаты и их обсуждение. Проанализируем многофазные сложные сигналы на основе кодов Фрэнка, на основании чего опишем сигналы с близкой частотно-временной структурой.

Многофазным сложным сигналам на основе кодов Фрэнка соответствует две возможных реализации:

- многофазный сигнал из N^2 радиоимпульсов с начальными фазами (11);
- частотно-манипулированный сигнал с N значениями частоты.

$$\omega_n = \omega_0 + \frac{2\pi n}{TN}, \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (13)$$

Примечательным свойством многофазного квантованного сложного сигнала на основе кодов Фрэнка является нулевой уровень боковых лепестков нулевого сечения ПФН $\chi_T(\tau, 0)$.

Единичная (непериодическая) ФН имеет ненулевой, но достаточно низкий уровень боковых лепестков нулевого сечения $\chi(\tau, 0)$. На рис. 2–4 приведены нулевые сечения нормированной ФН многофазного сигнала на основе кода Фрэнка для последовательности из 16 элементов ($N = 4$), 64 элементов ($N = 8$) и 256 элементов ($N = 16$).

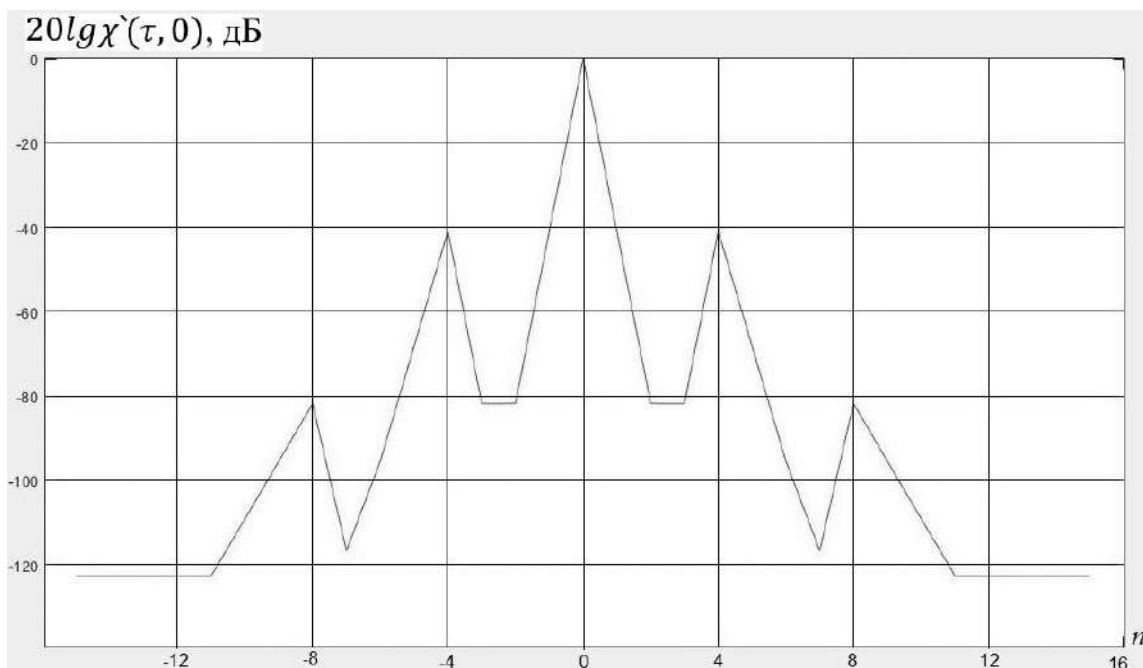


Рис. 2. Нулевое сечение нормированной ФН многофазного сигнала на основе кода Фрэнка для последовательности из 16 элементов ($N = 4$)

Примечание. Составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

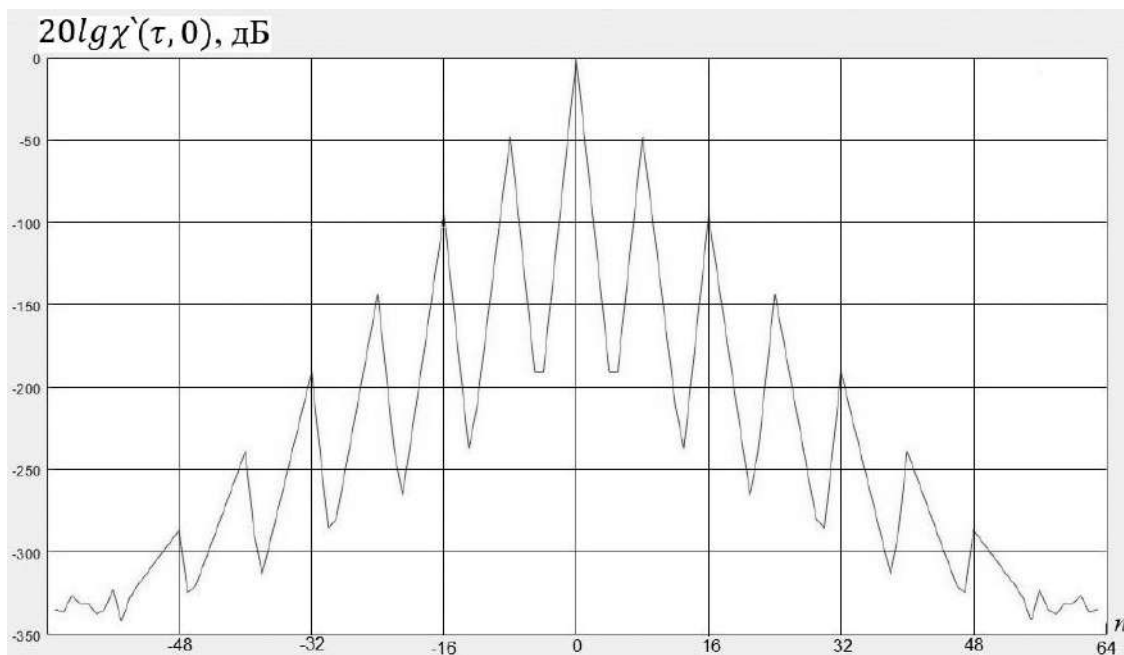


Рис. 3. Нулевое сечение нормированной ФН многофазного сигнала на основе кода Фрэнка для последовательности из 64 элементов ($N = 8$)

Примечание. Составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

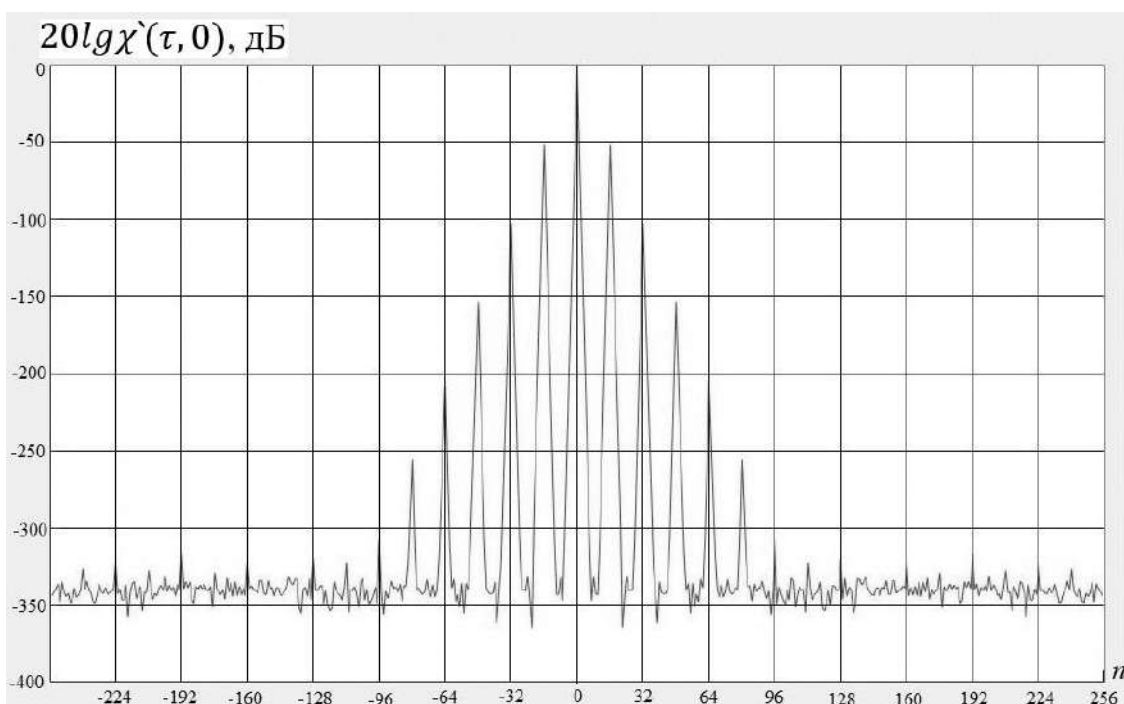


Рис. 4. Нулевое сечение нормированной ФН многофазного сигнала на основе кода Фрэнка для последовательности из 256 элементов ($N = 16$)

Примечание. Составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Анализ результатов расчетов нулевых сечений ФН сигналов на основе кодов Фрэнка показывает:

1. Нулевые сечения ФН имеют боковые лепестки, уровень которых спадает при увеличении расстояния от главного максимума.
2. Первые боковые лепестки, симметрично расположенные относительно главного максимума, отстоят от главного максимума на число элементов N , на таком же расстоянии отстоят друг от друга остальные боковые лепестки.
3. Существенными можно считать лишь два первых боковых лепестка, симметрично расположенных вблизи главного максимума, уровень остальных боковых лепестков не превышает -60 дБ от главного максимума.

На рис. 5 представлен график зависимости уровня максимальных боковых лепестков ФН многофазного сигнала на основе кода Фрэнка от числа элементов в последовательности K (от параметра последовательности N). Здесь же для сравнения представлен уровень боковых лепестков последовательности максимальной длины [5] — M -последовательности, равной:

$$20\lg\left(\frac{1}{K}\right) = -20\lg(K)$$

для ПФН и

$$20\lg\left(\frac{1}{\sqrt{K}}\right) = -20\lg(\sqrt{K}) = -10\lg(K)$$

для ФН. Если даже для последовательностей небольшой длины (от 16 элементов) уровень максимальных боковых лепестков сигнала на основе кода Фрэнка не превышает $-40,9$ дБ, то для последовательностей большой длины (1024 элементов и более) уровень максимальных боковых лепестков не превышает $-52,9$ дБ, что как минимум на $18,6$ дБ ниже, чем для M -последовательности.

Анализ структуры фазы подынтегрального выражения (2) приводит к существованию других многофазных сигналов, корреляционные свойства которых должны быть близкими кодам Фрэнка (варианты модификации многофазных кодов Фрэнка).

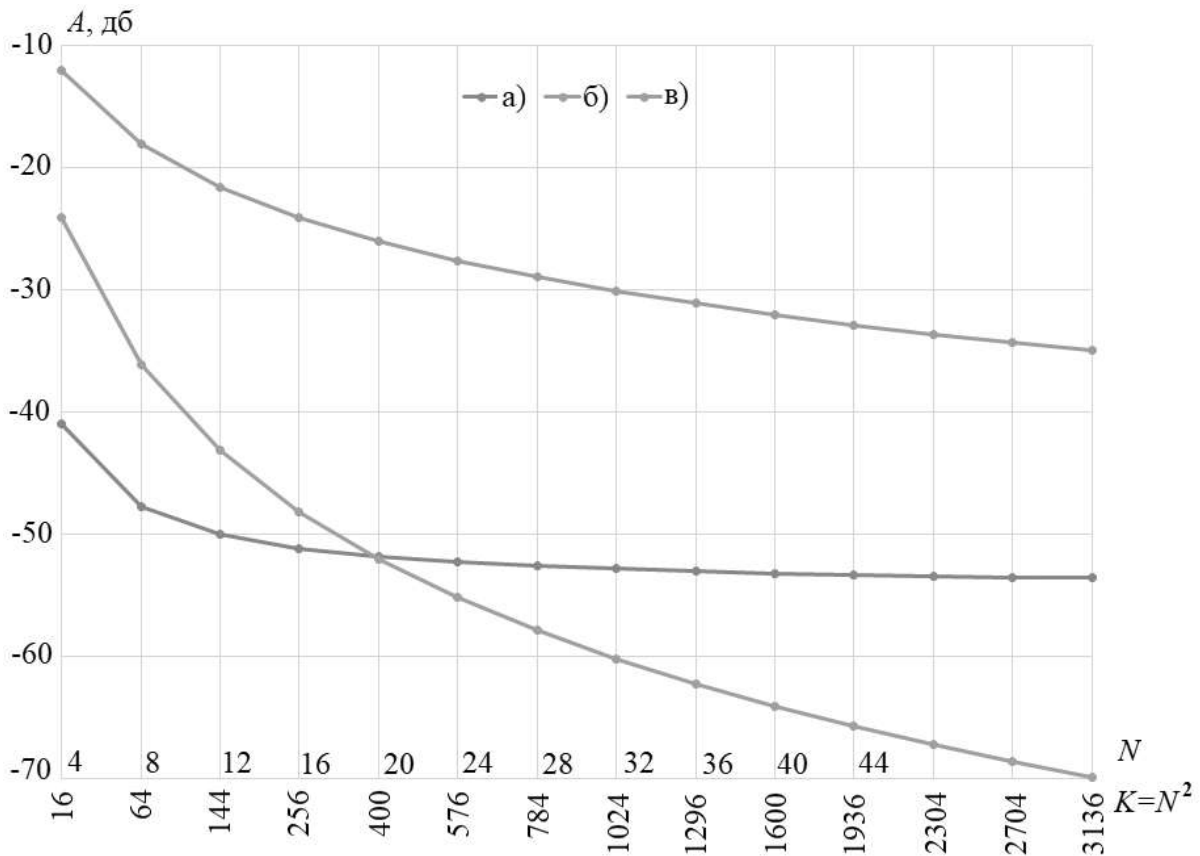


Рис. 5. Зависимость уровня боковых лепестков ФН сигналов от числа элементов в последовательности K : а) УБЛ ФН кодов Фрэнка,

б) УБЛ ПФН M -последовательности, в) УБЛ ФН M -последовательности

Примечание. Составлено авторами на основании данных, полученных в исследовании.

Можно предположить, что аналогичный рассмотренным и приведенным на рисунках (рис. 2–4) вид сечений ФН имеют многофазные квантованные сложные сигналы на основе укороченных последовательностей Фрэнка:

а) при считывании элементов последовательности по главной диагонали, при этом последовательность коэффициентов имеет квадратичный закон изменения:

$$k_{nm} = n^2, \quad n = 0, 1, \dots, N-1,$$

число элементов в последовательности $K = N$ [6];

б) при считывании строк не поочередно друг за другом, а с пропуском одной:

$$K = N \left(\frac{N}{2} \right) = \frac{N^2}{2},$$

или двух:

$$K = N \left(\frac{N}{3} \right) = \frac{N^2}{3},$$

или трех:

$$K = N \left(\frac{N}{4} \right) = \frac{N^2}{4}$$

и в предельном случае, когда остается всего две строки, $K = 2N$;

в) при считывании последовательно всех строк, но в каждой строке считываются не все элементы, а через один:

$$K = \left(\frac{N}{2} \right) N = \frac{N^2}{2},$$

или через два:

$$K = \left(\frac{N}{3} \right) N = \frac{N^2}{3},$$

или через три:

$$K = \left(\frac{N}{4} \right) N = \frac{N^2}{4},$$

и в предельном случае, когда остается всего два столбца, $K = 2N$.

Соответственно, варианты «б» и «в» эквивалентны использованию не квадратной образующей матрицы, а прямоугольной, сжатой по вертикали (число столбцов равно N , а строк меньше) — для варианта «б» и прямоугольной, сжатой по горизонтали (число строк равно N , а столбцов меньше) — для варианта «в».

Более общие модификации вариантов «б» и «в» можно получить, вводя коэффициент сжатия по горизонтали (модифицированный код Фрэнка первого рода):

$$r_1 = \frac{P}{N}, \tag{14}$$

где P — число столбцов от 2 до $N-2$ (при числе строк N) и коэффициент сжатия по вертикали (модифицированный код Фрэнка второго рода)

$$r_2 = \frac{Q}{N}, \tag{15}$$

где Q — число строк от 2 до $N-2$ (при числе столбцов N).

Образующая матрица для модифицированного кода Фрэнка первого рода имеет форму прямоугольника шириной P ($P < N$) элементов и высотой N элементов и числе элементов $K = N \cdot P$.

$$[k_{nm}] = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1r_1 & 2r_1 & \dots & nr_1 & (P-1)r_1 \\ 0 & 2r_1 & 4r_1 & \dots & 2 \cdot nr_1 & 2(P-1)r_1 \\ 0 & 3r_1 & 6r_1 & \dots & 3 \cdot nr_1 & 3(P-1)r_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & mr_1 & m \cdot 2r_1 & \dots & m \cdot nr_1 & m \cdot (P-1)r_1 \\ 0 & (N-1)r_1 & (N-1) \cdot 2r_1 & \dots & (N-1) \cdot nr_1 & (N-1)(P-1)r_1 \end{vmatrix} \quad (16)$$

Образующая матрица для модифицированного кода Фрэнка второго рода имеет форму прямоугольника шириной N элементов и высотой Q ($Q < N$) элементов и числе элементов $K = Q \cdot N$.

$$[k_{nm}] = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1r_2 & 2r_2 & \dots & nr_2 & (N-1)r_2 \\ 0 & 2r_2 & 4r_2 & \dots & 2 \cdot nr_2 & 2(N-1)r_2 \\ 0 & 3r_2 & 6r_2 & \dots & 3 \cdot nr_2 & 3(N-1)r_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & mr_2 & m \cdot 2r_2 & \dots & m \cdot nr_2 & m \cdot (N-1)r_2 \\ 0 & (Q-1)r_2 & (Q-1) \cdot 2r_2 & \dots & (Q-1) \cdot nr_2 & (Q-1)(N-1)r_2 \end{vmatrix} \quad (17)$$

Заключение. Многофазные сигналы на основе кода Фрэнка имеют нулевой уровень боковых лепестков нулевого сечения периодической функции неопределенности.

Максимальный уровень боковых лепестков нулевого сечения функции неопределенности кодов Фрэнка меньше — 40 дБ, что вполне достаточно для практического применения таких сигналов в большинстве задач радиолокации и связи.

Максимальный уровень боковых лепестков нулевого сечения функции неопределенности кодов Фрэнка меньше соответствующей величины для M -последовательностей на 18 дБ и более.

Многофазная последовательность с квадратичным законом изменения фазы является модифицированным вариантом сигнала на основе кодов Фрэнка при считывании элементов образующей матрицы по главной диагонали.

Модифицированные последовательности с хорошими корреляционными свойствами на основе кодов Фрэнка могут быть образованы путем сжатия образующей матрицы по горизонтали или по вертикали.

Представленные в статье результаты могут быть использованы в радиолокационных и связных радиотехнических системах.

Список использованной литературы

1. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Ч. Кук, М. Бернфельд. — М. : Сов. радио. 1971. — 568 с.
2. Ипанов, Р. Н. Импульсные полифазные сигналы с нулевой зоной автокорреляции и алгоритм их сжатия / Ипанов // Радиотехника и электроника. — 2020. — № 6 (65). — С. 578–586.
3. Саранча, А. М. Увеличение дальности помехоподавления в импульсно-доплеровской радиолокации / А. М. Саарнча // Научные дискуссии в эпоху мировой нестабильности: пути совершенствования. — 2022. — Том 1. — С. 341–343.
4. Коврегин, В. Н. Метод обнаружения/идентификации нескольких малоскоростных целей со сложным спектром в импульсно-доплеровских радарах с ЛЧМ-излучением / В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина, А. С. Мурзаев // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы. — 2022. — Том 2. — С. 135–139.
5. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. — М. : Радио и связь, 1985. — 384 с.
6. Дёмко, А. И. Формирование многофазных сигналов с квантованием фазы / А. И. Дёмко, О. Ю. Семенов // Вестник кибернетики. — № 2 (46). — 2022. — С. 39–45.
7. Sheikh I. A., Pannu N. K. Review of Polyphase Filtering Technique in Signal Processing // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. 2018. Vol. 7, Is. 12. P. 213–221.
8. Жукова, И. Н. Синтез квазинепрерывных сигналов методом композиции ансамбля многофазных сигналов / И. Н. Жукова // Вестник Новгородского гос. ун-та. Сер. Техн. науки. — 2014. — № 81. — С. 17–20.
9. Дёмко, А. И. Методы построения OFDM-систем и обработки радиосигнала в программе Matlab Simulink / А. И. Дёмко, О. Ю. Семенов // Современ.

наука: актуал. проблемы теории и практики. Сер. Естествен. и техн. науки. — 2019. — № 11–2. — С. 47–54.

10. Быстров, Н. Е. Синтез сложных сигналов с квазинепрерывным энергетическим спектром / Н. Е. Быстров, И. Н. Жукова, С. Д. Чеботарев // Изв. ВУЗов России. Радиоэлектроника. — 2012. — Вып. 2. — С. 37–43.

11. Леухин, А. Н. Бесконечные множества фазокодированных последовательностей с одноуровневой периодической автокорреляционной функцией / А. Н. Леухин, Н. В. Парсаев // Радиотехника. — 2009. — № 12. — С. 6–11.

УДК 004.45

Понов Г. А.

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

ИНТЕГРАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЯ КОНТРОЛЛЕРА
УМНОГО ДОМА ПО ПРОТОКОЛУ Z-WAVE НА УСТРОЙСТВА
СЕРИИ NTU-RG-54XX-WZ

г. Новосибирск

Аннотация. В работе представлены результаты интеграции системы умного дома на устройства компании ООО «Предприятие «Элтекс» серии NTU-RG-54XX-WZ в соответствии с ранее выбранным протоколом Z-Wave. В процессе интеграции была налажена сборка системы умного дома в составе проекта NTU-RG-54XX-WZ, добавлена форма в веб-интерфейс устройства для конфигурирования параметров контроллера. Также было реализовано сохранение данных из веб-формы в энергонезависимую память и их передача на входные параметры приложения контроллера.

Ключевые слова: умный дом, Z-Wave, контроллер.

Popov G. A.

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

INTEGRATION OF THE SMART HOME CONTROLLER
SOFTWARE INTO NTU-RG-54XX-WZ SERIES DEVICES USING
THE Z-WAVE PROTOCOL

Novosibirsk

Abstract. The paper presents results of the integration of the smart home controller software into NTU-RG-54XX-WZ series devices by the Eltex company according to the Z-Wave protocol chosen earlier. During the integration, the smart home system was built as a part of the NTU-RG-54XX-WZ project, a form

was added to the device web interface for configuring the controller parameters. Saving data from the web form to non-volatile memory and passing it to the input parameters of the controller application was also implemented.

Keywords: *smart home, Z-Wave, controller.*

1. Введение

В предыдущих работах были рассмотрены протоколы умного дома. В результате обзора технологий автоматизации дома и офиса, а также поставленного технического задания, протокол Z-Wave был выбран в качестве протокола, который будет реализован на устройстве [2].

Оптические терминалы компании ООО «Предприятие «Элтекс» NTU-RG-54XX-WZ представляют собой домашние роутеры, но имеющие вместо Ethernet WAN — PON WAN. Устройства предназначены для преобразования оптического сигнала, полученного от стационарного оборудования провайдера по пассивным оптическим сетям, в удобный конечному пользователю вид — для беспроводной передачи или по витой паре. На данный момент на устройствах NTU-RG-54XX-WZ поддерживаются VoIP, IPTV и другие необходимые абоненту сервисы [1]. Целью данной работы является интеграция системы умного дома по протоколу Z-Wave на устройства серии NTU-RG-54XX-WZ для последующего коммерческого использования.

Задачами данной работы являются:

- 1) перенести кодовую базу системы умного дома (контроллер и набор API для доступа к чипу) в проект NTU-RG-54XX;
- 2) наладить сборку системы умного дома в составе проекта NTU-RG-54XX;
- 3) добавить форму, отвечающую за конфигурацию приложения контроллера, в веб-интерфейс оптического терминала;
- 4) произвести передачу параметров из формы веб-интерфейса во входные параметры приложения контроллера;
- 5) продублировать функционал формы веб-интерфейса в скриптах для упрощения отладки;
- 6) добавить мониторинг для приложения контроллера.

2. Интеграция системы умного дома

По логике проекта NTU-RG-54XX-WZ все приложения должны располагаться в директории user (т. е. в userspace OS Linux), поэтому было принято

решение создать директорию `zway`, в которую были помещены приложения контроллера и приложения из набора API от поставщика чипов Z-Wave, а также недостающих библиотек для сборки системы умного дома. В результате была получена структура директорий, представленная на рис. 1.

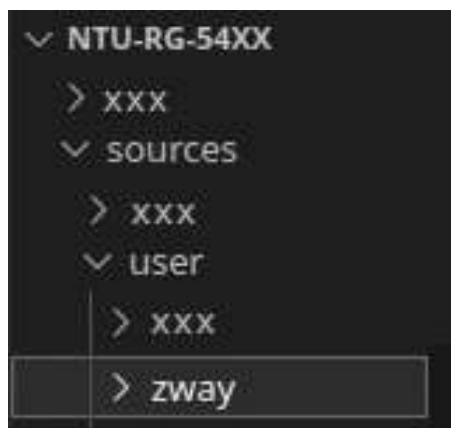


Рис. 1. Структура директорий

После добавления директории в структуру проекта необходимо было сделать так, чтобы проект собирался, а результат сборки присутствовал на конечном устройстве в директории `/bin/`. Этот функционал был добавлен в `Makefile`, находящийся в директории `zway`.

По структуре проекта каждая директория имеет свой `Makefile`, поэтому вызов `Makefile` для сборки всех компонентов `zway` должен выполнять из существующего `Makefile` в директории `user`, а тот, в свою очередь, уже вызывается из `Makefile` директории `sources`, который вызывается из корневого `Makefile`.

Также в `Makefile` `zway` был добавлен вызов скрипта, копирующий собранные файлы приложений умного дома в `romfs` устройства серии `NTU-RG-54XX-WZ`.

Так как только устройства серии `NTU-RG-54XX-WZ` семейства `NTU-RG-54XX` имеют модуль умного дома, то в корневом `Makefile` была добавлена особая цель с суффиксом `-zwave`, отвечающая за сборку проекта именно для этих устройств. Вызов цели с суффиксом `-zwave` устанавливает переменную окружения в состояние `1`, благодаря которой следующие `Makefile`'ы знают, нужна ли сборка системы умного дома для текущего устройства.

Следующим этапом интеграции стояла задача запуска приложения контроллера умного дома в удобном конечном пользователю виде, то есть

через веб-интерфейс устройства NTU-RG-54XX-WZ. Была добавлена простая форма в соответствующий логике раздел Сервисы (представлена на рис. 2). В данной форме можно включить/отключить контроллер Z-Wave, ввести адрес, порт и выбрать защищенное или незащищенное соединение с облачной платформой, а также произвести сброс контроллера к заводским настройкам (удаление всех датчиков и сценариев). При сбросе контроллера перед пользователем предстанет чистая форма.

The image shows the web interface of an ELTEX device, specifically the NTU-RG-5420G-WZ model. The interface has a top navigation bar with the ELTEX logo and the device model name. Below this is a menu with tabs: Status, LAN, WIFI, WAN, Services (selected), Advance, Diagnostics, Administration, and Statistics. On the left side, there is a sidebar menu with options: DHCP, DNS >, Firewall >, UPnP, RIP, DLNA, Samba >, and Zwave (highlighted). The main content area is titled 'Zwave Configuration' and contains the following settings:

- Zway: Disable Enable
- Hostname:
- Destination Port:
- Secure connection: Disable Enable

At the bottom of the configuration area, there are two buttons: 'Apply Changes' and 'Reset Controller'.

Рис. 2. Веб-форма

Последним этапом интеграции являлась передача параметров, полученных из формы веб-интерфейса устройства, на входные параметры приложения контроллера. Для этого параметры, заданные пользователем, переносятся в энергонезависимую память, чтобы после перезагрузки устройства заново не приходилось их вводить. Затем с параметрами из энергонезависимой памяти формируется команда на запуск приложения контроллера, которая выполняется в отдельном потоке.

Для упрощения отладки все функции для запуска приложения контроллера с входными параметрами из энергонезависимой памяти были продублированы скриптами, которые, в свою очередь, были также добавлены в директорию /bin/ romfs устройства.

Так как это коммерческое устройство с пользовательской базой, то важным фактором стал мониторинг процессов. Для решения этой задачи существует системная утилита, принимающая на вход наименование процесса. Данная утилита отвечает за мониторинг всех важных приложений в системе, что позволяет при некорректном поведении в экстренной ситуации перезагрузить устройство для восстановления корректной работы.

3. Заключение

В ходе работы была произведена интеграция системы умного дома на устройства серии NTU-RG-54XX-WZ. В процессе интеграции был внедрен код системы умного дома в устройства семейства NTU-RG-54XX, добавлена форма в веб-интерфейс устройства для конфигурирования контроллера, а также передача параметров, вводимых пользователем из формы, непосредственно на вход приложения контроллера.

Список использованной литературы

1. Абонентский терминал NTU-RG-5420G-WZ [Электронный ресурс]. — URL: https://eltex-co.ru/catalog/ont-gpon/abonentskiy_terminal_ntu-rg-5420g-wz/
2. Попов, Г. А. Анализ и выбор технологии для организации взаимодействия устройств умного дома с устройствами серии NTU-RG-54XX-WZ / Г. А. Попов // Наука. Технологии. Инновации.: сб. н. тр. всерос. науч. конф. молодых ученых (5–8 декабря 2022 г., г. Новосибирск) В 11 ч. — Новосибирск : НГТУ, 2022. — Ч. 1. — С. 100–101.

УДК 621

Прохорова Е. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАСЧЕТ ЭТАЛОННОГО СИГНАЛА АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА
В СИСТЕМАХ ИНТЕРНЕТА МЕДИЦИНСКИХ ВЕЩЕЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье приводится расчет эталонного сигнала электрокардиограммы, применимого для обработки сигналов с частотой сердечных сокращений 60 ударов в минуту. На основе данного сигнала на приемной стороне системы связи концепции Интернета вещей адаптивный фильтр, выступающий в роли восстанавливающего устройства, обрабатывает искаженный при передаче сигнал электрокардиограммы.

Ключевые слова: *адаптивный фильтр, электрокардиограмма, эталонный сигнал, Интернет вещей.*

Prokhorova E. V.

Surgut State University, Surgut

CALCULATION OF THE REFERENCE SIGNAL OF ADAPTIVE FILTER IN
INTERNET SYSTEMS OF MEDICAL THINGS

Surgut

Abstract. The article provides a calculation of the reference signal of the electrocardiogram, applicable for processing signals with a heart rate of 60 beats per minute. Based on this signal, on the receiving side of the communication system of the Internet of Things concept, an adaptive filter acting as a restoring device processes the signal distorted during transmission.

Keywords: *adaptive filter, electrocardiogram, reference signal, Internet of things.*

На сегодняшний день развитие сетей концепции Интернета вещей (IoT) происходит в условиях постоянного роста количества подключаемых устройств [2], что значительно осложняет проектирование каналов передачи, так как существующие протоколы не способны поддерживать передачу такого большого объема данных [1]. В качестве решения обозначенной проблемы можно уменьшать количество передаваемых по сети отчетов на передающей стороне с последующим восстановлением на приемной стороне различными методами: адаптивной фильтрацией, интерполяцией и т. п. При использовании в качестве восстановителя адаптивного фильтра основной трудностью является подбор эталонного сигнала, относительно которого будет производиться восстановление прореженных отчетов.

В данной статье описанная концепция будет рассматриваться с точки зрения Интернета медицинских вещей, так как, согласно ранжированию ожидаемой IoT-активности отраслей-потребителей, здравоохранение относится к числу дебиотантов по внедрению интернет-технологий в Российской Федерации [4].

В качестве исследуемых сигналов рассматриваются сигналы электрокардиограммы (ЭКГ), снятые с помощью профессионального пятнадцатиканального кардиографа Поли-Спектр-12/Е, в качестве восстанавливающего устройства выступает адаптивный фильтр, работающий по алгоритму метода наименьших квадратов (рис. 1).

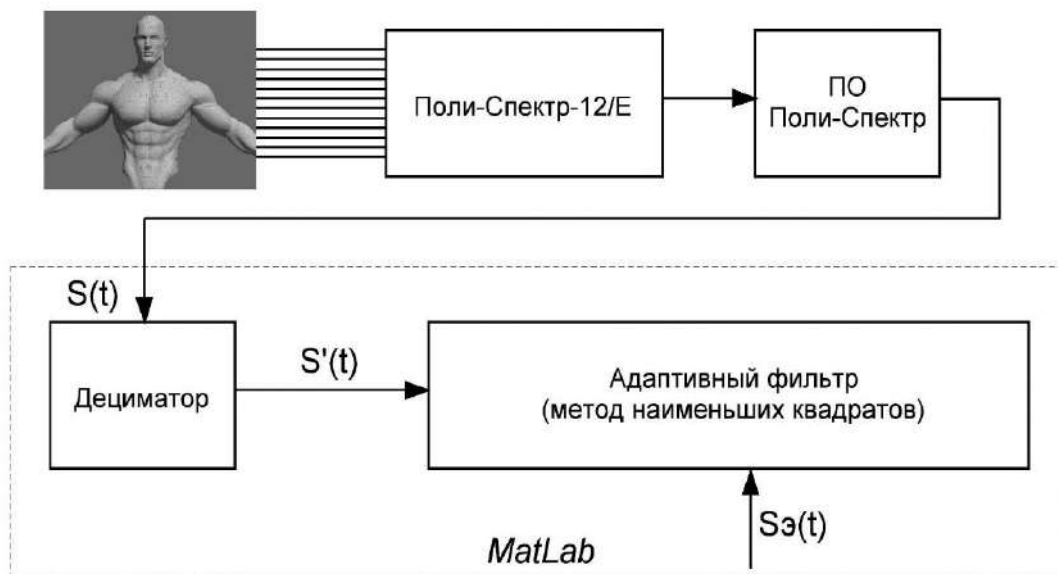


Рис. 1. Исследуемая модель

Алгоритм работы модели заключается в сборе данных кардиографом с частотой дискретизации 2000 Гц, прореживанием дискретного сигнала с коэффициентом децимации 2. Предложенный коэффициент позволяет снизить количество передаваемых отсчетов в два раза, при этом не нарушая условие Котельникова, так как верхняя частота полезной составляющей спектра ЭКГ находится в области 250 Гц (рис. 2).

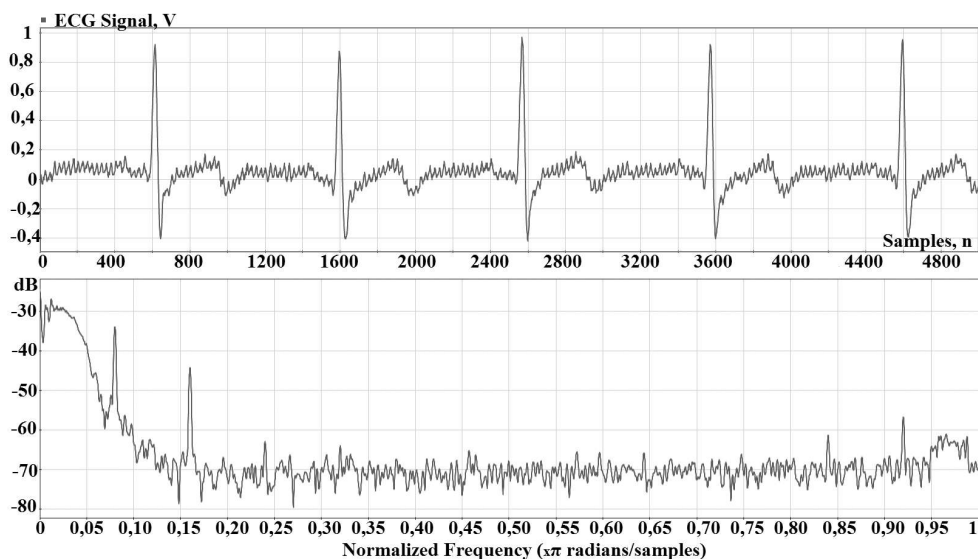


Рис. 2. Сигнал ЭКГ и его спектр

В ходе исследования снятие сигналов ЭКГ осуществлялось в течение трех минут с определенной категории людей: возраст — 16–19 лет, пол — мужской, образ жизни — профессиональные спортсмены. Немаловажным фактором для дальнейшей обработки также является индивидуальный параметр — частота сердечных сокращений (ЧСС), из-за чего из полученной выборки в 20 сигналов, были отобраны 9, где частота сердечных сокращений варьировалась в пределах 60–65 ударов в минуту. Расчет эталонного сигнала из полученной выборки проводился в несколько этапов.

1-й этап. В первую очередь было проведено исследование методов обработки ЭКГ в медицине и выявлено, что основную роль при анализе играет длительность основных зубцов и сегментов электрокардиограммы, определяющая процесс деполяризации и реполяризации желудочков сердца (рис. 3) [3]. Амплитуда QRS-комплекса сильно зависит от индивидуальных параметров человека, следовательно, при выводе эталонного сигнала основное внимание должно уделяться длительности сегментов P, PQ, QRS, ST и QT,

возможная погрешность которых регламентируется соответствующим стандартом ГОСТ Р МЭК 60601-2-25-2016.

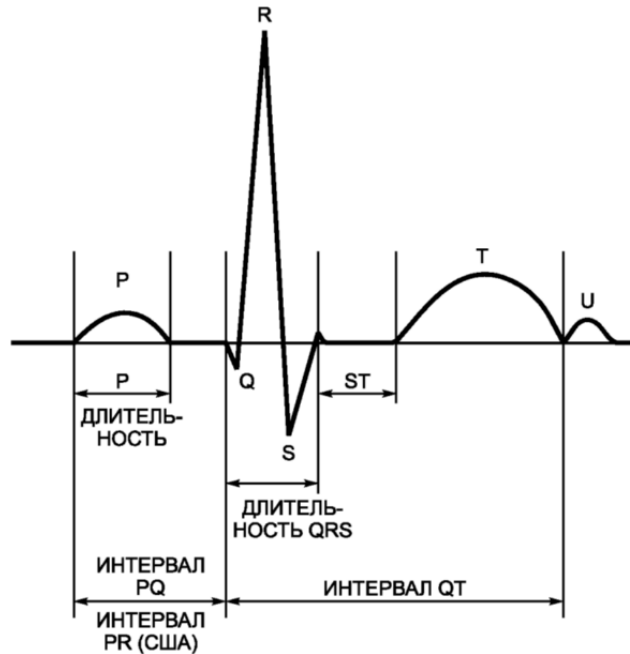


Рис. 3. Описание анализа сигнала ЭКГ (ГОСТ Р МЭК 60601-2-25-2016)

2 этап. После ознакомления с алгоритмом обработки электрокардиограммы была проведена автокорреляция сигналов и рассчитаны медианные значения для каждого испытуемого. В результате проделанной работы были получены 9 усредненных сигналов (рис. 4).

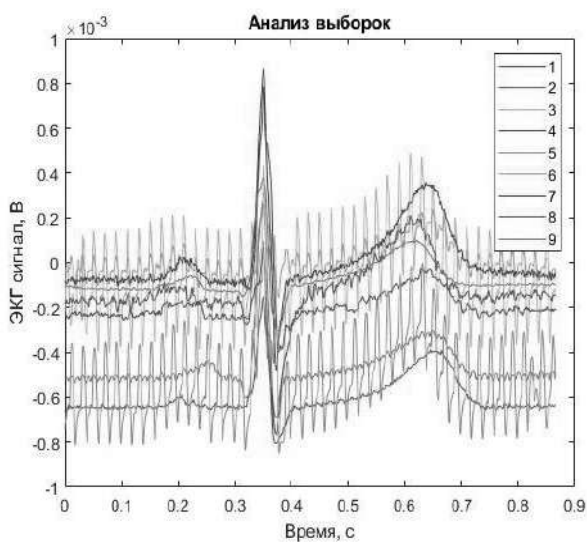


Рис. 4. Медианные сигналы ЭКГ

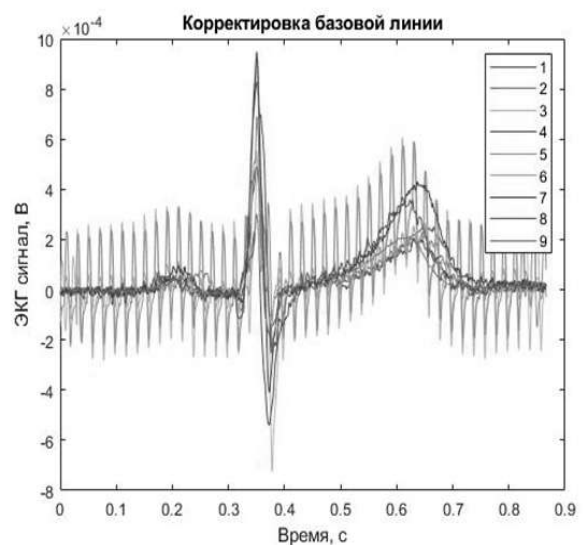


Рис. 5. Устранение дрейфа изолинии

Из рис. 4 видно, что дальнейшее усреднение сигналов между собой было невозможно из-за сильного дрейфа изолинии. Дрейф изолинии — техническое отклонение сигнала от базовой линии, вызванное тремором пациента. Следовательно, сначала была проведена корректировка сигналов относительно нулевой линии (рис. 5).

3 этап. После корректировки уровня базовой линии, был проведен корреляционный анализ медианных сигналов между собой и получен усредненный сигнал (рис. 6).

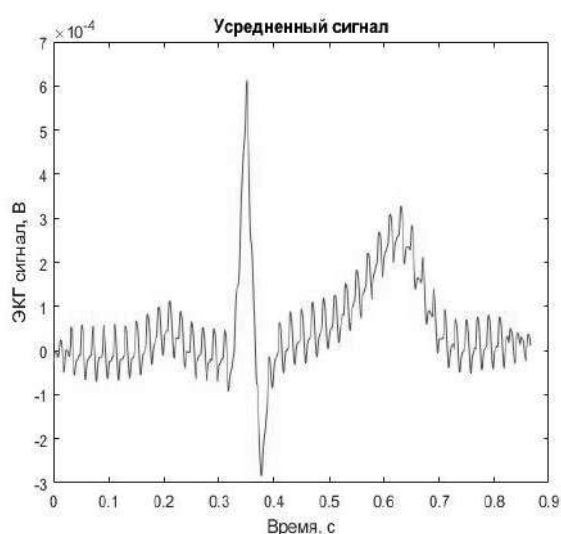


Рис. 6. Средний сигнал

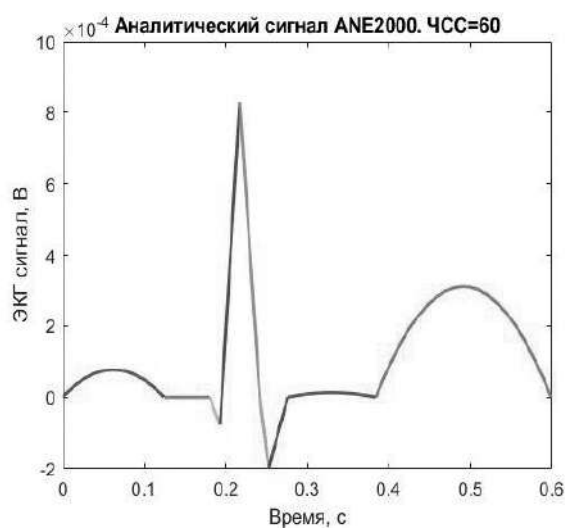


Рис. 7. Аналитический сигнал ANE20000

Полученный в результате корреляционного анализа усредненный сигнал был проверен на соответствие стандарту МЭК 60601-2-25-2016 с помощью представленного в нем атласа калибровочных и аналитических сигналов. Описанные сигналы применяются для проверки программного обеспечения (ПО) и работы медицинской аппаратуры. Из атласа был выбран и смоделирован аналитический сигнал ANE20000, так как он соответствует проверке ПО для анализа обработки сигналов с ЧСС, равной 60 (рис. 7). В результате сравнения усредненного сигнала с аналитическим было выявлено его полное соответствие по длительности указанным нормам (рис. 8, табл. 1).

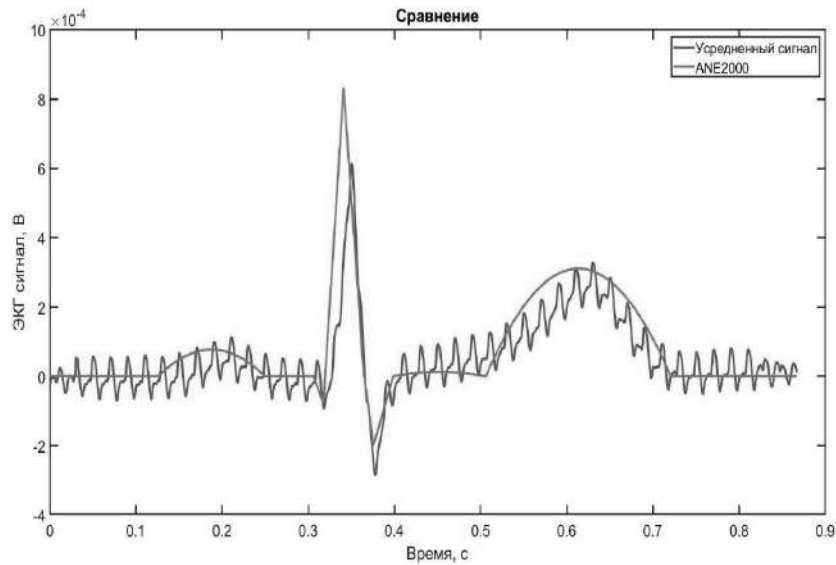


Рис. 8. Сравнение усредненного сигнала и аналитического

Таблица 1. — Результаты сравнения эталонного сигнала с ANE20000

Сегмент/зубец	Длительность, мс		Погрешность, мс	Допустимое среднее значение погрешности, мс
	Усредненный сигнал, мс	ANE20000		
Длительность зубца Р	120	124	4	+/-10
Интервал PQ (PR)	179,5	180	0,5	+/-10
Длительность комплекса QRS	89	94	5	+/-6
Интервал QT	410,5	416	5,5	+/-12
Длительность зубца Q	13,5	12	1,5	+/-6
Длительность зубца R	42	48	6	+/-6
Длительность зубца S	31	34	3	+/-6

4 этап. Для оценки работоспособности системы восстановления прореженных отчетов адаптивным фильтром на основе рассчитанного эталонного сигнала в системе MatLab была смоделирована система, изображенная на рис. 1. По результатам моделирования видно, что восстановление сигнала по длительности основных сегментов происходит практически со 100% точностью. Некоторые отклонения наблюдаются в амплитуде восстановленного

сигнала, что не играет критической роли для дальнейшего анализа электрокардиограммы медицинскими работниками (рис. 9).

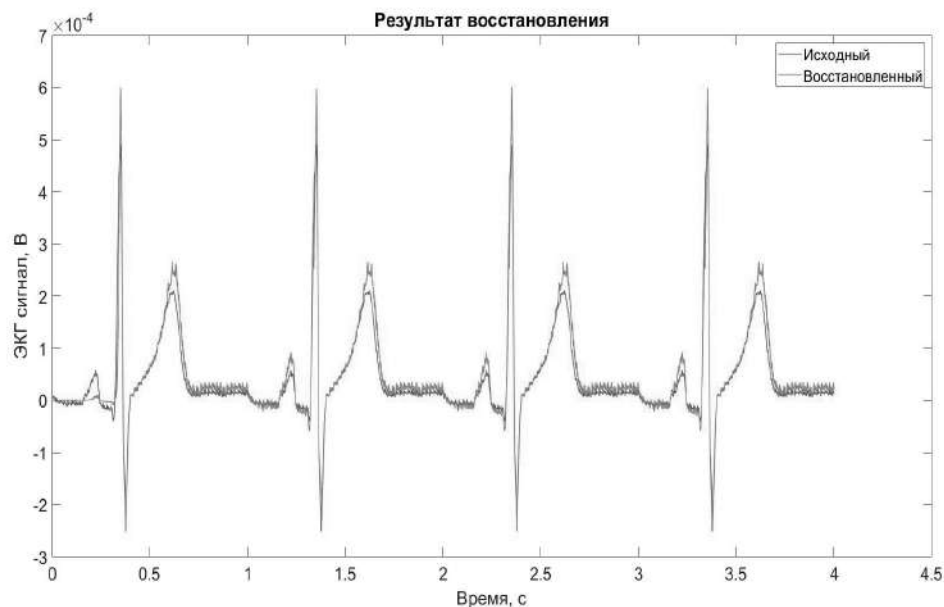


Рис. 9. Результат восстановления прореженного сигнала адаптивным фильтром

Таблица 2. — Корреляционный анализ восстановленного и исходного сигналов

Статистический параметр	Результат
Коэффициент корреляции	0,9739
Среднеквадратическое отклонение	87,0 мВ (для исходного сигнала)
	92,8 мВ (для восстановленного сигнала)
Коэффициент детерминации	0,9486
Коэффициент наклона	1,0387

По результатам проведенного для оценки степени схожести сигналов корреляционного анализа (табл. 2) можно сделать вывод, что описанная в статье концепция практически применима. Адаптивный фильтр, работающий на основе рассчитанного эталонного сигнала восстановил сигнал электрокардиограммы после прореживания с высокой степенью точности. Таким образом предложенная система способна снизить нагрузку на каналы передачи в два раза без потери качества.

Список использованной литературы

1. Авдеев, В. В. Исследование оптимизации систем связи Интернета вещей / В. В. Авдеев, М. Е. Емельянова, Е. В. Прохорова // Проблемы энергетики и телекоммуникаций Севера России : Сборник научных трудов III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Сургут, 21–22 апреля 2022 года. — Москва : Издательство «Знание-М», 2022. — С. 345–352 с.
2. Волков, А. Н. Сети связи пятого поколения на пути к сетям 2030 / А. Н. Волков, А. С. А. Мутханна, А. Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2020. — Том 8. № 2. — С. 32–43.
3. ГОСТ Р МЭК 60601-2-25-2016.
4. https://pltf.ru/wp-content/uploads/2019/02/internet_veschey_v_rossii_10_02_2019.pdf (Дата обращения: 17.04.2023)

УДК 621.376.9

Дёмко А. И., Радзин Д. Д.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАДИОИМПУЛЬСНЫЕ СИГНАЛЫ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ
ЗАКОНАМИ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗЫ

г. Сургут

Аннотация. Статья посвящена исследованию нулевых сечений функции неопределенности различных модификаций сигналов, значения фаз которых формируются на основе кодовых последовательностей Фрэнка. Предлагаемые методы могут использоваться для синтеза сигналов с хорошими корреляционными свойствами для использования в радиолокации.

Ключевые слова: код Фрэнка, кодовая последовательность, функция неопределенности.

Dyomko A. I., Radzin D. D.

Surgut State University, Surgut

RADIO PULSE SIGNALS WITH MODIFIED LAWS OF PHASE CHANGE

Surgut

Abstract. The article is devoted to the study of zero cross-sections of the uncertainty function of various signal modifications, the phase values of which are formed on the basis of Frank code sequences. The proposed methods can be used to synthesize signals with good correlation properties for use in radar.

Keywords: Frank code, code sequence, uncertainty function.

Сигналы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ) широко применяются в радиовещании, радиолокации, устройствах телеметрии, промышленности, медицине. Наряду с ними распространены различные радиоимпульсные последовательности.

Ключевыми особенностями ЛЧМ-сигналов являются возможность сжатия (при согласованной обработке) импульсов большой длительности, возможность изменения девиации частоты, высокая достижимая разрешающая способность по дальности скорости, низкий уровень боковых лепестков [1].

Одним из близких по корреляционным свойствам ЛЧМ-сигналу является сигнал на основе кодов Фрэнка. Код Фрэнка определяет квадратную матрицу коэффициентов, для которых фазы радиоимпульсов изменяются по линейно-квадратичному закону, вследствие чего частота сигнала изменяется по линейно-ступенчатому закону [2].

Сигнал на основе кода Фрэнка описывается формулой [3]:

$$S(t) = S_m \exp j(\omega_0 t + \varphi_n),$$

где S_m — амплитуда сигнала,

φ_n — фаза сигнала,

ω_0 — угловая частота,

t — время.

Значение фазы вычисляется по формуле:

$$\varphi_n = 2\pi K_n / N,$$

где K — число, определяемое квадратной матрицей кода Фрэнка,

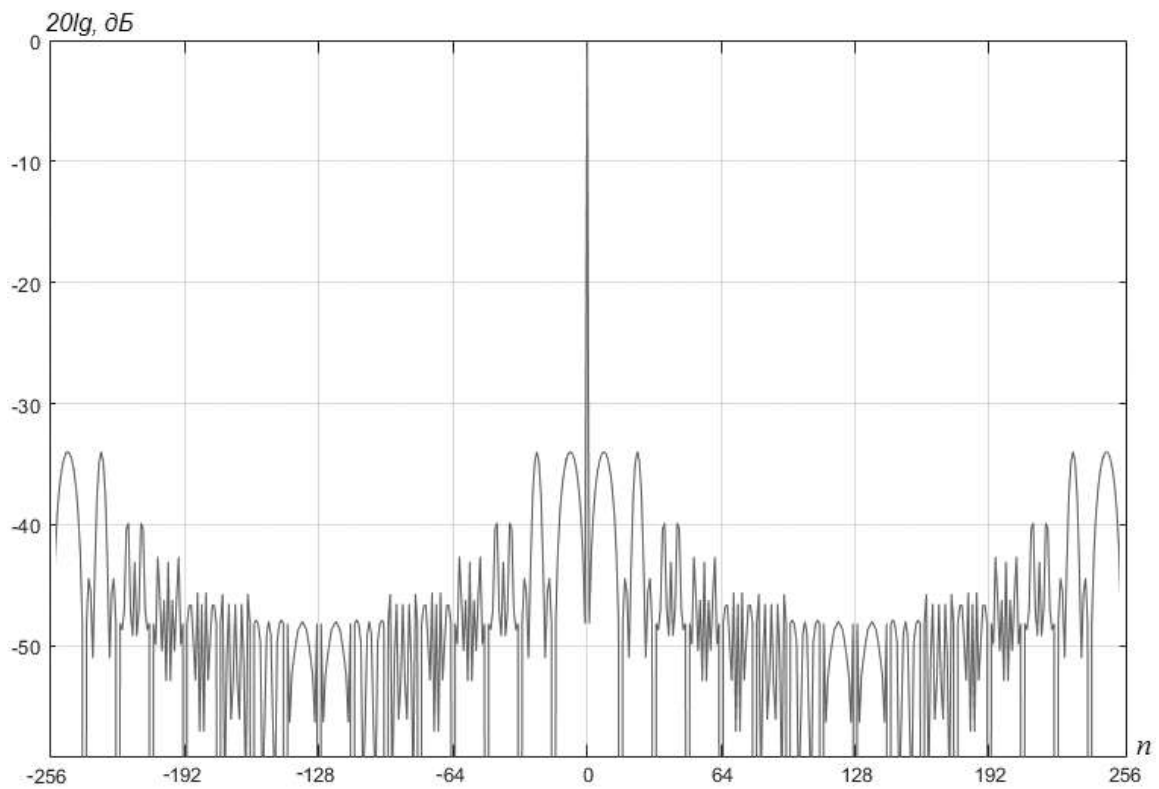
N — размерность матрицы.

$$[K] = \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & \dots & (N-2)(N-1) & 0 & 2 & 4 & \dots & 2(N-2) & 2(N-1) & 0 & 3 & 6 & \dots & 3(N-2) \\ 3(N-1) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & N-2 & (N-2) & 2 & \dots & (N-2)(N-2) & (N-2)(N-2) & (N-1) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & N-1 & (N-1) & 2 & \dots & (N-1)(N-2) & (N-1)(N-1) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix}$$

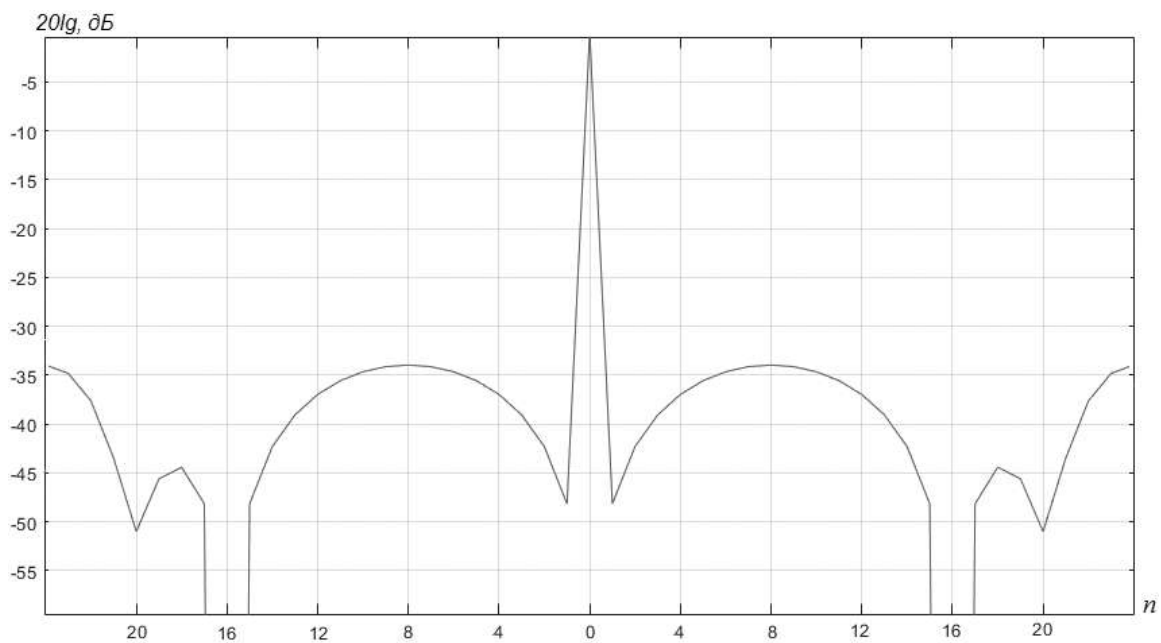
Данную матрицу при вычислении φ_n можно считать как по строкам, так и по столбцам.

Функция неопределенности (ФН) представляет собой интеграл от произведения сигнала, умноженного на свою сдвинутую по времени и частоте копию [3], и характеризует параметры обнаружения движущихся объектов, точность измерения и разрешающую способность по дальности и скорости, помехоустойчивость и помехозащищенность.

На рис. 1 представлен график нулевого сечения нормированной ФН сигнала из 256 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$).



а)



б)

Рис. 1. График нулевого сечения ФН-сигнала из 256 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$): а) в полном диапазоне задержек, б) в диапазоне ± 24 элементов вблизи главного максимума

Сечения ФН имеют максимум в совпадающие моменты времени (задержка равна нулю) и боковые лепестки, причем максимальные по величине боковые лепестки расположены вблизи главного максимума симметрично для положительных и отрицательных временных сдвигов (-33,97 дБ относительно главного максимума).

Рассмотрим варианты модификаций с использованием элементов матрицы кода Фрэнка:

1. Выбор элементов по главной диагонали матрицы. Значения фаз при такой модификации изменяются по квадратичному закону. График нулевого сечения нормированной ФН сигнала из 16 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$) приведен на рис. 2 (уровень максимального бокового лепестка -18,75 дБ относительно главного максимума).

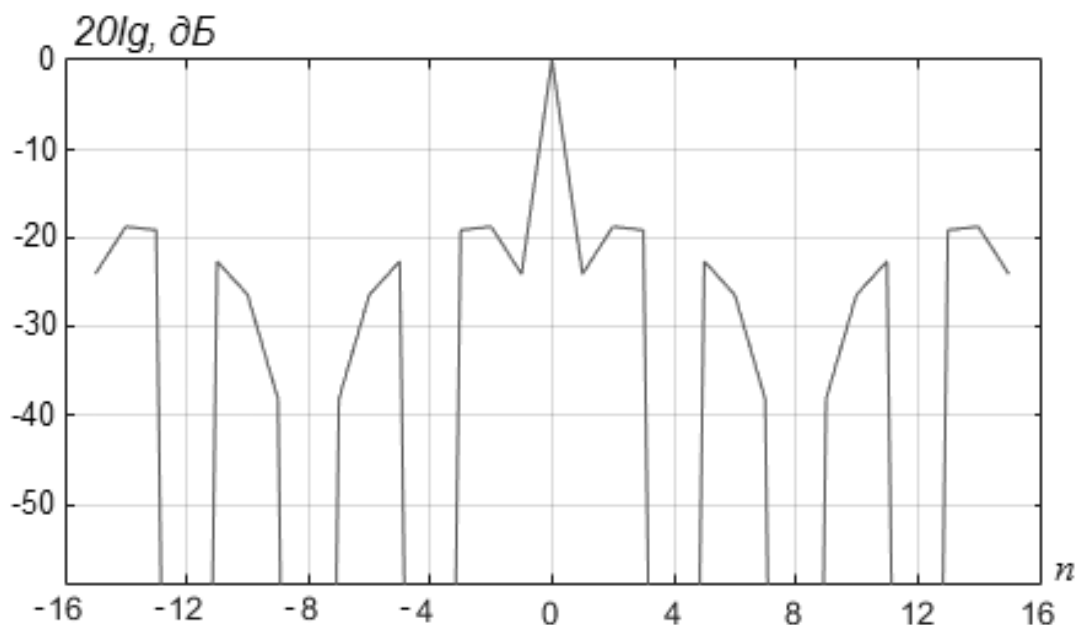
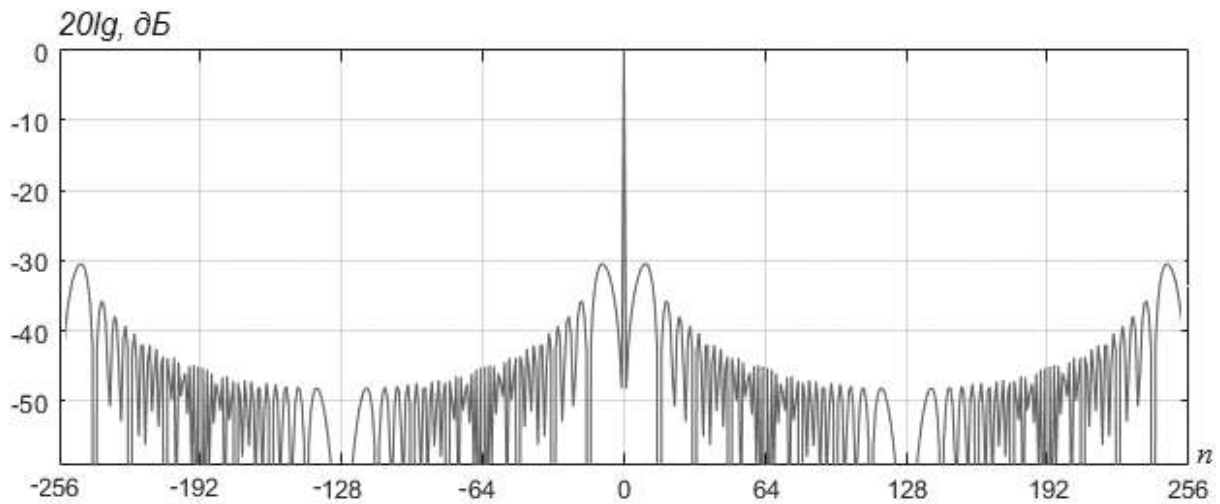
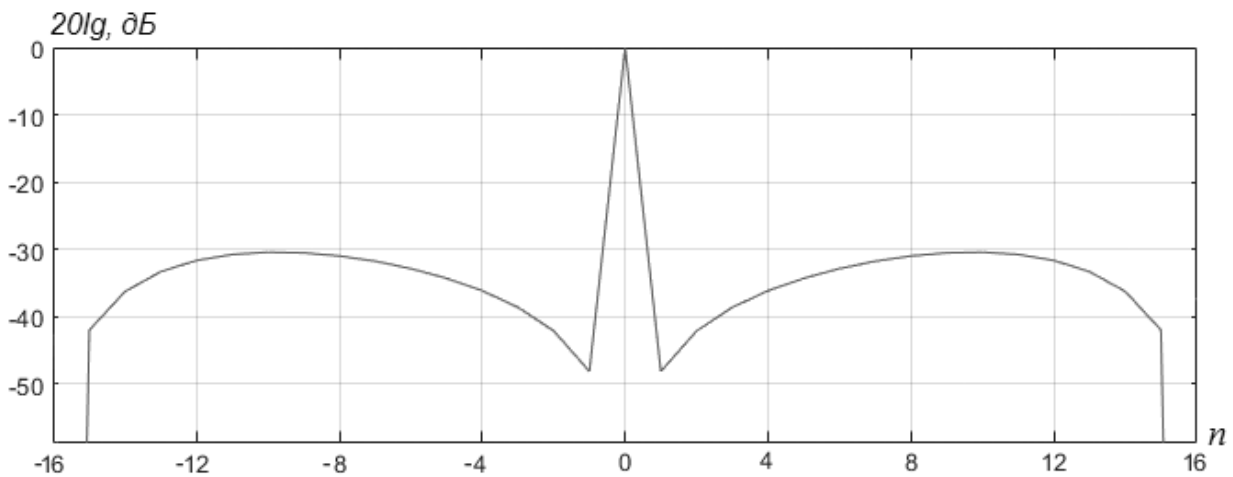


Рис. 2. График нулевого сечения ФН сигнала из 16 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$) при выборе значений по диагонали матрицы

На рис 3. приведен график нулевого сечения нормированной ФН сигнала из 256 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 256$), причем на рис. 3 б представлено изображение в увеличенном масштабе вблизи главного максимума (уровень максимального бокового лепестка -31 дБ относительно главного максимума). При сравнении рис. 3 и рис. 1 видно, что при одинаковом числе элементов (256) вид нулевого сечения нормированной ФН и уровень боковых лепестков отличаются незначительно (на 2,97 дБ).



а)



б)

Рис. 3. График нулевого сечения ФН сигнала из 256 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 256$) при выборе значений по диагонали матрицы: а) в полном диапазоне задержек, б) в диапазоне ± 16 элементов вблизи главного максимума

2. Выбор элементов с периодическим пропуском строк матрицы. График нулевого сечения нормированной ФН сигнала из 128 элементов на основе кода Фрэнка ($N=16$) при пропуске строк матрицы через одну приведен на рис. 4. В нулевом сечении нормированной ФН сигнала из элементов 128 ($N = 16$) при пропуске строк матрицы через одну на основе кода Фрэнка появляется два ярко выраженных боковых лепестка (уровень $-6,02$ дБ относительно главного максимума), расположенные посередине интервалов расчета (± 64 элемента) и равномерно распределенные боковые лепестки с уровнем не больше $-33,8$ дБ.

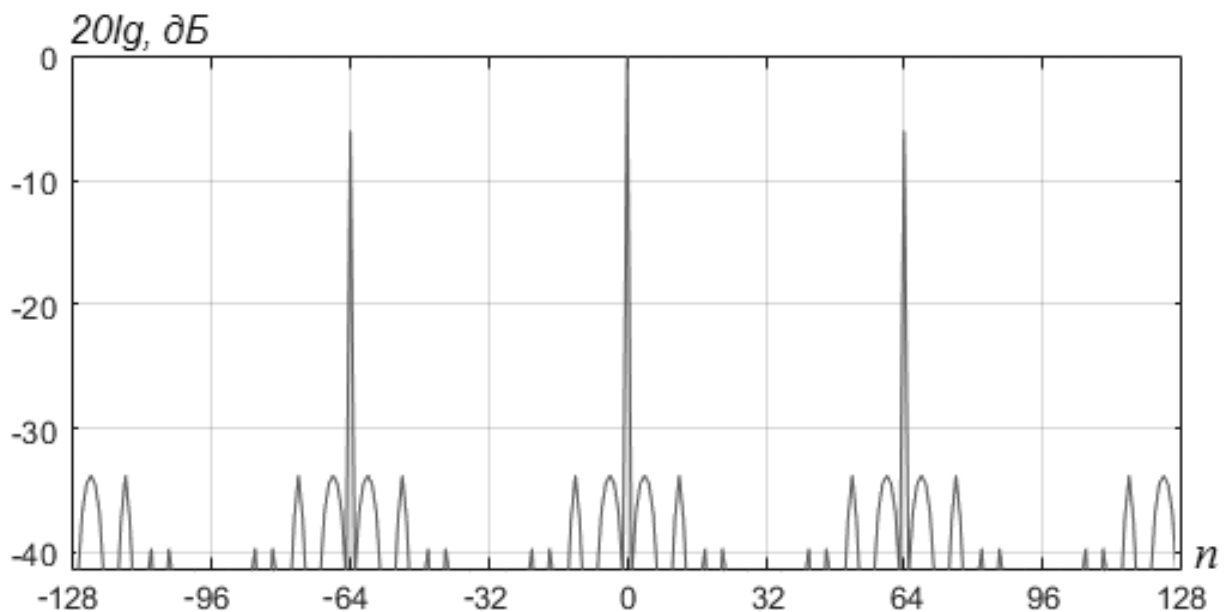


Рис. 4. График нулевого сечения ФН сигнала из 128 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$) при пропуске строк матрицы через одну

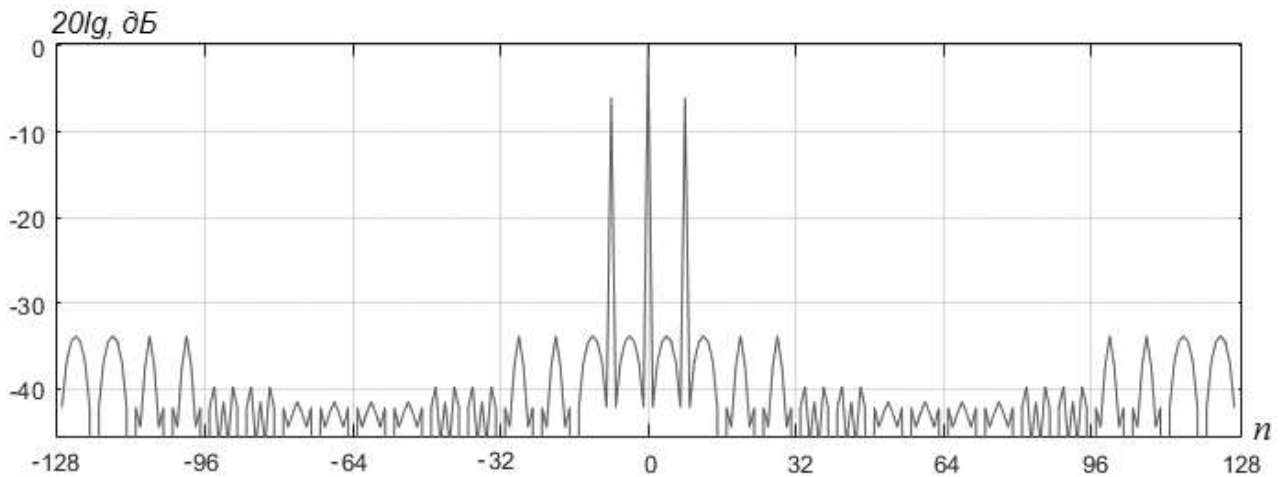
3. Выбор элементов с периодическим пропуском столбцов матрицы. График нулевого сечения нормированной ФН сигнала из 128 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$) при пропуске строк матрицы через одну приведен на рис. 5.

В нулевом сечении нормированной ФН сигнала из элементов 128 ($N = 16$) при пропуске столбцов матрицы через одну на основе кода Фрэнка появляется два ярко выраженных боковых лепестка (уровень $-6,02$ дБ относительно главного максимума), расположенные вблизи главного максимума (± 8 элементов) и равномерно распределенные боковые лепестки с уровнем не больше $-33,8$ дБ.

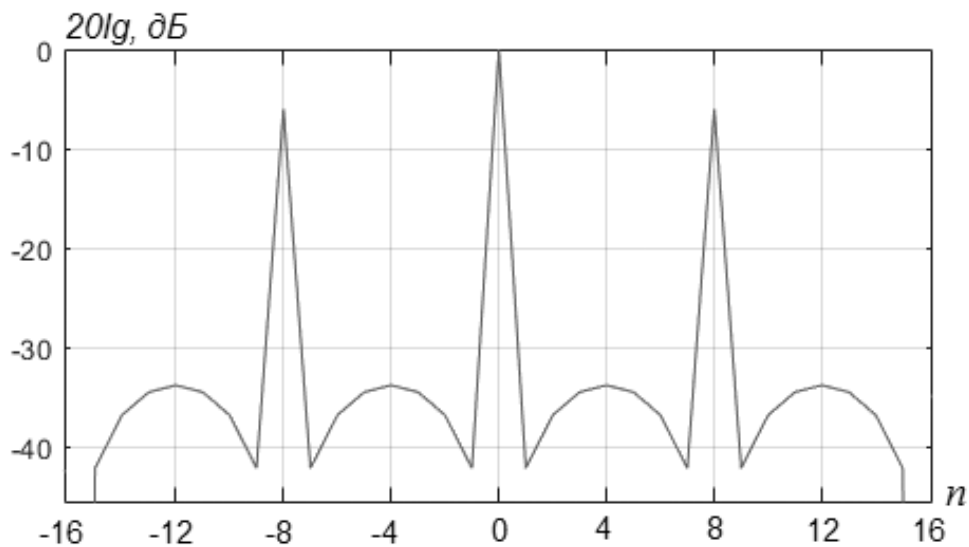
Резюмируя приведенные результаты расчетов, можно сделать следующие выводы.

Нулевое сечение ФН сигнала на основе квадратной матрицы кода Фрэнка имеет треугольную форму главного максимума и низкий уровень боковых лепестков, спадающих при увеличении расстояния от главного максимума.

На основе квадратной матрицы кода Фрэнка могут быть получены модифицированные одномерная (диагональная), вертикальные и горизонтальные прямоугольные матрицы, образующие сигналы с хорошими корреляционными свойствами.



а)



б)

*Рис. 5. График нулевого сечения ФН сигнала из 128 элементов на основе кода Фрэнка ($N = 16$) при пропуске столбцов матрицы через одну:
а) в полном диапазоне задержек, б) в диапазоне ± 16 элементов вблизи главного максимума*

Модификация квадратной матрицы кода Фрэнка путем периодического пропуска строк (столбцов) уменьшает общее число элементов в последовательности, не изменяя структуры главного максимума нулевого сечения ФН, но меняя характер распределения боковых лепестков, появляются пары боковых лепестков с большим уровнем.

Список использованной литературы

1. Ипанов, Р. Н. Импульсные полифазные сигналы с нулевой зоной автокорреляции и алгоритм их сжатия / Р. Н. Ипанов // Радиотехника и электроника. — 2020. — Том 65. № 6. — С. 578–586.
2. Варакин, Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Л. Е. Варакин. — М. : Радио и связь, 1985. — 384 с.
3. Кук, Ч. Радиолокационные сигналы / Ч. Кук, М. Бернфельд; пер. с англ. под ред. В. С. Кельзона. — М. : Советское радио, 1971. — 568 с.

УДК 04.056

УДК 621.39

УДК 339.97

Рыжакوف В. В., Сизов О. Е.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация. Данная статья направлена на ознакомление читателя с цифровыми двойниками промышленных объектов. Объектом исследования является технология моделирования реальных объектов в виртуальную среду. Рассмотрены возможности данной технологии влиять на действующие или еще не организованные объекты. Сделан вывод о необходимости использования данной технологии специалистами для увеличения реализации и уменьшения убытков.

Ключевые слова: *цифровые двойники, промышленные объекты, увеличение продаж, сокращение потерь, цифровой объект, данные мониторинга, аналитические данные.*

Ryzhakov V. V., Sizov O. E.

Surgut State University, Surgut

DIGITAL TWINS OF INDUSTRIAL FACILITIES

Abstract. This article is aimed at familiarizing the reader with digital twins of industrial facilities. The object of the research is the technology of modeling real objects into a virtual environment. The possibilities of this technology to influence existing or not yet organized objects are considered. It is concluded that it is necessary to use this technology by specialists to increase sales and reduce losses.

Keywords: *digital twins, industrial facilities, increasing sales, reducing losses, digital object, monitoring data, analysis data.*

В последние годы промышленные объекты стали все более и более автоматизированными и технологичными. Одним из главных инструментов

для этого стали цифровые двойники промышленных объектов (Digital Twins — DT), которые позволяют создавать виртуальные модели реальных объектов и оборудования, отслеживать и оптимизировать работу системы, а также проводить различные эксперименты и анализировать данные.

Цифровой двойник обычно описывается как точная копия реального объекта или системы, которая имеет тот же функционал, что и оригинал. Однако она существует в виртуальном пространстве и может быть использована для симуляции работы объекта, отладки или предикативного анализа. Она также может использоваться для моделирования возможных изменений параметров объекта и оптимизации его работы в будущем.

DT может создаваться на основе различных данных, таких как данные мониторинга, параметры работы оборудования, данные датчиков и другие. Для создания детальных и точных цифровых двойников инженеры и техники должны использовать передовые технологии и методы, такие как искусственный интеллект, машинное обучение и компьютерное зрение.

Цифровые двойники могут использоваться для совершенствования многих систем, включая промышленную автоматизацию, обработку материалов и управление энергоснабжением. Они позволяют разработчикам и инженерам проводить эксперименты и анализировать данные виртуально, что существенно снижает затраты на обслуживание и эксплуатацию оборудования.

В реальности DT может быть использован для мониторинга работающих объектов, предоставления предупреждений о возможных нарушениях, контроля за состоянием системы и диагностики неисправностей. Также DT могут быть использованы для проведения виртуальных испытаний и оптимизации конструкции оборудования в цифровой среде, что снижает риски производственных аварий и повышает качество оборудования.

Кроме промышленной сферы, цифровые двойники также находят применение в других сферах, включая сельское хозяйство, логистику и здравоохранение. Так, цифровые двойники могут использоваться для определения оптимальных условий выращивания растений, управления логистическими процессами и моделирования работы человеческого организма для проведения медицинских исследований.

Однако создание цифровых двойников также может быть сложной и ресурсоемкой задачей. Например, создание точной цифровой копии большой производственной линии.

Список использованной литературы

Статьи из журналов

1. Глесген, Э. Х. Парадигма цифрового двойника для будущих транспортных средств НАСА и ВВС США / Э. Х. Глесген, Д. С. Старгел // Ежегодная конференция Общества прогнозирования и управления здравоохранением. — 2012. 1–10.
2. Тао, Ф. Промышленные большие данные и интеллектуальное производство / Ф. Тао, М. Чжан [и др.] // Обзор. Инженерная. — 2018. 4(1), 11–20.
3. Цзоу, З. Оптимизация дизайна продукта с использованием цифрового двойника с использованием генетического алгоритма / З. Цзоу, Ю. Ли [и др.] // Журнал интеллектуального производства. — 2019. 30 (2), 601–611.
4. Ли, Дж. Архитектура киберфизических систем для производственных систем на базе Индустрии 4.0. // Дж. Ли, Б. Багери [и др.] // Производственные письма. — 2015. 3, 18–23.
5. Тао, Ф. Разработка, производство и обслуживание цифровых продуктов на основе двойных технологий с использованием больших объемов данных / Ф. Тао, Ю. Чэн [и др.] // Международный журнал передовых производственных технологий. — 2019. 104 (9–12), 3657–3670.

УДК 338.45

Жезу Д. Г.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ:
С ЧЕМ РАБОТАТЬ В ПЕРИОД КРИЗИСА И САНКЦИЙ?

г. Сургут

Аннотация. Утверждение, что российские производители научились и могут заменить иностранных производителей, имеет место быть, в то время как российские производители предлагают продукцию достойного качества, а также могут конкурировать по ценовому сегменту.

Ключевые слова: сетевое оборудование, импортозамещение, российские производители, инфраструктура.

Zhezhu D. G.

Surgut State University, Surgut

NETWORK EQUIPMENT:
WHAT TO WORK WITH DURING THE CRISIS
AND SANCTIONS?

Surgut

Abstract. The statement that Russian manufacturers have learned and can replace foreign manufacturers takes place, while Russian manufacturers offer products of decent quality, and can also compete in the price segment.

Keywords: Network equipment, import substitution, Russian manufacturers, infrastructure.

За последнее время многие события привели к затруднениям компании, которые испытали на себе трудности в связи с тяжелыми сетевыми решениями. Евросоюз запретил предоставление услуг, связанных с бизнесом,

российскому правительству, а также юридическим лицам, компаниям и организациям, созданным в России.

Актуальность этой проблемы в том, что нынешнее общество развивается со стремительной скоростью. Глобальная пандемия, которая произошла в 2020 году, показывает нам, насколько взаимосвязанными могут быть человеческие и планетарные системы. Из-за пандемии по всему миру более 90% учащихся перестали ходить в учебные заведения, посещать школы и университеты, а обучение все больше переходило в онлайн-формат. Когда с российских рынков ушли гранды мировой индустрии, такие как НРЕ, Cisco и другие, то для компаний и организаций, которые используют такие решения для своих инфраструктур это стало неким вызовом.

Российские вендоры за последние годы смогли накопить немалый опыт в деятельности разработки основных типов оборудования. Такое оборудование российского производства все чаще встречается на пути импортозамещения. Проводилось немало работ, были устранены все недочеты, а также была подтверждена надежность эксплуатации крупными предприятиями и сервис-провайдерами различных отраслей. Сейчас такое оборудование имеется на складах и доступно под заказ, а различный выбор оборудования ничуть не уступает предложениям западных производителей, есть возможность выбрать оборудование под любой бюджет или же под любую необходимую задачу.

Переход сетевых инфраструктур на оборудования российского производства будет обеспечивать стабильную и независимую техническую и сервисную поддержку от производителя, что является немаловажным в настоящее время. Ассортимент российских производителей может удовлетворять практически любую потребность заказчиков — от самой малой и простейшей сети в небольшом офисе до построения целой инфраструктуры центра обработки данных. Утверждение, что российские производители научились и могут заменить иностранных производителей, имеет место быть, в то время как российские производители предлагают продукцию достойного качества, а также могут конкурировать по ценовому сегменту.

Рассмотрим, к примеру, двух российских производителей: «БУЛАТ» и «Полигон».

Кампания «БУЛАТ» [4] занимается проектированием и изготовлением передового инфраструктурного оборудования, которое применяется

для построения информационных технологических систем. Благодаря высокому уровню качества своей продукции, компания «БУЛАТ» заслужила звание признанного лидера в сфере замещения импортной сетевой техники.

БУЛАТ

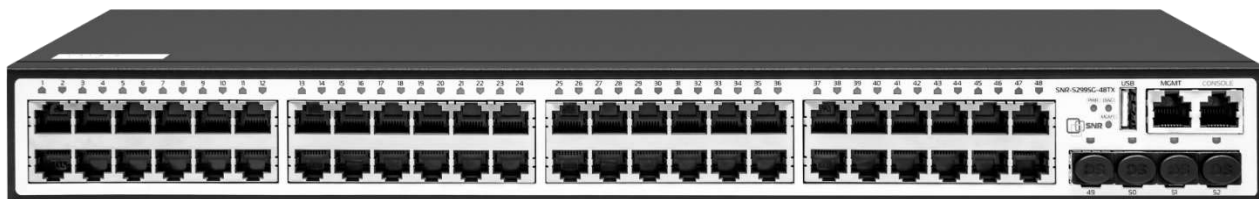


Российское научное производственное предприятие «Полигон» [5] занимается разработкой и производством телекоммуникационного оборудования, направлено на создание российских коммутаторов Ethernet, которые будут применяться в крупных сетях энергетических инфраструктур, в сетях для критически важных объектов, будут применены в состав сети систем видеонаблюдения и т. д. Компания предлагает различное сетевое оборудование — как промышленное, так и для специального назначения, маршрутизаторы, коммутаторы для ЦОД. Также «Полигон» может порадовать заказчиков своей стоимостью, будет привлекать соотношением цена/качество, когда, в свою очередь, оборудование будет удовлетворять все необходимые требования.



Еще одна российская компания ООО «НАГ» выпускает сетевое оборудование под брендом SNR. Линейка SNR [6] включает в себя широкий спектр сетевого оборудования для построения сетей в инфраструктурах в самых

различных областях. Оборудование SNR является одним из конкурентов импортозамещения для гранда мировой индустрии Cisco. Оно с таким же успехом выполняет различного рода задачи, удовлетворяет потребности заказчиков и подходит для проектирования сетей.



Сравним по некоторым параметрам два коммутатора:

- SNR-S2995G-48TX-POE от российского производителя «НАГ»
- Cisco C9200L-48P-4X от зарубежного производителя «Cisco»

Таблица 1. — Сравнение характеристик коммутаторов SNR и Cisco

Модель коммутатора	L2	L3	Кол-во портов 10/100/1000BaseT с поддержкой PoE 802.3at/af	Порты SFP	Порты SFP+	Суммарная мощность POE	Порты Combo 10/100/1000BaseT 100/1000BaseX SFP	Производительность коммутации	Возможность стекирования	Поддержка промышленных стандартов
SNR-S2995G-48TX-POE	+	+	48	4	4	740W	-	176Gbps	+	-
Cisco C9200L-48P-4X	+	+	48	4	4	740W	-	176Gbps	+	-

Сравнив характеристики, мы можем наблюдать, что российское оборудование может удовлетворять те же потребности, что и коммутатор Cisco от зарубежного производителя.

Таким образом, можно утверждать, что российские производители, такие как «БУЛАТ», «Полигон» и «НАГ», производят высококачественное сетевое оборудование, которое способно заменить импортные аналоги. Конкуренция на рынке сетевых устройств возможна благодаря сочетанию высокого уровня качества и разумной цены, что важно для привлечения заказчиков. Поэтому имеет смысл обратить внимание на российские производители при выборе сетевого оборудования, чтобы поддержать отечественную промышленность и экономику.

Список использованной литературы

1. Митрофанов, А. Санкции, логистика... Есть ли свет в конце тоннеля? — URL: <https://habr.com/ru/companies/x-com/articles/674080/> (Дата публикации 29 июня 2022 г.).
2. Редакционный материал Особенности планирования корпоративных сетей. URL: https://vk.com/doc225229961_656550807?hash=tMM1Xa2MPO8NF1fhFt7dBt5aynTCmrizEudRnHGs9Qc&dl=ByMApPp0XrVfZpFob5EH2oXbSWSZeTtfdssYjUbH4Rg (Дата публикации 8 января 2002 г.).
3. СМИ: Акционерное общество Корпоративное управление в условиях санкций // Опубликовано: журнал «Акционерное общество», АПРЕЛЬ 4 (179) 2019. — URL: https://pravo.cliff.ru/about/publications/korporativnoe-pravo/korporativnoe-pravo_2226.html (Дата публикации 18 апреля 2019 г.).
4. Российский производитель телекоммуникационного и ИТ-оборудования «БУЛАТ». — URL: <https://opk-bulat.ru>.
5. Материал из Википедии — свободной энциклопедии Полигон (предприятие). — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
6. Сетевое оборудование SNR. — URL: <https://snr.systems/ru>.

УДК 621

Гаджиев Д. Р.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛИЗАЦИИ

г. Сургут

Gadzhiev D. R.

Surgut State University, Surgut

PROCESS OPTIMIZATION AND EFFICIENCY IMPROVEMENT
IN THE MAINTENANCE OF CORPORATE NETWORKS USING
VIRTUALIZATION?

Surgut

Введение. В настоящее время наши жизни сильно зависят от компьютерных технологий. Каждый день мы используем гаджеты, например смартфоны или ноутбуки, чтобы общаться, работать, учиться и развлекаться. Кроме того, информационные технологии широко используются в разных сферах от банковского дела до медицины. Однако иногда информационные технологии представляют угрозу для безопасности данных и самих пользователей. Злоумышленники могут получить доступ к чужим данным и использовать их для мошенничества или нарушения частной жизни. Кроме того, различные виды кибератак, такие как вирусы или фишинг, могут нанести серьезный ущерб компьютерным системам и сетям. В этом исследовании мы рассмотрим проблему кибербезопасности, а именно решение проблемы атак на компьютерные сети и утечек конфиденциальной информации. Будем исследовать основные методы и меры по защите информации и попытаемся выявить лучшее решение для данной проблемы.

Виртуализация в корпоративных сетях. Виртуализация позволяет создавать виртуальные среды на одном физическом сервере, что позволяет

облегчить управление и обслуживание корпоративной сети. Использование данной технологии позволяет снизить затраты на приобретение нового оборудования, уменьшить число серверов и планировать их ресурсы более эффективно.

Виртуализация — это процесс создания виртуальных объектов, таких как компьютеры, серверы, хранилища данных и т. д., которые могут быть использованы для выполнения различных задач на одном физическом устройстве. Виртуализация широко используется в корпоративных сетях для увеличения эффективности, улучшения масштабируемости и простоты управления.

Одним из главных преимуществ виртуализации является возможность запуска нескольких виртуальных машин на одном физическом сервере. Корпоративные сети, которые используют виртуализацию, смогут повысить производительность своих серверов, легко добавлять и удалять виртуальные машины и избегать проблем с совместимостью, которые могут возникнуть при использовании разных операционных систем на одном физическом сервере.

Виртуализация также позволяет корпорациям использовать облачные ресурсы. Облачные ресурсы отличаются от обычных виртуальных машин тем, что они могут быть арендованы у поставщика услуг в облаке, что экономически более выгодно, чем покупка собственных серверов и оборудования, а также возможность масштабирования ресурсов с легкостью в течение нескольких минут.

Виртуализация также улучшает управляемость сети, так как создает единую точку управления для нескольких физических устройств. Использование виртуализации позволяет управлять всеми виртуальными машинами и ресурсами с одного места, что сокращает время на администрирование и уменьшает количество ошибок при управлении.

Несмотря на все преимущества виртуализации, внедрение этой технологии в корпоративных сетях может быть дорогостоящим и сложным процессом. Перед внедрением виртуализации необходимо провести анализ существующей инфраструктуры, определить возможные препятствия и создать план внедрения. Также необходимо принять меры по обеспечению безопасности сети и ее защите от атак.

Заключение. В целом виртуализация — это мощный инструмент для улучшения эффективности и управляемости корпоративных сетей. Она

позволяет сократить затраты на оборудование и управление, увеличить производительность серверов и сети, а также предоставить доступ к облачным ресурсам. Таким образом, использование виртуализации является эффективным решением для многих корпораций, которые стремятся повысить эффективность своих операций.

Список использованной литературы

1. Гультяев, А. К. Виртуальные машины. Несколько компьютеров в одном. (Дата публикации: 22 февраля 2014 г.)
2. Турулин, И. И. Виртуализация (изоляция вычислительных процессов). (Дата публикации: 12 февраля 2012 г.)
3. Преимущества Виртуализации. Статья. — URL: [https://learn.microsoft.com/ru-ru/previous-versions/msdn10/Gg715011\(v=MSDN.10\)](https://learn.microsoft.com/ru-ru/previous-versions/msdn10/Gg715011(v=MSDN.10)))

УДК 621.3

Дунаев П. А., Мехтиев А. Д.

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Астана

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ
ЭНЕРГИИ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОМУ КАБЕЛЮ

г. Сургут

Аннотация. Приводятся экспериментальные исследования по передаче энергии по волоконно-оптическому кабелю. Исследованы режимы облучения кристалла кремния при мощности лазера 10 и 30 мВт. Эксперимент проводился при подключении в режиме холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ).

Результатом этого исследования является разработанный лабораторный стенд, который позволяет измерять параметры тока и напряжения в ветви фотоприемника. При осуществлении анализа литературы, имеющихся научных достижений и открытий в области исследования была сформирована собственная концепция исследований, отличная от зарубежных аналогов.

Ключевые слова: передача энергии, передача данных, волоконно-оптический кабель, экспериментальное исследование, фотоприемник.

Pavel Dunayev, Ali Mekhtiyev

NJSC “Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin”, Astana,
Republic of Kazakhstan

EXPERIMENTAL STUDY OF THE SYSTEM OF POWER TRANSMISSION
VIA FIBER-OPTIC CABLE

Surgut

Abstract. Experimental studies on the transmission of energy over a fiber-optic cable are presented. The modes of irradiation of a silicon crystal at a laser power of 10 and 30 mW have been studied. The experiment was carried out when connected in idle and short-circuit mode.

The result of this research is the developed laboratory stand, which allows you to measure the current and voltage parameters in the photodetector branch. When analyzing the literature, existing scientific achievements and discoveries in the field of research, an own concept of research was formed, different from foreign analogues.

Keywords: *power transmission, data transmission, fiber optic cable, pilot study, photodetector.*

Энергообеспечение при помощи волоконно-оптических линий — объект многих исследований. В них рассматриваются вопросы обеспечения энергией при помощи оптоволокна, которые различаются технологией выполнения устройств энергообеспечения, выбором основных элементов этих устройств, также они имеют разную эффективность.

У авторов имеются собственные исследования по применению волоконно-оптического кабеля в разных сферах деятельности [1]. Также авторами был произведен теоретический обзор литературных источников [2–6], что выявило необходимость дальнейших исследований.

Проведены эксперименты на разработанной установке, приведенной на рис. 1.

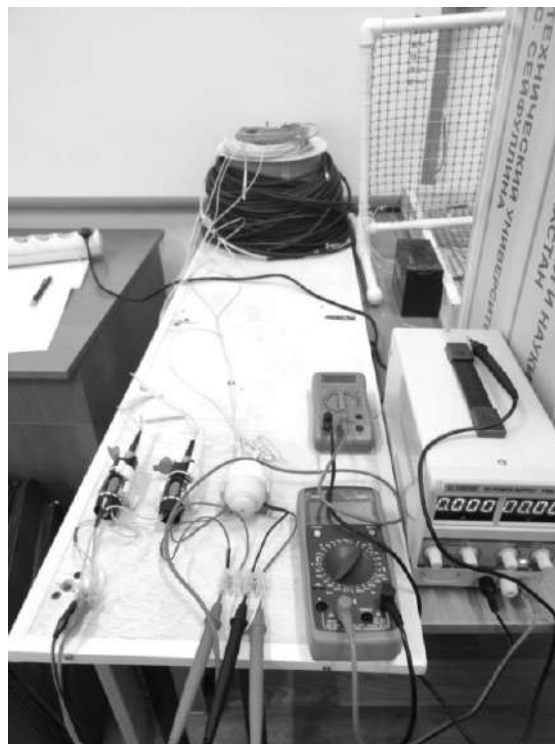


Рис. 1. Экспериментальная установка

В качестве облучающего фотоэлемента использовалась кремниевая пластинка $p-n$ перехода транзистора КТ 808 А. При попадании на ее поверхность лазерного излучения с различной длиной волны на ее выходах появляется фототок.

Предложена установка для измерения параметров системы передачи энергии на основе разрабатываемой модели. Также были проведены эксперименты по облучению кристалла германиевых транзисторов, что не дало требуемых результатов.

В процессе конструирования лабораторного стенда (рис. 1) были учтены моменты, позволяющие получить необходимую чистоту эксперимента и исключить возможность попадания дневного либо солнечного света на кремниевую пластинку фотоэлемента. Провода от фотоприемника выходят наружу на клеммники и подключаются к измерительным приборам. Также через дополнительные клеммники от лабораторного блока питания подается напряжение на лазеры.

При проведении экспериментов измерялись параметры тока и напряжения только в одной ветви фотоприемника. Был использован метод эквивалентного генератора, а также известные законы цепи с двумя выделенными узлами для активного двухполюсника, который можно преобразовать в эквивалентный генератор, используя теорему Тайванена–Гельмгольца. Осуществлялась передача энергии от активного двухполюсника к пассивному.

В процессе проведения эксперимента были проведены исследования, когда фотоприемник находился в режиме короткого замыкания, холостого хода и был подключен к высокоомной нагрузке. Источником излучения являлся твердотельный полупроводниковый лазер от тестера для проверки волоконно-оптических линий передачи ONTi (Китай), также данный прибор называется визуальным локатором с регулируемой мощностью, которая изменялась ступенчато в двух значениях: 10 и 30 мВт. В эксперименте использовано одномодовое оптическое волокно стандарта G 652.

В таблице 1 приведены данные, полученные экспериментальным методом при облучении кремниевой пластины $p-n$ перехода транзистора.

На основе полученных экспериментальных данных построены диаграммы ВАХ при разной мощности излучения лазера (рис. 2–3).

Таблица 1. — Экспериментальные данные

Режим	XX	КЗ
10 мВт		
U, В	3,5	0,015
I, А	0	0,00015
30 мВт		
U, В	4,2	0,04
I, А	0	0,000395

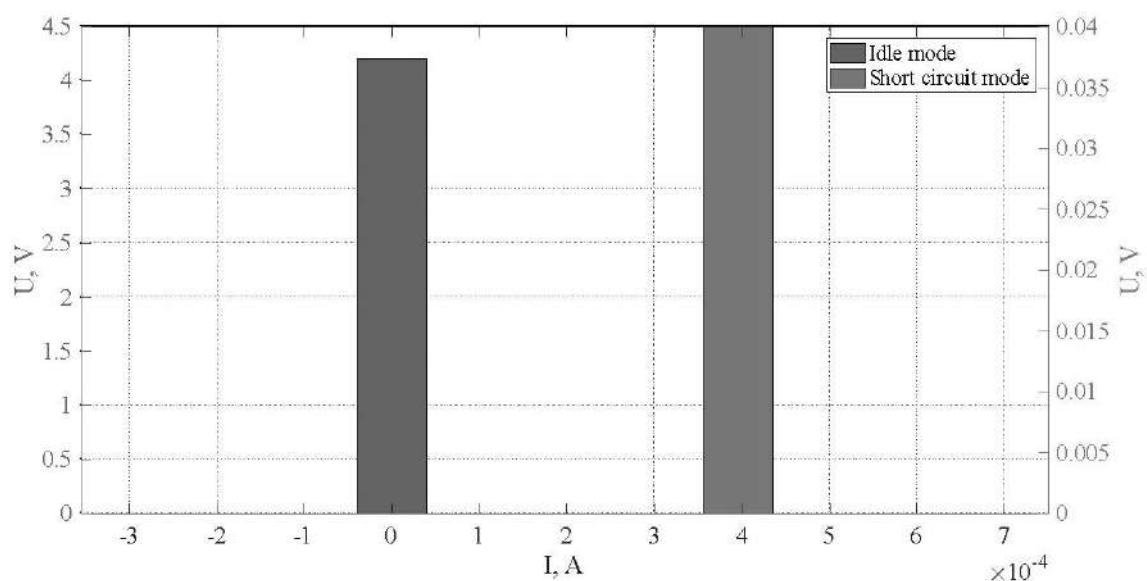


Рис. 2. Диаграмма ВАХ при мощности излучения лазера 30 мВт

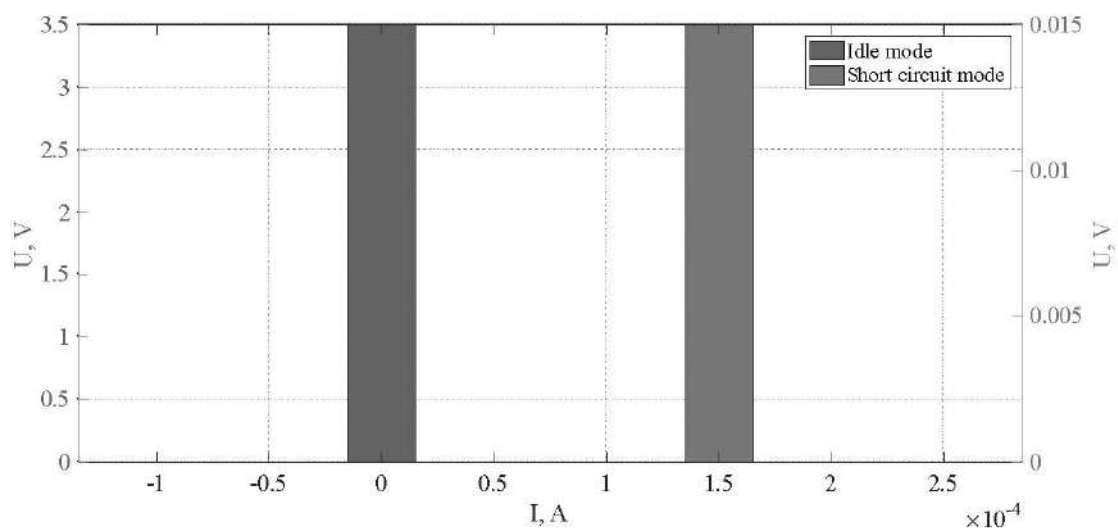


Рис. 3. Диаграмма ВАХ при мощности излучения лазера 10 мВт

На рис. 2 и 3 приведены диаграммы вольтамперных характеристик при мощности излучения лазера 10 и 30 мВт в режиме холостого хода (idle mode) и короткого замыкания (short circuit mode).

Заключение. В результате проведенных экспериментальных испытаний сделан анализ полученных данных и сформулированы соответствующие выводы.

На текущий момент при экспериментах авторами, кроме кристалла кремния, используется арсенид галлия.

Планируется расширить диапазон используемых световых волн от 650 до 1625 нм с отклонением не более 5 нм. Для фиксирования пульсаций фотопреобразователя будет использован осциллограф. В эксперименте будет использовано оптическое волокно стандарта G. 651 и G. 652. При этом одновременно будет передаваться информация от объекта к объекту.

Использование ОВ для передачи энергии для питания маломощных потребителей позволит получить ряд преимуществ по сравнению с обычной медной парой, например: гальваническая развязка, отсутствие влияния электромагнитных помех на канал передачи энергии, будущая перспектива замены медных кабелей на волоконно-оптические проводники, отсутствие возникновения электрических замыканий, пожаробезопасность.

Результаты новых экспериментов будут представлены в будущих работах.

Список использованной литературы

1. Алькина, А. Д. Результаты разработки системы передачи энергии по одномодовому оптическому волокну для энергообеспечения маломощных автономных потребителей / А. Д. Алькина, П. А. Дунаев, Д. Т. Кожанова, Е. Ж. Сарсикеев, Е. Г. Нешина, А. Д. Мехтиев. — № 9015; Дата создания объекта 10.03.2020; Оpubл. 27.03.2020. — РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» Министерство Юстиции Республики Казахстан.

2. Соколов, А. Н. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы / А. Н. Соколов, В. А. Яцеев // Измерительная техника. LightWave. — № 4. — 2006. — С. 142–153.

3. Кульчин, Ю. Н. Волоконно-оптические интерферометрические приемники слабых сейсмосигналов / Ю. Н. Кульчин, О. Т. Каменев, Ю. С. Петров, В. А. Колчинский // Вестник ДВО РАН. — № 4. — 2016. — С. 56–59.

4. Буймистряк, Г. Я. Принципы построения интеллектуальных волоконно-оптических датчиков / Г. Я. Буймистряк // Фотон-Экспресс. — № 6 (43). — 2011. — С. 38–39.

5. Куликов, А. В. Волоконно-оптическая система охраны периметра на брэгговских решетках как перспективный метод мониторинга безопасности объекта / А. В. Куликов // Ползуновский альманах. — № 2. — 2010. — С. 274–278.

6. Томышев, К. А. Распределенные волоконно-оптические датчики давления для применения в нефтегазовой промышленности / К. А. Томышев, В. А. Баган, В. А. Астапенко // Труды МФТИ. Том 4. — № 2. — 2012. — С. 64–72.

УДК 621

Дювенжи Н. С., Прохорова Е. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СИСТЕМ СВЯЗИ НА ОБЪЕКТАХ
НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

г. Сургут

Аннотация. Данная работа нацелена на разработку систем автоматизации на объекте нефтегазодобывающей отрасли. Основной задачей является проектирование и создание эффективных систем, которые позволят снизить затраты на производство, оптимизировать процессы добычи и обеспечить безопасность работников на местах. В результате успешной реализации данного проекта ожидается повышение эффективности производства и увеличение прибыли компании.

Ключевые слова: автоматизация, системы связи, вентиляция, датчик.

Dyuvenzhi N. S., Prokhorova E. V.

Surgut State University, Surgut

DESIGNING AUTOMATION SYSTEMS
FOR TELEMATICS AND COMMUNICATION SYSTEMS
IN THE OIL AND GAS INDUSTRY OBJECTS

Surgut

Abstract. The purpose of this work is to design automation systems for the oil and gas industry objects. The main task is to develop and create efficient systems that will reduce production costs, optimize extraction processes, and ensure employee safety on site. Successful implementation of this project is expected to increase production efficiency and profitability of the company.

Keywords: Automation, communication systems, ventilation, sensor.

Основные понятия. Проектирование систем автоматизации телемеханики и связи на объектах нефтегазодобывающей отрасли — это важный этап в создании современных и эффективных производственных комплексов. От правильно спроектированной системы зависит не только производительность и надежность оборудования, но и безопасность работников.

Проектирование системы автоматизации телемеханики и связи начинается с анализа требований к системе, включающего описание основных функциональных возможностей, желаемых параметров и характеристик. После анализа требований к системе происходит подбор и выбор компонентов системы, таких как оборудование, программное обеспечение, сетевая инфраструктура и т. п. Затем разрабатывается проектная документация на установку и настройку системы, включая схему монтажа оборудования и соединений, а также планы тестирования и ввода системы в эксплуатацию.

Один из ключевых компонентов системы автоматизации телемеханики и связи на объектах нефтегазодобывающей отрасли — это система управления и контроля за технологическими процессами. Она обеспечивает автоматический контроль и регулирование параметров работы оборудования, включая температуру, давление, скорость потока жидкостей и газов, а также другие параметры [1].

Важной задачей при проектировании систем автоматизации на объектах нефтегазодобывающей отрасли является создание надежной системы связи, которая позволит передавать данные между различными компонентами системы, а также обеспечивать связь между рабочими местами управления и контроля [4].

Для обеспечения безопасности работников необходимо предусмотреть систему мониторинга и контроля за условиями окружающей среды, таких как содержание в воздухе вредных примесей и газов, температура, влажность и давление. Также важно обеспечить надежную систему электропитания и электроснабжения объекта, включая бесперебойное питание для обеспечения непрерывной работы систем автоматизации телемеханики и связи.

Объект системы контроля и управления. Объектом автоматизации является «Здание РММ». По заданию цеха ремонта энергооборудования проектом предусматривается автоматизация приточно-вытяжной системы (П/В).

Автоматизация приточно-вытяжной системы вентиляции предусматривает [2]:

- управление электроприводным двигателем приточного и вытяжного вентилятора;
- управление электроприводом заслонки наружного и вытяжного воздуха;
- контроль температуры наружного и вытяжного воздуха на входе;
- контроль перепада давления на фильтрах, вентиляторе приточного и вытяжного воздуха;
- контроль температуры после приточного и вытяжного вентилятора.

Выполнение работы автоматизации. Построение функциональной схемы автоматизации системы приточно-вытяжной вентиляции может включать в себя следующие шаги [3]:

1. Определение основных функций системы. Для начала необходимо определить основные функции, которые должна выполнять автоматизированная система приточно-вытяжной вентиляции, такие как поддержание заданных параметров микроклимата в помещениях и обеспечение безопасности работников.

2. Разработка схемы подключения оборудования. На основе определенных функций проектируется схема подключения оборудования, включая вентиляторы, датчики температуры, влажности, давления и другое оборудование.

3. Создание блок-схемы. После разработки схемы подключения оборудования создается блок-схема, которая показывает логическое соединение между всеми компонентами системы автоматизации, включая контроллеры, реле, сенсоры и т. д.

4. Разработка программного обеспечения. На основе блок-схемы разрабатывается программное обеспечение для контроллера или ПЛК, который будет управлять системой приточно-вытяжной вентиляции.

5. Установка оборудования. После разработки программного обеспечения начинается установка оборудования и проведение его настройки.

6. Тестирование системы. После установки и настройки оборудования система проходит тестирование, в ходе которого проверяется ее работоспособность и соответствие требованиям.

7. Ввод в эксплуатацию. После успешного тестирования система готова к вводу в эксплуатацию, что позволяет достичь автоматизации работы системы приточно-вытяжной вентиляции.

8. Сопровождение и обслуживание. После ввода в эксплуатацию система нуждается в постоянном сопровождении и обслуживании, чтобы гарантировать ее надежную работу и эффективность.

Тем самым мы получаем функциональную схему автоматизации П/В (рис. 1) включающую себя элементы: вентиляторы, пластичный рекуператор, заслонка приточного (вытяжного) воздуха и фильтра (табл. 1).

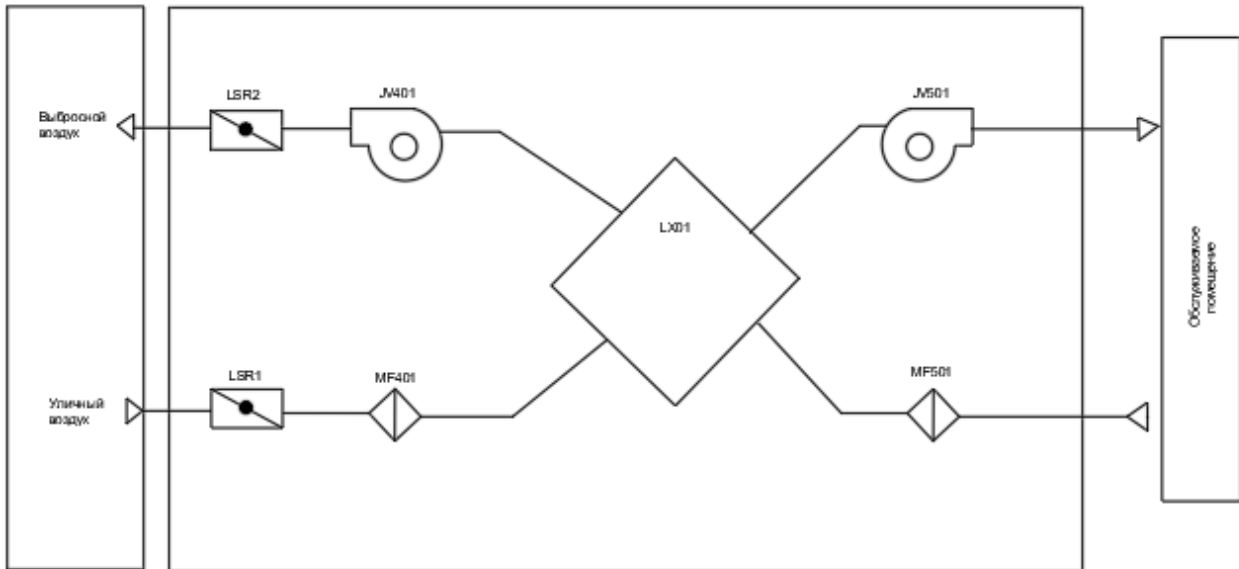


Рис. 1. Схема функциональной автоматизации системы П/В

Таблица 1. — Условные обозначения и изображения

Обозначение	Наименование
JV401, JV501	Вентилятор
LX01	Пластичный рекуператор
LSR 1,2	Заслонка приточного (вытяжного) воздуха
MF401, MF501	Фильтр

На следующем этапе осуществляется построение схемы внешних соединений проводок (рис. 2). Благодаря ей можно определить количество сигналов и их направление. Учитываем перечень элементов (табл. 2) при будущей покупке оборудования для ввода в эксплуатацию.

Таблица 2. — Перечень элементов

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Кабель контрольный		
	КВВГнг – LS 4x1,0	18	м
	КВВГнг – LS 5x1,0	9	м
ГТ-16	Гибкая гофрированная труба с протяжкой 16 мм	27	м
	Держатель для гофрированной трубы	54	м
	Дюбель пластиковый с саморезом	54	м
	Бирка маркировочная для вставных табличек	6	шт.
	Полоска маркировочная вставная	6	шт.

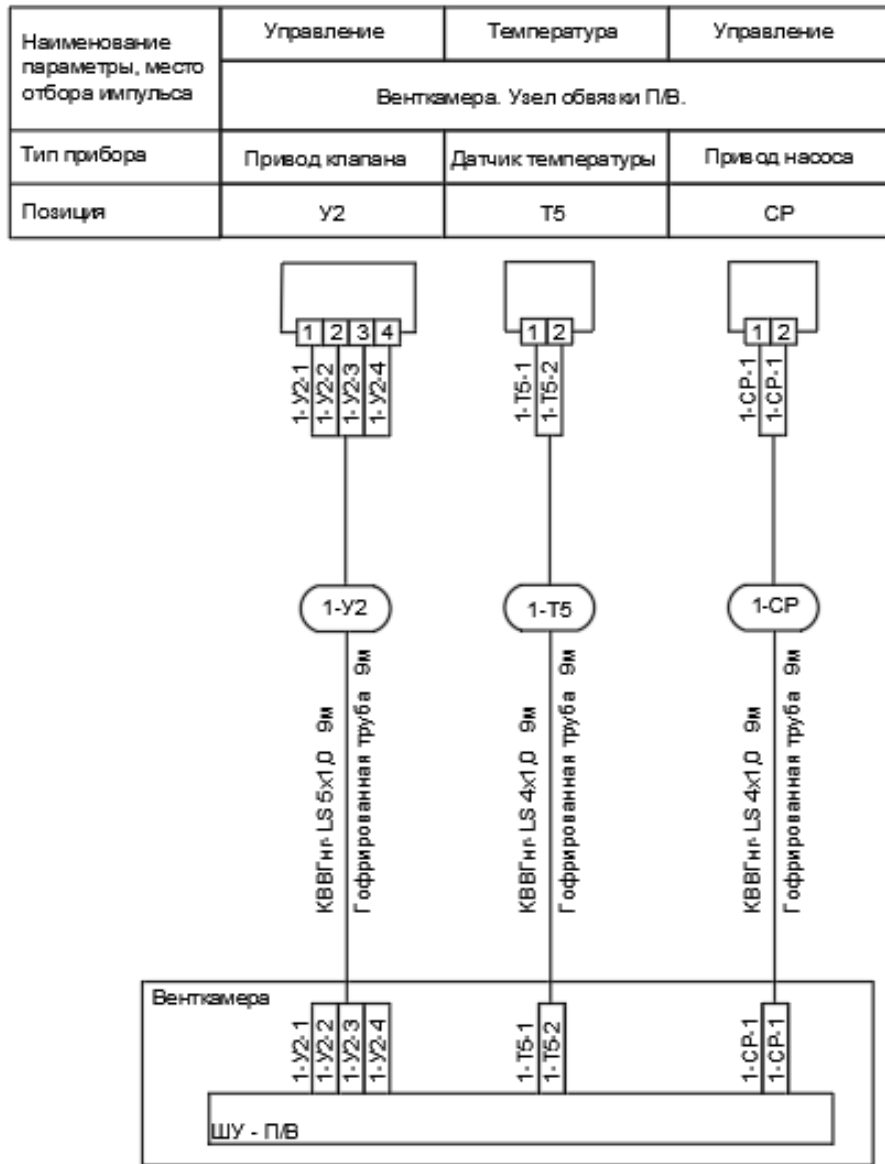


Рис. 2. Схема соединения внешних проводов

Заключение. Проектирование систем автоматизации и телемеханики в нефтегазодобывающей отрасли является сложным инженерным процессом, требующим глубоких знаний в области электротехники, электроники, программирования и автоматизации производственных процессов. Основная цель таких систем — повышение безопасности работы на объектах, уменьшение рисков для персонала и окружающей среды, а также оптимизация производственных процессов и снижение затрат.

Важными элементами проектирования систем автоматизации и телемеханики являются выбор оптимального оборудования и технологий, разработка программного обеспечения, создание систем мониторинга и диагностики, а также обеспечение надежной связи с удаленными объектами.

Одним из ключевых факторов успешной реализации проектов автоматизации является правильная организация работы команды проектировщиков, инженеров и технических специалистов, которые должны иметь высокий уровень квалификации и опыта в данной отрасли.

В целом проектирование систем автоматизации и телемеханики на объектах нефтегазодобывающей отрасли — это сложный, но важный процесс, который требует внимания к деталям, точности и профессионализма для достижения успеха.

Список использованной литературы

1. Гребнев, В. Д. Строительство нефтегазопромысловых объектов: учебное пособие / В. Д. Гребнев, Д. А. Мартюшев, Г. П. Хижняк. — Пермь : Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, 2012. — 115 с.
2. ГОСТы по проектированию и НИОКР. — URL <https://xn--80aahqscqybgko.xn--plai/141/39524/91/4626/4632> (Дата обращения: 15.04.2023)
3. Керимов, В. Ю. Методология проектирования в нефтегазовой отрасли и управление проектами : учебное пособие / В. Ю. Керимов, А. Б. Толстов, Р. Н. Мустаев; под ред. проф. А. В. Лобусева. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 123 с.
4. Проектирование объектов нефтегазового комплекса. — URL: <https://www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/proektirovanie-obektov-neftegazovogo-kompleksa/> (Дата обращения: 18.04.2023)

УДК 623.613

Казанский Н. А.¹, Косова Ю. А.¹, Лысюк П. И.²

¹Российский университет транспорта, г. Москва

²Колледж связи № 54 имени П. М. Вострухина, г. Москва

ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПОДВОДНЫХ СВЕРХДЛИННЫХ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ЛИНИЙ.
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗОНЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

г. Москва

Аннотация. Проекты развития транспортной системы РФ [1] предполагают внедрение перспективных полностью оптических сетей связи (AON, all-optical network) в инфраструктуры Северного морского пути. AON позволят применить малолюдные технологии, реализовать подводные оптические линии связи, а также реализовать связь с использованием волокон новых стандартов и фотонных устройств нового поколения. Авторами статьи проведен анализ особенностей организации перспективных сетей связи в Арктической зоне.

Ключевые слова: Северный морской путь, полностью оптические сети связи, подводные оптические линии связи, нелинейные эффекты в оптическом волокне.

Kazanskiy N. A.¹, Kosova I. A.¹, Lysyuk P. I.²

¹Russian University of transport, Moscow

²College of Communications № 54 named after P. M. Vostrukhin, Moscow

ALL-OPTICAL COMMUNICATION NETWORK USING UNDERWATER
ULTRA-LONG SINGLE-SPAN LINES. PROSPECTS OF APPLICATION
IN THE ZONE OF THE NORTHERN SEA ROUTE IN THE RUSSIAN FEDERATION

Moscow

Abstract. Projects for the development of the transport system of the Russian Federation [1] involve the introduction of promising all-optical communication

networks (AON, all-optical network) in the infrastructure of the Northern Sea Route. AON allows you to apply sparsely populated technologies, implement underwater optical communication lines, as well as implement communication using new fiber standards and photonic devices. The authors of the article analyzed the features of the organization of communication networks in the Arctic zone.

Keywords: *The Northern Sea Route, all-optical communication networks, underwater optical communication lines, nonlinear phenomena.*

Транспортно-логистический комплекс и экономический потенциал Арктики являются одними из перспективных направлений исследования ученых и экспертов всего мира. В Российской Федерации протяженность арктического побережья составляет около 22 000 км. Освоению Арктического региона в Российской Федерации уделяют особое внимание — как стратегическому региону, играющему большую роль для будущего страны. Активное обсуждение перспектив развития Арктического региона происходит на многочисленных международных деловых форумах [2–4]. Кроме того, в октябре 2020 года Президентом РФ подписан документ «Стратегия развития Арктической зоны России и обеспечение национальной безопасности до 2035 года» [1]. Также создано профильное Министерство и комиссии по вопросам развития Арктики [5].

Конкурентным преимуществом Российской Федерации перед другими странами является выгодное географическое положение (территория занимает почти половину мировой Арктической зоны) и возможность организации и эксплуатации Северного морского пути (СМП) — кратчайшего морского расстояния между Тихим и Атлантическим океанами. Кроме того, СМП будет служить транспортным коридором для транспортировки полезных ископаемых, нефтепродуктов и товаров жизнеобеспечения для народов Крайнего Севера. Выгода транзитных перевозок по СМП в отличие от Суэцкого канала обуславливается экономией на топливе из-за сокращения расстояния, уменьшением продолжительности рейсов [6]. В документе [1] особое внимание уделено развитию систем высокотехнологической связи в условиях Крайнего Севера в качестве альтернативы спутниковой связи [7].

Среди телекоммуникационных технологий передовым способом передачи является высокоскоростная передача данных. Перспективным направлением организации связи для управления процессами перевозок является

технология полностью оптических сетей связи с использованием подводных сверхдлинных однопролетных линий [8].

Помимо передачи данных, полностью оптические сети связи позволяют предоставить инновационные услуги и решения, включающие телемедицину и дистанционное образование, для жителей отдаленных населенных пунктов.

Существует ряд особенностей при организации сетей связи в Арктической зоне:

1) *Принцип малолюдных технологий.* Малонаселенность, сложные климатические условия труда в Арктической зоне для обслуживания связи задают тенденцию применения малолюдных технологий. Это значит, что целесообразно применять технологии технического обслуживания, которые осуществляется при минимальном человеческом ресурсе. Сети связи такого типа могут быть реализованы с использованием подводных волоконно-оптических линиях связи (ПВОЛС).

2) *Высокие капитальные затраты при строительстве и эксплуатации ПВОЛС.* Проблемой внедрения существующих ПВОЛС является необходимость дистанционного электропитания усилителей, регенераторов, а также высокая стоимость монтажа и обслуживания подводных оптических кабеля.

Предлагается концепция построения ПВОЛС с применением полностью оптических сетей связи без использования оборудования дистанционного электропитания. В рамках данной концепции планируется разработка теоретических основ передачи данных по каналам однопролетных сверхдлинных линий связи, учитывающих особенности, свойства физических процессов распространения и усиления сигналов в оптическом волокне.

Компании Т8 (Россия) удалось экспериментально передать данные по однопролетной линии на расстояние более 500 км [9]. Позднее компания Huawei (КНР) увеличила дальность передачи до 650 км [10].

3) *Применение ОВ новых стандартов.* Большинство существующих сетей связи организовано с использованием одномодовых стандартных ОВ (G.653, G.654). Проблема достижения предельных дальностей передачи данных в существующих системах связи заключается в том, что применяются стандартные оптические волокна с установкой оптических усилителей с удаленной накачкой. Для усиления оптического сигнала используют ОВ, легированные редкоземельными элементами. Легирование осуществляется

с целью дополнительного усиления мощности. Как правило, в качестве легированных элементов используют эрбий (Er) и иттербий (Yb) для усиления оптических сигналов на длине волны 1,55 мкм.

Перспективными являются ОВ, легированные тетрафторидом циркония (коэффициент затухания составляет 0,01 дБ/км на длине волны передачи сигнала 2,5 мкм). Такие ОВ позволят осуществить передачу без регенерации сигналов на расстояния, превышающие 6000 км [11]. Известно также, что ОВ на основе использования примесей фторида бериллия обеспечивают коэффициент затухания порядка 0,005 дБ/км на длине волны 2,1 мкм. Также стоит отметить, что при использовании маломодовых технологий (в качестве источника оптического сигнала применяется одномодовый лазер, а средой передачи является многомодовое волокно) экспериментально удалось обеспечить передачу оптических сигналов на расстояние 5000 км [12,13].

4) *Возникновение нелинейных эффектов при распространении оптических сигналов в ОВ.* Основными факторами возникновения искажений сигналов в оптических каналах передачи являются нелинейные эффекты. Влияние нелинейных эффектов приводит к ограничению мощности оптического сигнала, вводимого в ОВ. К нелинейным эффектам относят:

- нелинейное преломление — фазовую самомодуляцию (ФСМ);
- перекрестную фазовую модуляцию (ФКМ);
- вынужденное неупругое (комбинационное) рассеяние (ВКР);
- четырехволновое смещение (ЧВС) [14].

Использование специализированных ОВ [15] позволяет увеличить дальность передачи без регенерации за счет возможности увеличения мощности оптических сигналов, вводимых в ОВ. Так, при увеличении площади модового пятна снижается влияние нелинейных эффектов примерно в 1,5 раза.

Применение фотонно-кристаллических ОВ также позволят уменьшить влияние нелинейных искажений на передаваемые сигналы. В таких ОВ сердцевина заполнена газообразными или жидкими составами. Затухание оптического сигнала может достигать уровня 0,14 дБ/км [15], а нелинейность пренебрежимо мала по сравнению с нелинейностью кварцевого стекла.

5) *Существующие сети связи являются смешанными по технологии преобразования сигналов.* Происходящие в них процессы имеют как оптическую, так и электрическую природу. При создании АОН необходимо

использовать технологии, позволяющие производить преобразование, передачу данных в полностью оптической форме.

б) *Использование в качестве устройств распределения данных полностью оптических элементов, в частности фотонных коммутаторов.*

Фотонные коммутаторы (ФК) обеспечивают временную и частотную коммутацию оптических сигналов без их дополнительного преобразования в электрический вид [16].

Итак, переход к полностью оптическим сетям связи (AON) с использованием подводных сверхдлинных однопролетных линий в зоне СПМ актуален в связи с увеличением дальности передачи данных и применением малолюдных технологий. Концепция организации проектирования таких сетей связи сводятся к применению полностью оптических устройств на всей протяженности линии связи. Использование новых типов волокон позволят максимально отдалить точки регенерации сигналов друг от друга. Отсутствие электрических элементов, требующих дистанционного электропитания, предоставит возможность снизить капитальные (из-за отсутствия в кабеле металлических элементов) и эксплуатационные (из-за отсутствия потребляемой мощности усилителей) расходы. Также стоит отметить, что для реализации полностью оптических сетей связи с использованием подводных сверхдлинных однопролетных линий необходимо разработать теоретические основы, провести научные исследования в области применения перспективных технологических решений. Такие технологии направлены на увеличение мощности передаваемых оптических сигналов, способов регенерации и восстановления сигналов в линии, применение оптических волокон нового поколения, а также на перспективы использования новых оптических окон прозрачности и диапазонов длин волн передаваемых сигналов.

Список использованной литературы

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Указ Президента РФ от 26.10.2020 г. № 645. [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (Дата обращения: 20.01.2023)
2. Официальный сайт международного арктического форума [Электронный ресурс]. — URL: <https://forumarctica.ru> (Дата обращения: 07.04.2023)

3. Официальный сайт делового форума «Арктика — Регионы» [Электронный ресурс]. — URL: <https://arcticports.ru> (Дата обращения: 07.04.2023)
4. В Санкт-Петербурге прошел XI Международный форум «Арктика: настоящее и будущее» — Информационное агентство ТАСС [Электронный ресурс]. — URL: <https://tass.ru/novosti-partnerov/13119105> (Дата обращения: 07.04.2023)
5. Официальный сайт Министерства Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики [Электронный ресурс]. — URL: <https://minvr.gov.ru> (Дата обращения: 07.04.2023)
6. Эксперты считают, что Северный морской путь может стать альтернативой Суэцкого канала — ТАСС Информационное агентство [Электронный ресурс]. — URL: https://tass-ru.turbopages.org/turbo/tass.ru/s/ekonomika/11009599?utm_source=share_link_button (Дата обращения: 07.04.2023)
7. Проект строительства трансарктической магистральной подводной оптоволоконной линии связи Мурманск — Владивосток [Электронный ресурс]. — URL: <https://полярныйэкспресс.рф/> (Дата обращения: 20.01.2023)
8. Полностью оптическая транспортная сеть: основные положения / А. М. Меккель; Центральный науч.-исслед. ин-т связи. — Москва : ФГУ ЦНИИС, 2008. — 103 с.
9. Gainov V., Gurkin N., Lukin S., Makovejs S., Akopov S., Ten S., Nanii O., Treshchikov V., Sleptsov M. Record 500 km unrepeated 1 Tbit/s (10x100G) transmission over an ultra-low loss fiber // Opt. Express. 2014. Vol. 22, № 19. P. 22308.
10. Huawei Marine Achieves a Breakthrough in Unrepeated Systems With a Transmission Distance of up to 648.5 km [Electronic resource]. 2016. — URL: <http://www.huawei.com/en/press-events/news/2016/9/Breakthrough-in-Unrepeated-Systems-648KM> (date of treatment: 27.12.2022)
11. Волоконная оптика в телекоммуникациях. Учебное пособие для вузов / Под ред. Ю. Н. Чернышова. — М. : Горячая линия — Телеком, 2022. — 392 с: ил.
12. Бурдин, А. В. Маломодовый режим передачи оптических сигналов по многомодовым волокна / А. В. Бурдин. — Самара : ПГУТИ, 2011. — 274 с.
13. Yaman F., Bai N., Huhg Y.K. et al. 10x112 Gb/s PDM-OPSK transmission over 5032 km in few-mode fibers // Optics express. — 2010. — Vol. 18, № 20. — P. 21342–21349.

14. Агравал, Г. Нелинейная волоконная оптика // Г. Агравал; пер. с англ. С. В. Черникова, И. Ю. Хрущева, под ред. канд. физ.-мат. наук П. В. Мамышевой. — Москва : Мир, 1996.

15. Тенденции развития оптических систем дальней связи / А. В. Леонов, О. Е. Наний, М. А. Слепцов, В. Н. Трещиков // Прикладная фотоника. — 2016. — Т. 3. — № 2. — С. 123–145.

16. Maier, Martin. Optical switching networks / Martin Maier. // Cambridge University Press. — 2008. — 343 p.

УДК 04.056

УДК 621.39

Урсакий В. М.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

г. Сургут

Аннотация. Корпоративное обучение является важной составляющей успешности работы любой компании. Сегодня информационные технологии предоставляют новые возможности для совершенствования систем корпоративного обучения. В данной статье будет рассмотрено создание инфокоммуникационной системы корпоративного обучения с элементами дополненной реальности. Одним из важнейших преимуществ дополненной реальности является возможность улучшения восприятия и запоминания материала. Использование AR-элементов позволяет получать обучающую информацию в интерактивном и более понятном формате. Это особенно важно для сложных процессов и технологий, где необходимо на практике продемонстрировать детали и особенности работы.

Ключевые слова: *AR, обучение персонала, автоматизация, AR-технологии.*

Ursakii V. M.

Surgut State University, Surgut

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS SYSTEMS

Surgut

Abstract. Corporate training is an important component of the success of any company. Today, information technologies provide new opportunities for improving corporate training systems. This article will consider the creation of an infocommunication system of corporate training with elements of augmented

reality. One of the most important advantages of augmented reality is the ability to improve the perception and memorization of material. The use of AR elements allows you to receive training information in an interactive and more understandable format. This is especially important for complex processes and technologies, where it is necessary to demonstrate the details and features of the work in practice.

Keywords: *AR, personnel training, automation, AR technologies.*

Сегодня в условиях быстрого развития бизнеса и постоянных изменений в экономической и правовой сфере корпоративное обучение становится необходимой составляющей успешности любой компании. Корпоративная система обучения является современным подходом к обучению сотрудников, направленным на эффективную и систематическую подготовку персонала. Основными преимуществами корпоративной системы обучения являются:

1. Снижение затрат на обучение. Участие сотрудников в онлайн-курсах и вебинарах обходится значительно дешевле, чем приглашение специалистов на стационарные тренинги и семинары.

2. Временная гибкость. Сотрудники могут проходить курсы в любое удобное для них время, что позволяет не прерывать рабочий процесс. Также в случае изменения рабочего графика или внезапных ситуаций сотрудники могут оставаться на рабочем месте и продолжать обучение.

3. Индивидуальный подход. Корпоративные системы обучения позволяют создавать персонализированные курсы, учитывающие уровень знаний и потребности каждого сотрудника.

4. Усиленный контроль. Корпоративная система обучения позволяет ответственным лицам контролировать процесс обучения сотрудников, отслеживать прогресс и оценивать полученные результаты.

5. Доступность. Корпоративные системы обучения разрабатываются специально для компаний и сотрудников, что облегчает доступ и упрощает процедуру регистрации.

6. Привлечение внимания. Оригинальный дизайн, впечатляющие графические элементы и интерактивные подходы к обучению производят впечатление на сотрудников, поднимают мотивацию и интерес к учебному процессу.

Одним из современных подходов к обучению является использование корпоративных систем обучения с элементами дополненной реальности

(AR). Использование AR позволяет повышать активность и восприятие материала сотрудниками, а также увеличивает эффективность обучения как с технической, так и психологической точек зрения. Кроме того, корпоративная система обучения может быть использована для мотивации сотрудников. Так, например, в систему обучения можно вводить игровой элемент, который будет поощрять сотрудников приложить больше усилий для прохождения курса и повышения своих знаний. В заключение можно отметить, что корпоративные системы обучения — это инновационный подход к обучению сотрудников, который позволяет компаниям улучшать квалификацию и подготовку персонала без значительных затрат времени.

Одним из важнейших преимуществ дополненной реальности является возможность улучшения восприятия и запоминания материала. Использование AR-элементов позволяет получать обучающую информацию в интерактивном и более понятном формате. Это особенно важно для сложных процессов и технологий, где необходимо на практике продемонстрировать детали и особенности работы.

Разработка инфокоммуникационной системы корпоративного обучения включает в себя несколько этапов. В первую очередь необходимо определить цели и требования к системе. Также следует провести анализ потребностей в обучении сотрудников. Важно определить, какие части материала могут быть представлены в AR-формате.

Далее необходимо выбрать соответствующие технологии и платформы для разработки системы. Например, можно использовать AR-приложения на мобильных устройствах или программное обеспечение для AR-очков. Также следует определить и разработать необходимые функции, такие как персонализированные обучающие планы, управление прогрессом и статистика обучения.

Одним из примеров, где инфокоммуникационная система корпоративного обучения с элементами дополненной реальности может быть использована в практической деятельности, является обучение технологии производства.

С помощью AR-элементов, сотрудники могут пройти целый процесс производства в пространстве компьютерной симуляции без использования реального оборудования. Это позволяет обучать сотрудников за минимальное время и с минимальными затратами. Кроме того, данная система может

использоваться для обучения продуктовым и маркетинговым стратегиям, позволяя сотрудникам получать знания о продуктах и услугах компании, которые могут быть использованы при работе с клиентами и продажах.

Однако для успешной реализации данной системы необходимо учитывать некоторые недостатки AR-технологий, такие как ограниченность возможностей оборудования и трудности в разработке и поддержке соответствующего программного обеспечения.

В целом использование инфокоммуникационной системы корпоративного обучения с элементами дополненной реальности может повысить эффективность обучения сотрудников, сократить время обучения и улучшить восприятие материала. Использование AR-элементов будет особенно полезно.

Список использованной литературы

1. Адзума, Р. Т. (1997). Обзор дополненной реальности / Р. Т. Адзума. Присутствие: Телеоператоры и виртуальные среды. — 1997. 6(4), 355–385.
2. Биллингхерст, М. Дополненная реальность в образовании / М. Биллингхерст, Х. Като, И. Поупырев. В материалах 7-го Международного симпозиума IEEE/ACM по смешанной и дополненной реальности. — 2008. — С. 135–144.
3. Чен, К. Ф. Влияние AR-обучения на учебные достижения учащихся и модели поведения / К. Ф. Чен, Х. Ф. Чен // Образовательные технологии и общество. — 2016. 19 (3), 270–284.
4. Данливи, М. Возможности и ограничения иммерсивных симуляций дополненной реальности с участием участников для преподавания и усвоения знаний / М. Данливи, К. Деде, Р. Митчелл // Журнал научного образования и технологий. — 2009. 18 (1), 7–22.
5. Хан, С. Повышение мотивации учащихся и их способности к обучению с помощью AR enhanced flipped learning / С. Хан, Э. Р. Бьяло // Образовательные технологии и общество. — 2016. 19 (3), 508–519.
6. Джонсон Л., Адамс Беккер С., Камминс М., Эстрада В., Фримен А. и Холл С. (2016). Отчет NMC/CoSN Horizon: 2016 K-12.

УДК 621.371.399

Рыжаков В. В., Князев Р. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОРОЖНОГО ДАТЧИКА СИСТЕМЫ
ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ С ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ
ОТ ПЬЕЗОГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

г. Сургут

Аннотация. В докладе представлены результаты построения и исследования энергетической модели системы пьезоэлектрических дорожных датчиков с целью определения условий для достижения положительного энергетического баланса между энергией, потребляемой микроконтроллером и радиотрансивером, и энергией, вырабатываемой пьезогенераторными элементами при движении автомобильного транспорта по дорожному полотну, в котором датчики установлены. В работе были определены области предельных значений параметров рассматриваемой системы, а также сформулированы рекомендации по проектированию системы интернета вещей дорожных датчиков с автономным питанием от пьезогенераторов.

Ключевые слова: *беспроводный дорожный датчик; пьезогенератор; интернет вещей; эффективность; энергетическая модель; энергетический баланс.*

Ryzhakov V. V., Knyazev R. A.

Surgut State University, Surgut

ENERGY MODEL OF THE ROAD SENSOR OF THE INTERNET OF THINGS
POWERED BY PIEZOGENERATOR ELEMENTS

Surgut

Abstract. The report presents the results of building and researching an energy model of a system of piezoelectric road sensors in order to determine the

conditions for achieving a positive energy balance between the energy consumed by the microcontroller and the radio transceiver and the energy generated by piezoelectric elements during the movement of vehicles on the roadway in which the sensors are installed. . In the work, the areas of limiting values of the parameters of the system under consideration were determined, and recommendations were formulated for the design of the Internet of Things system of road sensors with autonomous power supply from piezoelectric generators.

Keywords: *wireless road sensor; piezo generator; internet of things; efficiency; energy model; energy balance.*

Постановка исследовательской задачи. При движении автомобиля он въезжает на участок дорожного покрытия под которым располагается полость с установленной системой пьезогенерации с применением 4 пьезогенераторов. За счет веса автомобиля через защитное дорожное покрытие и пластину приема давления на рычаги пьезогенераторов создается давление. Через какое-то время колесо автомобиля съезжает с пьезогенератора, и давление снимается с пьезогенераторов. За счет периодического изменения давления в пьезогенераторах вырабатывается электрическая энергия, которая поступает в блок питания, где происходит ее накопление в аккумуляторных батареях. Блок питания осуществляет питание микроконтроллера и радиотрансивера. К микроконтроллеру подключаются датчики, которые измеряют параметры дорожного полотна (температура, влажность, кислотность, вибрации, изменение объема, интенсивность дорожного движения). Полученные данные через антенны с передаются по радиоканалу на базовую станцию, имеющую стационарное электропитание, и далее через интернет поступают на сервер данных системы интернета вещей.

Для оценки эффективности работы системы составим ее энергетическую модель с целью исследования условий, при которых в системе будет наблюдаться положительный энергетический баланс, т. е. объема вырабатываемой пьезоэлементами энергии будет достаточно для поддержания системы в рабочем состоянии с учетом энергии, потребляемой микроконтроллером и радиотрансивером.

Энергобаланс описанной системы определяется выражением:

$$\Delta W = 9103,9 \cdot K_{\Pi} \cdot v - (51408 + 0,928 \cdot 10^{-3} \cdot R^2) \cdot A - 1, \text{ Дж}, \quad (1)$$

где:

ΔW — разность между поступающей от пьезогенераторов и расходуемой микроконтроллером и радиотрансивером энергиями;

K_{Π} — коэффициент передачи веса автомобиля через защитное покрытие дорожного полотна;

u — интенсивность транспортного потока, т. е. количество автомобилей, проезжающих через пьезогенераторный датчик в единицу времени;

R — протяженность радиоканала между радиотрансивером и базовой станцией системы интернета вещей;

A — интенсивность обмена данными между датчиком и центральным сервером системы интернета вещей, равная доли времени работы контроллеров датчика в активном режиме.

Выражение (1) получено по итогу достаточно большого числа упрощений, которые, впрочем, не снижают достоверность результата. Оно было выведено для определения наиболее значимых для энергетической модели параметров рассматриваемой системы.

Далее предложенная модель исследовалась на предмет влияния ее параметров на энергобаланс системы.

Результаты исследований. В результате исследования модели в отношении областей предельных значений параметров рассматриваемой системы были получены следующие результаты:

- интенсивность обмена данными, равная доли времени работы контроллеров датчика в активном режиме, не может превышать 0,5, что не позволяет использовать систему в режиме работы реального времени;
- удаленность радиомодуля датчика от базовой станции не имеет существенного значения, что объясняется значительным затуханием сигнала в защитном покрытии дорожного полотна, на несколько порядков превышающего затухание сигнала в свободном пространстве;
- минимальная интенсивность транспортного потока, при котором обеспечивается положительный энергобаланс и, как следствие, работоспособность системы составляет величину порядка 0,55 машины в секунду;
- минимальная работоспособность системы сохраняется вплоть до величины коэффициента передачи веса автомобиля через защитное покрытие дорожного полотна, равное 0,2, при этом резко увеличивается

при повышении эффективности всей механической части рассматриваемой системы дорожных датчиков.

Выводы и рекомендации. Анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующие рекомендации для последующего проектирования системы интернета вещей дорожных датчиков с автономным питанием от пьезогенераторов:

1. Главными критическими для обеспечения работоспособности всей системы факторами является эффективность механической части проектируемой системы и ее способность с минимальными потерями передавать вес автомобиля на пьезогенератор, что говорит о необходимости использования достаточно жестких конструкций на основе высококачественных материалов для каркасов полостей в дорожном покрытии.

2. Эффективность всей системы существенным образом зависит от энергопотребления микроконтроллера и радиотрансивера датчика, поэтому лучше всего использовать контроллеры с как можно меньшим энергопотреблением в активном режиме работы.

3. Для повышения энергоэффективности системы необходимо использование в пьезогенераторах не одиночных пьезоэлементов, как это было рассмотрено в настоящей работе, а использование сборок, содержащих более 15 элементов.

Выполнение последних двух требований обеспечит реализацию режима реального времени работы дорожных датчиков с автономным питанием от пьезогенераторов, что позволит в совокупности с городской системой видеонаблюдения реализовать алгоритмы оперативного контроля за динамикой поведения отдельно взятого автомобиля по всему пути его движения в пределах города.

Список использованной литературы

1. Никифоров, В. Г. Предельные параметры твердотельных многослойных пьезоэлектрических батарей / В. Г. Никифоров, В. А. Чернов // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Инновационные процессы пьезоэлектрического приборостроения и нанотехнологий». Анапа. 22–26 сентября 2008.

2. Жуков, С. Н. Пьезоэлектрическая керамика: принципы и применение / С. Н. Жуков. — Минск : «ФУАинформ», 2003.

3. Сафронов, А. Я. Пьезокерамические пакеты и многоблочные актюаторы / А. Я. Сафронов, В. М. Климашин [и др.] // Компоненты и технологии. — 2002. — № 6.
4. Никифоров В., Климашин В., Сафронов А. Биморфные пьезоэлектрические элементы: актюаторы и датчики / В. Никифоров, В. Климашин, А. Сафронов // Компоненты и технологии. — 2003. — № 4.
5. Разработка макетного образца автономного пьезоэлектрического источника питания. Научнотехнический отчет. — Москва : ОАО «НИИ «Элпа», 2007.
6. Казаков В., Климашин В., Никифоров В., Сафронов А., Чернов В. Многослойные пьезоэлектрические пьезоактюаторы и особенности их применения / В. Казаков, В. Климашин [и др.] // Компоненты и технологии. — 2007. — № 6.
7. Сенюткин, П. А. О потребительских характеристиках пьезоэлементов / П. А. Сенюткин // Наука, образование и культура. — № 2 (46). — 2020. — С. 17–20.
8. Расчет характеристик пьезоэлемента ультразвукового двигателя // Радиооптика / С. И. Масленникова, А. В. Ситников, И. В. Миронова; Концерн радиостроения «Вега». — № 4. — 2016. — С. 25–40.
9. Состояние и перспективы развития пьезоэлектрических генераторов // Нано- и микросистемная техника / В. Г. Никифоров, А. В. Дайнеко, А. Л. Гриценко; ООО Издательство «Новые технологии»: Т. 22: № 2. — 2020. — С. 102–111.
10. Загашвили, Ю. В. Динамические характеристики пьезогенераторов / Ю. В. Загашвили, В. Г. Руденко // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. — Министерство науки и высшего образования РФ. Т. 64: №8. — 2021. — С. 626–637.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВУЗЕ

УДК 378.147

Смыков Ю. Н., Горелов С. В.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ ВОСПРИЯТИЯ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

г. Новосибирск

Аннотация. Статья посвящена анализу путей развития методики преподавания электротехнических дисциплин с учетом динамичного развития электроэнергетической сферы. Особое внимание уделено рассмотрению вопросов возникновения ошибок и снижения взаимопонимания в части передачи теоретического и практического материала. Снижение восприятия учебно-методического материала при изучении электротехнических дисциплин показано как многофакторная проблема, оптимальное решение которой позволит повысить электробезопасность, уровень подготовки и скорость принятия решений, повысить культуру производства.

Ключевые слова: *наслоение материала, обозначение, электробезопасность, культура производства.*

Smykov Yu. N., Gorelov S. V.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

ASPECTS OF PRACTICE IN THE STUDY OF ELECTRICAL ENGINEERING DISCIPLINES

Novosibirsk

Abstract. The article is devoted to the analysis of ways of developing the methods of teaching electrical disciplines, taking into account the dynamic

time pressure. Time pressure in electrical engineering is shown as a multifactorial problem, the optimal solution of which will improve electrical safety, the level of training and the speed of decision-making, and improve the culture of production.

Keywords: *material layering, designation, electrical safety, production culture.*

Взаимосвязь преподавателя и студента была и остается важнейшим элементом передачи опыта, теоретических и практических знаний. При этом возникновение новых инструментов работы, включающих высокую компьютеризацию и искусственный интеллект, увеличивают скорость обмена данными и доступность материала, подчеркивают значимость ряда аспектов для корректного усвоения учебно-методического материала. Рассмотрим некоторые из них.

Наслоение материала

Предыдущий опыт может как таить в себе пользу, так и сбить с верного направления мысли.

Например, использование буквы *I* (и) в электротехнике для обозначения силы тока необходимо обязательно пояснять, а именно — используется латинский алфавит, так как студенту знакома буква *I* (ай) из английского языка. Для привыкания необходимо время.

Стоит отметить, что предыдущий опыт, как правило, помогает в изучении сложной дисциплины «электротехники».

Например: нахождение дискриминанта — одна из распространенных задач в школьной программе, поэтому воспринимается студентами при решении задач по электротехнике достаточно легко и позволяет освежить знания.

Пример задачи:

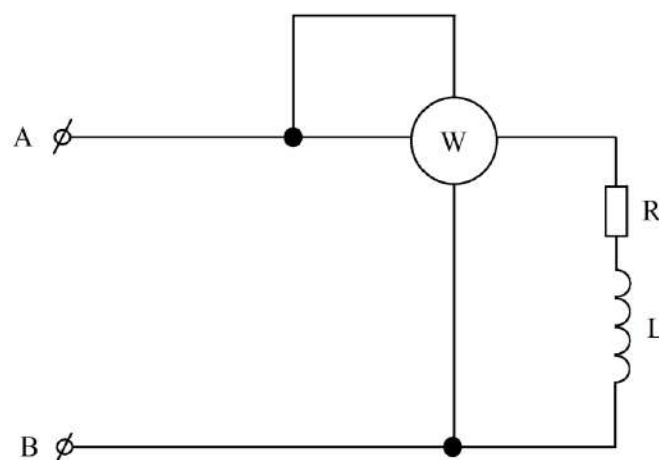


Рис. 1. Электрическая схема

Рассмотрим рис. 1. К зажимам АВ подведено напряжение 15 В , частотой 50 Гц, при этом ваттметр показывает 1 Вт, индуктивность равна 0,1 Гн. Что покажет ваттметр на частоте 200 Гц при том же напряжении?

Так как ваттметр показывает активную мощность, т. е. мощность, потребляемую резистором, то

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$I = \frac{U}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = U \cdot \frac{U}{Z} \cdot \frac{R}{Z} = \frac{U^2 \cdot R}{Z^2} = \frac{U^2 \cdot R}{R^2 + X^2}$$

По условию ваттметр показывает 1 Вт, поэтому

$$P = \frac{U^2 \cdot R}{R^2 + X^2} = 1$$

$$R^2 - U^2 \cdot R + X^2 = 0$$

Пришли к уравнению типа $ax^2 + bx + c = 0$.

Решение студентами подобных уравнений уже отработано, поэтому происходит взаимосвязь уже изученного материала с новым. Соответственно, мы получим два корня, оба из которых должны учитывать при дальнейшем решении, поэтому ответов будет два. По желанию преподавателя можно отсечь один корень, например, дополнительным условием в задании (активное сопротивление R меньше 100 Ом).

Синонимы, однокоренные и созвучные слова, одинаковые обозначение.

Например:

Q — мощность реактивная, и в то же время аналогично обозначается добротность контура.

Часто обозначения в разных формулах могут совпадать, при этом иметь разное смысловое значение, необходимо пояснять и обращать внимание на эти аспекты.

Например:

$$S = 3 U_{\phi} \cdot I_{\phi}$$

где под I_{ϕ} подразумевают фазный ток;

$$k_{уст} \geq \frac{\sum_{i=1}^m I_{вкл} - \sum_{i=1}^m I_{ном} + I_{\phi}}{(1 - \delta) \cdot I_{р.ном}}$$

где I_{ϕ} — расчетный ток фидера.

Одинаковые обозначения встречаются достаточно часто и могут являться элементом вызывающим затруднение, поэтому необходимо прописывать или пояснять исходные позиции возникновения коэффициента.

Например, при коэффициенте использования в части определения загрузки конкретного электропотребителя определяется (на примере асинхронного электродвигателя):

$$k_{и} = \frac{P_p}{P_y} \quad (1)$$

где $K_{и}$ — коэффициент использования, P_p — расчетная мощность, P_y — установленная мощность.

$$k_3 = k_{и} \cdot k_{зм} \quad (2)$$

где K_3 — коэффициент использования, $K_{зм}$ — коэффициент загрузки механизма.

$$\eta' = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_n} - 1\right) \cdot \frac{a + k_3^2}{k_3 \cdot (\alpha + 1)}} \quad (3)$$

где α — коэффициент потерь α , для большинства электродвигателей можно считать равным 1.

С другой стороны, подобный коэффициент может использоваться при проектировании системы электроснабжения. Коэффициент использования подразумевает учет простоя оборудования. Коэффициент использования или коэффициент использования — это отношение времени, в течение которого используется оборудование, к общему времени, в течение которого оно могло бы использоваться [1].

Является аспектом, на который по необходимости уделяем внимание при проведении занятий. Для преподавателя, особенно с опытом, это само

собой разумеющиеся вещи, однако для студента, только погрузившегося в новый для него материал, любое препятствие может привести к недопониманию и последующим сложностям в процессе обучения.

Схожесть формулировок

Зафиксировать основные понятия и определения является важным для любой дисциплины, в том числе и электротехники. Однако на этом пути у студентов могут возникнуть сложности. Например, близость или схожесть формулировок.

Пример:

Источники ЭДС и тока называются **активными элементами**, а **резистивные**, индуктивные и емкостные элементы — **пассивными элементами** схем замещения.

Далее.

При прохождении тока через элементы, имеющие **активное сопротивление**, потери выделяющейся мощности необратимы. Примером может служить резистор, выделяющееся на нем тепло.

При прохождении переменного тока через реактивные элементы возникает **реактивное сопротивление**. К реактивным сопротивлениям относятся емкостное сопротивление и индуктивное сопротивление.

Таким образом, получаем пассивный элемент схемы — замещение активного сопротивления, возникает сложность восприятия информации. Или, другими словами, активное сопротивление относится к неактивным элементам. При первой встрече с этими важными элементами необходимо уделить этому внимание.

Четкое восприятие информации и однозначность подачи и формулировки — залог успешного изучения технической дисциплины.

Список использованной литературы

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Utilization_factor.

УДК 378.147

Смыков Ю. Н., Толашко Т. А.

Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПРАКТИКИ ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

г. Новосибирск

Аннотация. Статья посвящена анализу путей развития методики преподавания электротехнических дисциплин с учетом динамичного развития электроэнергетической сферы. Особое внимание уделено рассмотрению вопросов работы с применением современных тренажерных комплексов, таких как engine room simulator (ERS 5000 TECHSIM) и универсальный программируемый тренажерный комплекс. Современные подходы и практики при преподавании электротехнических дисциплин показаны как многофакторные проблемы, оптимальное решение которых позволит повысить электробезопасность, уровень подготовки и скорость принятия решений, повысить культуру производства.

Ключевые слова: аспекты практики, электробезопасность, культура производства.

Smykov Yu. N., Tolashko T. A.

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

ASPECTS OF PRACTICE IN THE STUDY OF ELECTRICAL ENGINEERING
DISCIPLINES

Novosibirsk

Abstract. The article is devoted to the analysis of ways to develop the methodology of teaching electrical engineering disciplines, taking into account the dynamic development of the electric power industry. Special attention is paid

to the issues of working with the use of modern training complexes, such as engine room simulator (ERS 5000 TECHSIM) and a universal programmable training complex. Modern approaches and practices in teaching electrical engineering disciplines are shown as multifactorial problems, the optimal solution of which will improve electrical safety, the level of training and the speed of decision-making, and improve production culture.

Keywords: *aspect of practice, electrical safety, production culture.*

Применение современных тренажерных комплексов открывает широкую перспективу для качественного и успешного освоения различных дисциплин, в том числе и электротехнических. Практика применения подобных комплексов указывает на типичные ситуации, возникающие в процессе работы. Применение подобных стендов продиктовано большим рядом преимуществ и требованием времени.

На рис. 1.1, 1.2 представлена схема судна, автоматизированную электро-энергетическую систему которого предстоит рассмотреть на тренажере ERS 5000 TECHSIM.

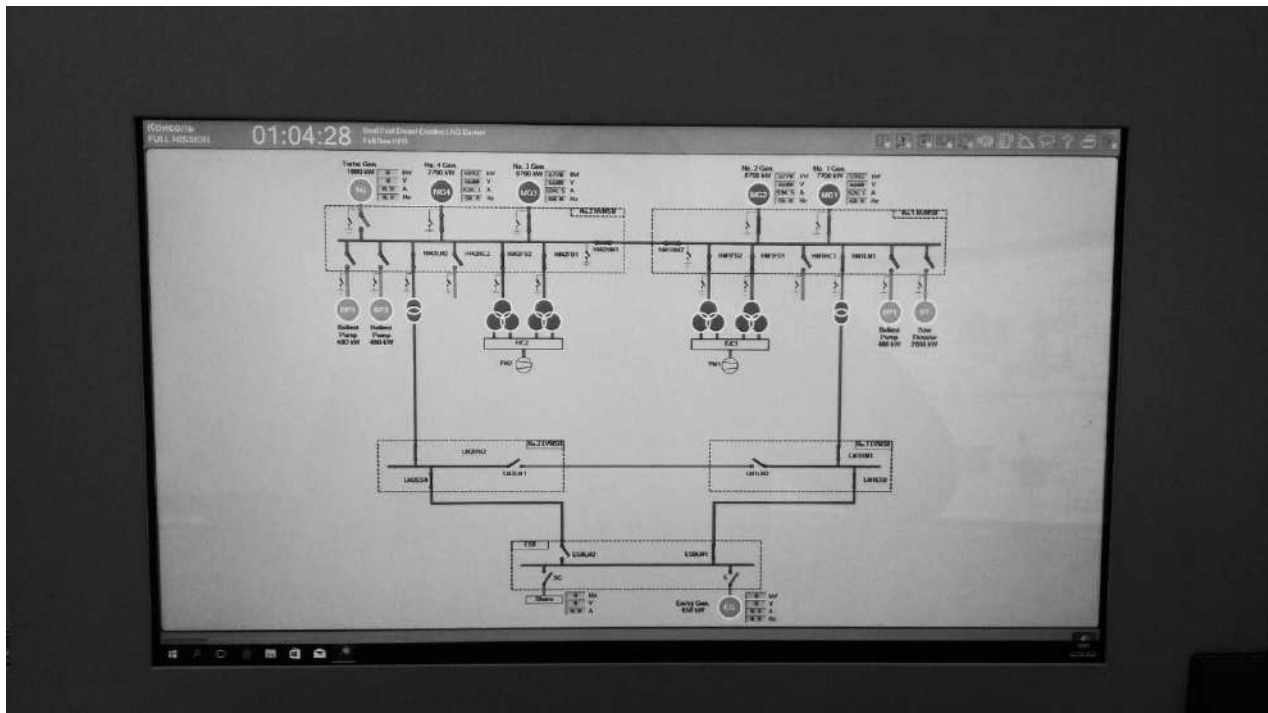


Рис. 1.1. Main Switch Board

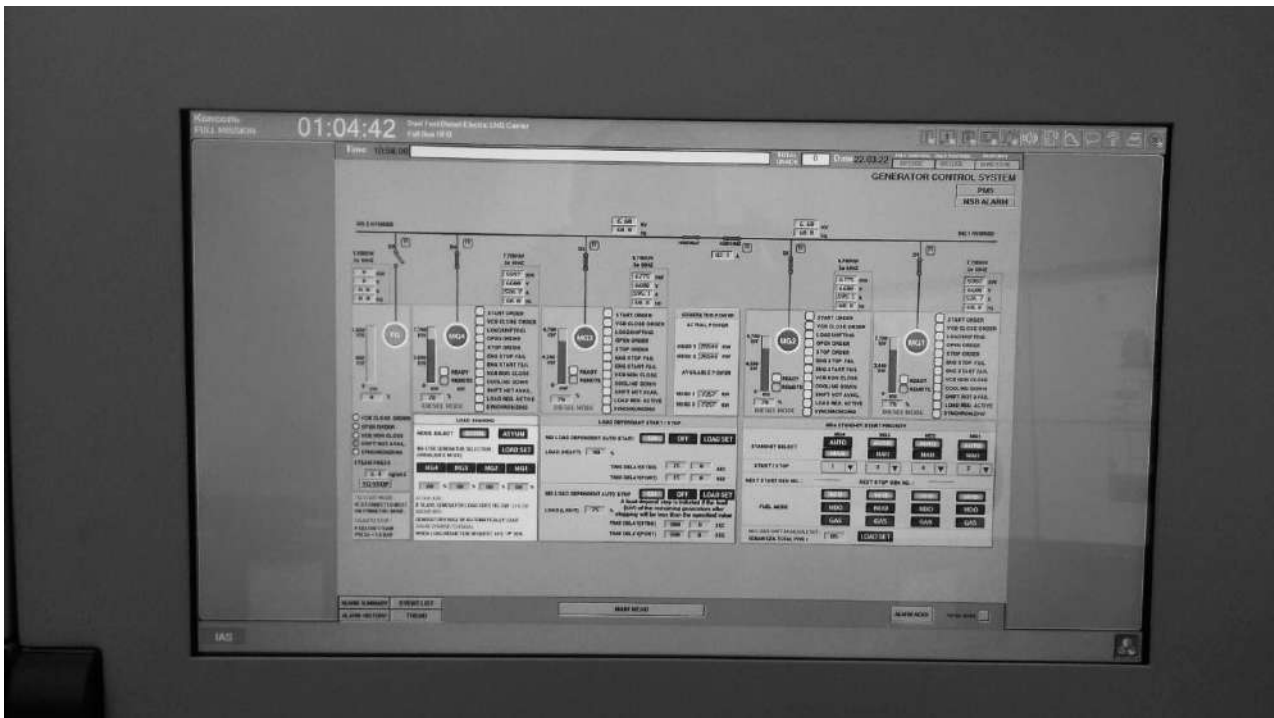


Рис. 1.2. Main Switch Board

Для проведения работы необходимо ознакомиться с судном, для этого используем инструкции к тренажеру, где указаны основные параметры судна. Так, например, важной для проведения работы является информация об общей установленной мощности.

Типовая программа выполнения:

1. Подготовка рабочего места.
2. Визуальный осмотр внешней поверхности на наличие повреждений, вмятин, изменения цвета и т. д.
3. Проработка использования кратких сокращений применяемых в лабораторной работе (Abbreviations), например: LV — Low voltage; PLC — Programmable Logic Controller and etc.
4. Проработка раскрывающихся окон (вкладок) разработанных для конкретного проекта (модели) судна, которые представлены в данной программе, в нижней части рабочего окна.
5. Переходим из ручного режима управления в автоматическое, ставим приоритет запуска и ввода в работу дизель-генераторов, анализируем алгоритм и логику работы.

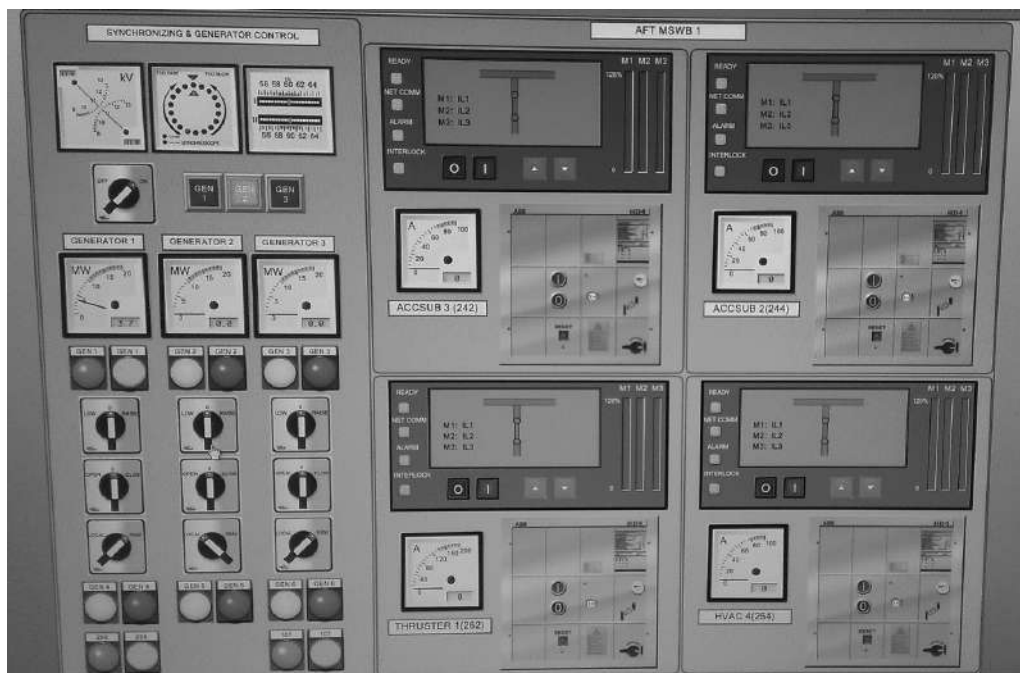


Рис. 2. SYNCHRONIZING and GENERATOR CONTROL

На рис. 2 в верхнем левом углу слева направо — вольтметр, синхроскоп, частотомер. С левой стороны по центру расположены ваттметры первого, второго и третьего генератора, далее сверху вниз следуют ручные переключатели. Для каждого генератора предусмотрено три переключателя, а именно: увеличение, уменьшение частоты вращения приводного двигателя; включение, выключение главного автоматического выключателя соответствующего генератора; переключения поста управления (местное или удаленное управление).

6. Производим ручную синхронизацию и параллельное подключение генератора при соблюдении всех условий синхронизации. Далее переводим всю нагрузку на вводимый в действие генератор и производим отключение работавшего до синхронизации генератора.

7. При переводе нагрузки производим контроль за перетоком мощности. При переходе в двигательный режим сработает тревога по обратной мощности. На рисунке 3.2 представлена панель синхронизации, где происходит основная работа.

Особенностью проведения данной работы является постоянный контроль параметров работы судовой электроэнергетической системы, в том числе на наличие программных сбоев, неточности показаний приборов и т. д.

Могут возникать ситуации (рис. 3) программного характера, при наличии физической схемы данная ситуация менее вероятна, однако поиск и устранение неточностей и некорректной работы схемы также является частью этапа становления современного специалиста.



Рис. 3. Пример отображения данных по мощности при отключенном от шин генераторе

Подобная ситуация складывается при программировании ПЛК на универсальном программируемом тренажерном комплексе. Наиболее типичным затруднением является расстановка порядка выполнения команд (а именно — в соответствии с потоком данных), а также установка адреса как на модулях расширения при наладке, так и при копировании отдельных блоков. Стоит отметить, что последнюю указанную ошибку при значительной по объему программе отследить достаточно сложно, поэтому необходимо устранять предпосылки возникновения подобной ошибки.

Указанное выше говорит о неуклонном росте роли преподавателя в передаче опыта и знаний, повышенной значимости контроля и корректировки работы и т. д. Так, например, молодому специалисту затруднительно интерпретировать следующую выдержку из документа [1]: «...небольшое увеличение напряжения (меньше чем на 10%) по сравнению с номинальным уровнем будет уменьшать коэффициент мощности, и, наоборот, небольшое понижение напряжения (меньше чем на 10%) относительно его номинальной величины будет повышать коэффициент мощности асинхронного двигателя. Однако его другие рабочие характеристики могут испытывать обратное

воздействие такого изменения напряжения, вследствие чего рекомендуется держать режим работы асинхронного двигателя как можно ближе к номинальным значениям напряжения и мощности, указанным в его паспортной табличке».

Данная информация малоинформативна, так как даже при слабой подготовке интуитивно понятно, что соблюдение номинальных параметров является неотъемлемой частью поддержания работоспособности машин и механизмов.

Список использованной литературы

1. ГОСТ IEC/TS 60034-31-2015 Машины электрические вращающиеся. Часть 31. Выбор энергоэффективных двигателей, включая приводы с регулирующей скоростью. Руководство по применению.

УДК: 378.14.015.62

Дёмко А. И., Алмазова Е. Г.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ И ВНУТРИСЕМЕСТРОВАЯ
АТТЕСТАЦИЯ

г. Сургут

Аннотация. Рассматриваются итоги диагностического тестирования бакалавров направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» политехнического института Сургутского государственного университета в осеннем семестре 2022/23 учебного года. Комментируются предпосылки использования диагностического тестирования, обсуждаются его особенности применительно к сложившимся аттестационным процедурам балаквариата.

Ключевые слова: *диагностическое тестирование, высшее профессиональное образование, аттестация.*

Demko A. I., Almazova E. G.

Surgut State University, Surgut

DIAGNOSTIC TESTING AND IN-HOUSE
CERTIFICATION

Surgut

Abstract. The results of diagnostic testing of bachelors in the field of «Information communication technologies and communication systems» of the Polytechnic Institute of Surgut State University in the autumn semester of the 2022/23 academic year are considered. The prerequisites for the use of diagnostic testing are commented on, its features are discussed in relation to the established certification procedures of the balaquariat.

Keywords: *Diagnostic testing, higher professional education, certification.*

Сургутский государственный университет (СурГУ) относится к категории университетов, где подготовка ведется по различным направлениям как гуманитарного, так и инженерного профиля. В этом есть положительные и отрицательные стороны по отношению к инженерным направлениям, имеющим существенную специфику в плане организации и материально-технического обеспечения учебного процесса. Особенно это проявляется в организации, обеспечении и проведении лабораторных практикумов, необходимых в основном при освоении специальных дисциплин учебного плана.

Сложившаяся в СурГУ система контроля знаний включает в себя внутрисеместровую аттестацию в середине семестра и промежуточную аттестацию (экзамен или зачет) по окончании изучения дисциплины. Содержание и структура промежуточной аттестации оптимизирована в ходе многолетнего опыта высшего образования. Целью внутрисеместровой аттестации является определение объективного состояния соответствия плановым параметрам текущего состояния успешности обучения по каждой дисциплине и для каждого студента. Кроме этого, результаты внутрисеместровой аттестации могут учитывать посещаемость учебных занятий, если в образовательной организации не определена свободная форма посещения занятий. Несомненно, не всегда в должной мере используются итоги внутрисеместровой аттестации и еще есть резервы для повышения ее результативности.

Целесообразным можно считать следующий алгоритм использования внутрисеместровой аттестации:

- публичное доведение результатов аттестации до студентов в группах путем проведения групповых собраний куратором и (или) руководством (заведующим профилирующей кафедрой или директором института) с анализом проблемных ситуаций по студентам и дисциплинам;
- рассмотрение на заседаниях кафедры итогов аттестации с анализом наихудших состояний по студентам и дисциплинам;
- доведение результатов аттестации до родителей (законных представителей) студентов с большим числом неаттестованных дисциплин.

Диагностическое тестирование является новым инструментом, совмещающим процедуры внутреннего и внешнего контроля.

В соответствии с письмом [3] МН и ВО РФ от 28.02.2022 г. «Методические рекомендации по применению аккредитационных показателей по образо-

вательным программам ВО» оценочные материалы являются обязательным компонентом в структуре образовательной программы. Оценочные материалы представляют собой комплект разработанных и утвержденных оценочных средств в виде набора разнообразных заданий типа с ключами правильных ответов, а также критерии для оценивания результатов освоения образовательной программы и результатов обучения.

Оценочные средства должны обеспечивать достоверную оценку результатов обучения и удовлетворять следующим критериям:

- соответствие целям и задачам дисциплины;
- наличие достаточного объема оценочных средств, позволяющих производить отбор заданий для проведения диагностически;
- соответствие предмету оценки, направленной на определение уровня достижения планируемых результатов обучения;
- использование утвержденных понятий, терминов, определений.

Оценочные материалы для диагностической работы должны быть представлены в доступном для редактирования электронном виде.

Не вполне однозначно трактуются рекомендации федеральных органов [4]: «Диагностическая работа проводится в отношении старшего курса (года, периода) обучения, обоснованно выбранным экспертом универсальным (общекультурным), общепрофессиональным и (или) профессиональным компетенциям, общее количество которых в совокупности составляет не менее трех и не более пяти компетенций». Идет ли здесь речь о диагностике сформированности конкретных 3–5 компетенций, формируемых разными дисциплинами, или об одной учебной дисциплине?

Продолжительность диагностики не более двух академических часов при максимальном количестве заданий, не превышающем 30 и не менее 70% численности охватываемого списочного состава группы.

Диагностика [1] может быть реализована как контактно, так и дистанционно.

При проведении диагностики образовательная организация обеспечивает видеозапись и хранение видеозаписи.

Порядок диагностического тестирования в СурГУ определен рекомендациями ОЛАиМС («Проведение диагностической работы в 2022–2023 учебном году»):

- провести тестирование по разработанным тестам с 1 по 7 декабря;

- время проведения: на занятии, на консультации или иное — на усмотрение преподавателя;
- оформить результаты в ведомости установленного образца. Оценки «аттестован» заслуживает обучающийся, выполнивший не менее 70% заданий;
- рассмотреть результаты на заседаниях кафедры, института и УМС университета.

В соответствии с этими рекомендациями вопросы тестового задания должны были включать в себя следующие категории:

- вопросы низкого уровня сложности — не менее 5 штук;
- вопросы среднего уровня сложности — не менее 10 штук;
- вопросы высокого уровня сложности — не менее 5 штук, при общем числе вопросов — не менее 20.

Рекомендована градация оценки ответов на вопросы в зависимости от уровня сложности:

- низкий уровень сложности — 2 балла;
- средний уровень сложности — 5 баллов;
- высокий уровень сложности — 8 баллов.

Уровень знаний по итогам диагностического тестирования рекомендовано оценивать по 100-балльной шкале.

По результатам тестирования в ведомость выставляется отметка «аттестован» или «не аттестован».

Теория диагностического тестирования хорошо разработана применительно к техническим системам. Рассмотрим основные понятия, относящиеся к рассматриваемым мероприятиям.

Диагностика — это совокупность мероприятий по выяснению причин аномалий и механизмов их возникновения. Цель диагностики — получение конкретных и объективных данных о причинах и механизмах возникновения проблем и получение диагноза.

Диагностический тест (техническое понятие) — это процедура, позволяющая определить неисправности с точностью до их локализации.

При диагностике технической системы цель — оценить состояние и выяснить неисправности. Диагностические работы [2] содержат измерения, которые можно выполнять как при штатном функционировании исследуемой технической системы, так и при проведении специальных тестов.

По назначению тесты могут быть проверочные, локализирующие и диагностические.

Проверочный тест проводится для того, чтобы оценить правильность функционирования системы вообще. Локализирующий тест проводится для того, чтобы локализовать место неисправности системы. Диагностический тест объединяет функции проверочного и локализирующего.

По периодичности тесты разделяются на одиночные, кратные и полные, а по количеству процедур аттестации — на тривиальные, минимальные и минимизированные.

Методы диагностики могут быть статистическими или инструментальными, опирающимися на физические, механические, химические и другие явления, которые лежат в основе информации о системе.

Средства диагностики — приборы измерения, пульта и стенды. Технология диагностики — последовательность, методы и алгоритмы применения методик и методов диагностики.

Система технического диагностирования является совокупностью объектов, методик, средств и исполнителей, которые позволяют осуществлять диагностирование в соответствии с правилами, установленными нормативными документами.

В осеннем семестре 2022/23 учебного года в Политехническом институте СурГУ проводилось диагностическое тестирование по всем изучаемым дисциплинам без проведения внутрисеместровой аттестации.

Диагностическое тестирование было подготовлено разработкой диагностических тестов, помещенных в оценочные средства (ОС) комплекта документов рабочих программ дисциплин. Это можно считать сравнительно формальным действием, которое, к сожалению, не всегда было дополнено профессиональной экспертизой разработанных документов.

Само диагностическое тестирование не могло быть проведено с использованием диагностических тестов из ОС, так как, разработанные для внешнего тестирования, они содержали задания по всему учебному материалу семестра, а реально диагностическое тестирование проводилось после трех месяцев с начала семестра. Поэтому пришлось корректировать структуру тестов, удаляя задания по неизученным темам и добавляя задания для обеспечения рекомендованного числа тестовых заданий. Такое изменение не является равнозначным, так как в заключительной части дисциплины содержится более обобщающий материал.

При проведении диагностического тестирования на онлайн-платформе Moodle результаты тестирования были получены в 100-балльной системе, однако эти результаты нельзя было использовать для внесения в диагностические ведомости, так как было дано дополнительное указание — процент выполнения тестов рассчитывать, исключительно исходя из учета заданий только с полностью правильными ответами, в число таковых не могли быть учтены часть тестов с множественным выбором ответов.

Выводы.

При проведении диагностического тестирования целесообразно использовать и традиционную внутрисеместровую аттестацию. Отсутствие внутрисеместровой аттестации проявляется в заметном увеличении числа обучающихся, не допущенных к промежуточной аттестации.

В оценочных средствах рабочих программ следует размещать два варианта диагностических тестов: диагностических тестов внутреннего тестирования по результатам освоения 75% учебного материала и диагностических тестов по всему объему дисциплины для внешнего тестирования.

Ведомость по результатам диагностического тестирования следует формировать на основании таблицы *Moodle*, а не на основании дополнительных пересчетов с учетом определенных указаний.

Список использованной литературы

1. Бодрова, Т. Ю. Диагностический тест как система проверки знаний учащихся на уроках РКИ / Т. Ю. Бодрова, И. В. Кривченкова // Инновационные педагогические технологии: материалы VII Международной научной конференции (г. Казань, октябрь 2017). — Казань : Издательство «Бук», 2017. — С. 96–100.
2. Диагностические тесты. <https://studfile.net/preview/5906752/page:4/>.
3. Письмо МН и ВО РФ от 28.02.2022 г. №МН-5/339. О направлении методических рекомендаций. Методические рекомендации по применению аккредитационных показателей по образовательным программам ВО. Утв. приказом МН и ВО РФ от 25.11.2021 г. № 1094.
4. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации: Федеральный закон от 11.06.2021 № 170-ФЗ.

УДК 378.147

Бигун А. Я.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

АСПЕКТЫ НЕОБХОДИМОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН НЕПРОФИЛЬНЫМ
НАПРАВЛЕНИЯМ

г. Сургут

Аннотация. Развитие техники и технологии приводит к более частому и разнообразному применению электроэнергетического оборудования и устройств в быту и производстве. При ежедневном взаимодействии с электрооборудованием возрастают риски получения травм. В представленной работе приведены уровни токов, опасных токов, какие поражения током существуют. Также в работе представлен анализ профессиональной деятельности выпускников направлений Сургутского государственного университета с точки зрения взаимодействия с электрическим током, схемами и сетями. Приведен перечень предлагаемых дисциплин для рассмотренных направлений и методы ведения занятий для лучшего усвоения материалов студентов.

Ключевые слова: *электробезопасность, профессиональная деятельность, образовательные технологии.*

Bigun A. Ya.

Surgut State University, Surgut

АСПЕКТЫ НЕОБХОДИМОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН НЕ ПРОФИЛЬНЫМ
НАПРАВЛЕНИЯМ

Surgut

Abstract. The development of technology and technology leads to more frequent and diverse use of electric power equipment and devices in everyday life

and production. With daily interaction with electrical equipment, the risks of injury increase. The presented work shows the levels of currents of dangerous currents, which electric shocks exist. The paper also presents an analysis of the professional activities of graduates of the directions of Surgut State University from the point of view of interaction with electric current, circuits and networks. The list of the offered disciplines for the considered directions and methods of conducting classes for the best assimilation of students' materials is given.

Keywords: *electrical safety, professional activity, educational technologies.*

Электроэнергетика — одна из сфер, которая имеет стабильные тенденции в развитии. Это связано с ростом потребляемой энергии промышленными предприятиями, а также другими комплексами (жилищным, сельскохозяйственным). С ростом потребления энергии, как следствие, возрастает количество взаимодействий между человеком и электроприборами различного класса напряжения — как условно безопасного для человека, так и смертельного. Под электроприборами подразумеваются бытовые потребители, такие как: электрические чайники, фены, телевизоры, электрические плиты и духовые шкафы, выключатели осветительных приборов, зарядные устройства и так далее и тому подобное, которые подключены непосредственно к сети 0,4 кВ. Эти приборы и устройства окружают человека непосредственно в быту, но при выходе из помещений число косвенных взаимодействий возрастает, а именно — находящиеся там линии электропередачи различных классов напряжения, осветительные устройства и т. д. Человек в такой среде должен верно оценивать опасности для жизни. В данной работе рассмотрим необходимость повышения общей образованности населения в области энергетики.

Необходимость повышения образованности в области электроэнергетики связана в первую очередь с особенностями электрического тока: не имеет цвета, запаха, вкуса, если сказать иначе, никак не может быть определен ни одним органом чувств человека (при небольших значениях тока и напряжения) до момента прикосновения к элементу под напряжением. Для недопущения ситуации прикосновения человека к токоведущей части применяют изоляцию (как правило, двойную или усиленную [3]), а также защитные устройства. Но вышеперечисленные методы и способы защиты человека не могут уберечь от поражения электрическим током, так как они могут быть неисправными.

На тело человека электрический ток производит следующие действия:

- термическое — возникновение ожогов покровов человека;
- электрическое — выражается в разложении крови и других органических жидкостей организма и вызывает значительные нарушения их физико-химического состава;
- биологическое — проявляется как раздражение и возбуждение живых тканей организма, что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями различных мышц.

Каждое из воздействий приводит к поражениям следующего вида: электрические травмы (электрический ожог, токовый ожог, дуговой ожог, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия, механические повреждения) и электрические удары (подразделяются на четыре степени).

При электрическом ударе определяющим является ток [2, 3], протекающий через тело человека (табл. 1) Из представленной таблицы видно, что переменный ток опаснее постоянного тока.

Таблица 1. — Значения токов

Вид тока	Сила тока	
	Переменный ток	Постоянный ток
Пороговый осязаемый ток — электрический ток, который начинает ощущаться (раздражающий покровы человека)	от 0,6 до 1,5	от 5 до 7
Пороговый неотпускающий ток — электрический ток, при прохождении которого происходит непроизвольное сокращение мышц (без возможности самостоятельно воздействовать на мышцы)	от 10 до 15	от 50 до 80
Фибрилляционный ток — электрический ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию сердца	от 100	от 300

Выше изложен один из аспектов необходимости обучения студентов непрофильных дисциплин электрическим дисциплинам. Также можно

выделить еще один аспект, взаимосвязанный с профессиональной деятельностью, который не будет непосредственно воздействовать на организм человека.

Рассмотрим более подробно возможные взаимодействия на уровне профессиональной деятельности с электрическими схемами, оборудованием и сооружениями студентов направлений бакалавриата Политехнического института и ряда других институтов Сургутского государственного университета (представлены в табл. 2).

Таблица 2 . — Анализ профессиональной деятельности с точки зрения взаимодействия с электрическим током, схемами и сетями

№	Направления подготовки	Взаимодействия в профессиональной деятельности
1	Инфокоммуникационные технологии и системы связи	– построение схем, – построение сетей, – предъявление требований к электрическому питанию оборудования, – безопасные способы взаимодействия с оборудованием под напряжением
2	Управление в технических системах	– разработка средств и систем автоматизации – проектирование средств и систем автоматизации, – производство средств и систем автоматизации, – эксплуатация средств и систем автоматизации, – предъявление требований к электрическому питанию оборудования, – безопасные способы взаимодействия с оборудованием под напряжением
3	Информатика и вычислительная техника	– разработка программного обеспечения для электроэнергетических объектов, – разработка программного обеспечения непосредственно обращающейся к аппаратной части
4	Информационные системы и технологии	инструментальное (программное, техническое, организационное) обеспечение систем и сетей (так как находят свое место в технике, энергетике, медицине и т. д.)
5	Строительство	– проектирование зданий и сооружений энергетического комплекса, – проектирование зданий и сооружений, – курирование возведения и возведение зданий и сооружений

6	Пожарная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – недопущения нарушений в области эксплуатации электроустановок, потенциально приводящих к пожароопасным ситуациям как внутри помещений, так и вне их, – опасности, грозящие при обследовании электроустановок, – выявление причин возгорания
7	Педагогическое образование	<ul style="list-style-type: none"> – взаимодействие с электрическим оборудованием самостоятельно, – обучение школьников на электрическом оборудовании, – прививание школьникам безопасного взаимодействия с электрооборудованием в процессе обучения, быту и на будущем рабочем месте

Обобщая информацию из таблицы 2, можно сделать вывод, что в учебные планы приведенных направлений можно внести (дополнить имеющийся дисциплины) следующие дисциплины в зависимости от специфики: «Безопасность при эксплуатации электроустановок», «Теоретические основы электротехники», «Электротехника и электроснабжение», «Электрическая техника», «Электроснабжение». Формой промежуточной аттестации могут быть выбраны как зачет, так и экзамен.

При проведении занятий для представленных направлений могут быть использованы следующие образовательные технологии: модульная технология (лекции, семинары, исследование, лабораторные работы, коллоквиум), технология развивающего обучения («мозговой штурм», дискуссия, дебаты, критическое мышление), интерактивные технологии (диалоговые, задачные, проблемные, игровые) с целью лучшего усвоения материалов по электроэнергетике. При проведении данных занятий не надо забывать о том, что некоторый материал сложен для восприятия даже студентам профильного направления, поэтому этот материал необходимо будет излагать в первые 20 минут пары, такой временной интервал взят из психологических особенностей человека [1]. Если же в 20 минут изложить этот материал невозможно, то между выдачей тем и глав в ней необходимо делать перерывы не менее 7 минут [4]. Также материалы выдавать предполагается через учебные фильмы, так как у современного человека начало формироваться клиповое мышление (восприятие материалы фрагментально, яркими образами). Также будет нелишним привлекать современные технологии в учебный процесс,

например интерактивные книги и учебные пособия, позволяющие сразу визуализировать объекты и предметы через экран гаджета. Внедрение таких технологий связано с развитием электроники, а также с информационной насыщенностью среды. Также как рекомендацию можно рассмотреть возможность внедрения в учебный процесс дисциплин, связанных с психологией межличностных взаимодействий, конфликтологии, так как все направления в своей трудовой деятельности будут взаимодействовать между собой, причем порой в ситуациях цейтнота, психологического давления и т. д.

Подводя итог вышеизложенному, делаем вывод, что дисциплины по электроэнергетике позволяют предупредить травматизм на рабочем месте и в быту в связи с пониманием причинно-следственных связей, а также вызвать правильные реакции на травматизм. Понимание процессов, протекающих в электрических цепях и сетях, повысит качество производимых работ.

Список использованной литературы

1. Ананьев, Б. Г. Избранные психологические труды: В 2 т. Т. 2. / Б. Г. Ананьев; под ред. А. А. Бодалева. — М. : Педагогика, 1990.
2. ГОСТ 12.1.038-82. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов: Межгосударственный стандарт: издание официальное : введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.07.82 №2987: дата введения 1983-07-01. — Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. — 7 с. — Текст : непосредственный.
3. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 // elec.ru электротехнический интернет-портал URL: <https://www.elec.ru/library/direction/rue.html> (Дата обращения: 25.03.2023).
4. Смыков, Ю. Н. Аспекты практики при изучении электротехнических дисциплин / Ю. Н. Смыков, С. В. Горелов. — Текст : непосредственный // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : материалы III всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Сургут, 21–22 апреля 2022 года). — М. : Знание-М, 2022. — С. 443–448.

УДК 001.8

Владимиров Л. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ
ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос разработки программ дополнительного профессионального образования с учетом требований целевой аудитории. Определены возможные способы оценки потребностей слушателей. Рассмотрен вопрос формирования программ дополнительного профессионального образования при использовании клиентоориентированного подхода.

Ключевые слова: *повышение квалификации, дополнительное профессиональное образование, клиентоориентированный подход.*

Vladimirov L. V.

Surgut State University, Surgut

DEVELOPMENT OF ADDITIONAL PROFESSIONAL EDUCATION PROGRAMS
TAKING INTO ACCOUNT THE REQUIREMENTS OF THE TARGET AUDIENCE

Surgut

Abstract. The article considers the issue of developing programs of additional professional education, taking into account the requirements of the target audience. Possible ways of assessing the needs of trainees are identified. The issue of the formation of additional professional education programs using a client-oriented approach is considered.

Keywords: *advanced training, additional professional education, client-oriented approach.*

Разработка программ дополнительного профессионального образования (ДПО) актуальна как для высших учебных заведений, так и для специализированных учреждений дополнительного образования. Оптимальным при разработке программ ДПО является клиентоориентированный подход, что позволяет создавать образовательный продукт, востребованный на рынке. Отправной точкой при разработке является анализ потребностей рынка в подобных образовательных программах [1]. На сегодняшний день существует большое количество вспомогательных механизмов, например, можно использовать сервисы Яндекса (рис. 1) для анализа поисковых запросов в сети Интернет.



Рис. 1. Анализ количества поисковых запросов

Кроме этого, удобным инструментом для аналитики является использование Google Forms. С помощью электронных форм возможно разработать опросный лист как для физических лиц, так и для организаций. Однако проведение подобных опросов требует большего количества времени и доступа к целевой аудитории слушателей, но при этом дает возможность более точно оценить потенциал рынка и потребности слушателей (рис. 2).

В результате обработки данных опроса (общее число респондентов более 100 человек) было выявлено две категории целевой аудитории слушателей курсов «Цифровые компетенции в электроэнергетике». В основной массе это студенты и магистранты направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника», а также специалисты электросетевых компаний, в сферу деятельности которых входит эксплуатация объектов энергетики. Предпочтительный формат обучения для большинства

слушателей — в вечернее время без отрыва от производства. Следуя тенденции развития дистанционного формата обучения [2], в ходе опроса установлено, что онлайн-обучение не является ограничивающим фактором. Что касается ценовых ожиданий аудитории, они достаточно сильно разнятся: основная часть респондентов рассматривает курсы ДПО в стоимостной категории от 3 до 7 тыс. руб., но при этом значительная доля аудитории готова потратить не более 3 тыс. руб. на дополнительное образование. В результате анализа было предложено разработать два варианта образовательной программы (рис. 3).

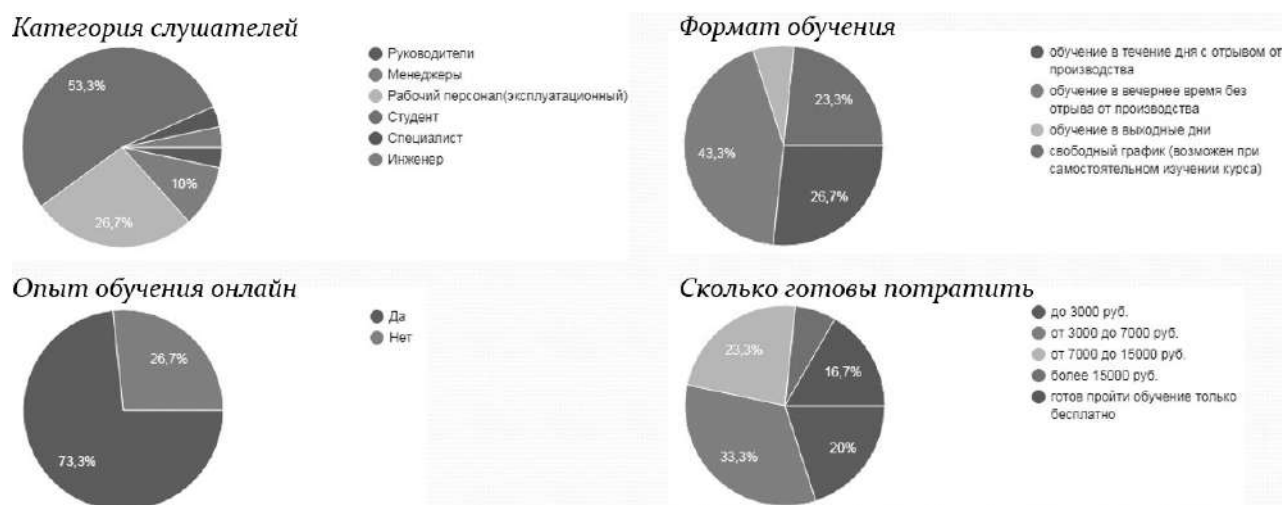


Рис. 2. Диаграммы анализа потенциала рынка и целевой аудитории

Тариф «Лайт» (без оплаты за обучение)

- **Онлайн курс для самостоятельного изучения;**
- **Электронная образовательная среда;**
- Удобный формат обучения;
- Информация актуальна и структурирована;
- **Кейс с заданиями;**
- Продолжительность 36 часов;
- **Удостоверение КПК – 2000 руб.**



Тариф «Оптима»

- **Онлайн курс с сопровождением, вебинары;**
- **Электронная образовательная среда;**
- **Удобный формат обучения в вечернее время без отрыва;**
- Информация актуальна и структурирована;
- **Кейс с заданиями;**
- **Консультации для слушателей;**
- Продолжительность 72 часа;
- Удостоверение КПК;
- **Стоимость обучения 8000 руб.**



Рис. 3. Варианты образовательной программы ДПО

Образовательные программы отличаются друг от друга количеством часов и направлены на разную целевую аудиторию. Тариф «Лайт» рассчитан прежде всего на студентов и магистрантов, а также специалистов, которые желают получить актуальную информацию по тематике курса, но при этом не готовы переплачивать. Данный вариант предназначен для самостоятельного изучения и в качестве опции включает в себя выдачу удостоверения о повышении квалификации в объеме 16 часов. Для более углубленного изучения предлагается тариф «Оптима», который включает в себя сопровождение, кейсовые задания, консультирование слушателей.

Обязательным условием реализации любых программ ДПО является их рентабельность [3]. Для этого выполнена предварительная оценка стоимости запуска курса с учетом затрат на разработку и создание образовательного контента. Общая структура затрат показана на рис. 4.

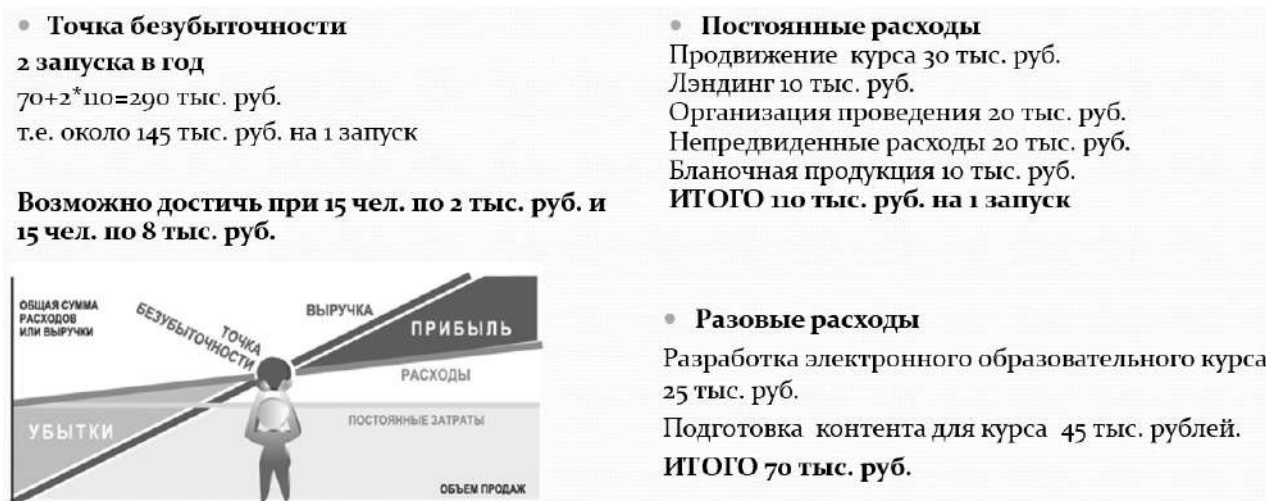


Рис. 4. Общая структура затрат на реализацию курса

Постоянные расходы связаны с продвижением программы ДПО, организацией проведения и непредвиденными расходами. Разовые затраты связаны с разработкой электронного курса и его наполнением. Точка безубыточности достигается при двукратном запуске курса в группах по 15 человек в вариантах «Лайт» и «Оптима».

Немаловажным также является анализ предложений конкурентов (рис. 5). Он необходим для оценки достоинств и недостатков конкурентных предложений, а также более углубленной проработки собственного предложения и повышения конкурентоспособности.

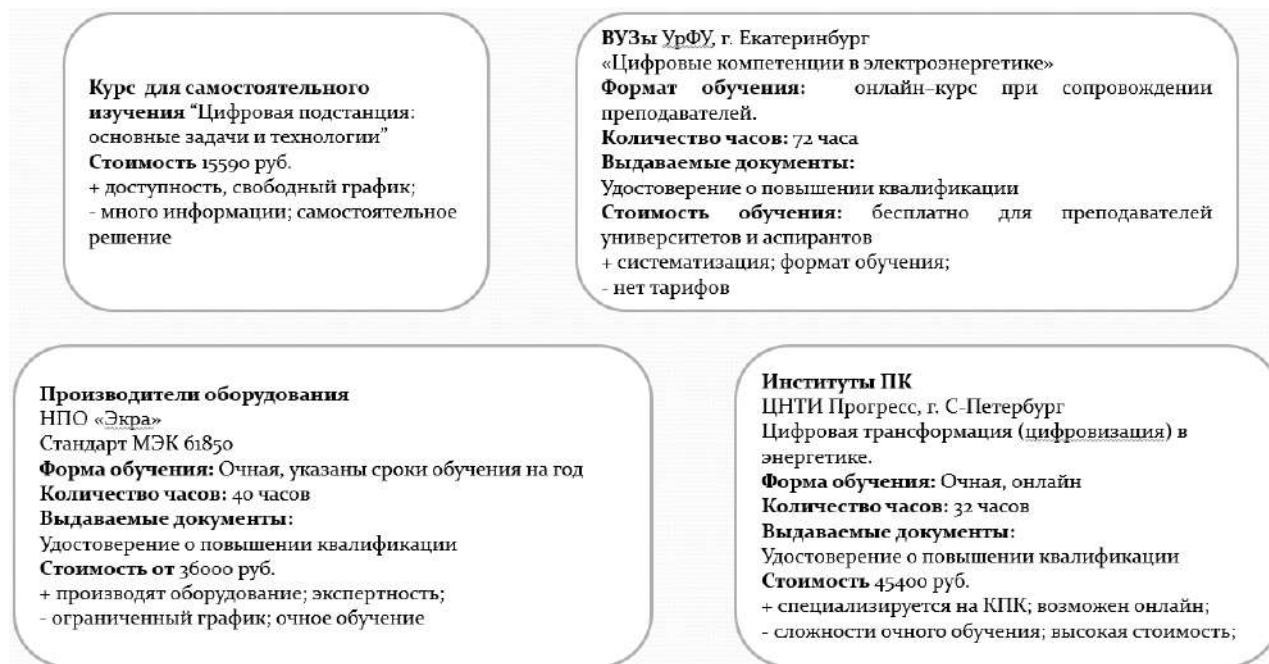


Рис. 5. Предложения на рынке ДПО

Для того чтобы сформировать качественный продукт, учитывающий потребности целевой аудитории, необходимо проработать возможные риски при реализации программ ДПО. Основные из них представлены на рис. 6.



Рис. 6. Риски при реализации программ ДПО

В результате разработана программа повышения квалификации «Цифровые компетенции в электроэнергетике» продолжительностью 72 часа

с использованием рассмотренного клиент ориентированного подхода. Выполнена оценка потребностей целевой аудитории слушателей, выявлены ключевые риски и пути их снижения или устранения.

Список использованной литературы

1. Косырев, В. П. Информационно-технологический подход к созданию персонифицированных образовательных программ / В. П. Косырев, В. В. Стрельцов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. — 2015. — № 2. — С. 94–97. — EDN TWNEXN.

2. Абрамова, Н. В. Цифровые технологии как средство повышения качества дополнительного профессионального образования во время пандемии и после / Н. В. Абрамова // Техник транспорта: образование и практика. — 2020. — Т. 1, № 4. — С. 298–305. — DOI 10.46684/2687-1033.2020.4.298-305. — EDN JUSTRF.

3. Мирошниченко, Ю. Н. Учебно-методическое обеспечение дополнительного профессионального образования: имитационное моделирование и оценка трудозатрат / Ю. Н. Мирошниченко, А. А. Осадская, С. М. Щербаков // Бюллетень науки и практики. — 2021. — Т. 7, № 1. — С. 340–349. — DOI 10.33619/2414-2948/62/38. — EDN ХОННQW.

УДК: 378.14.015.62

Дёмко А. И.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

НОВЫЕ СТАРЫЕ ВЕЯНИЯ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

г. Сургут

Аннотация. В статье на примере подготовки бакалавров направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» рассмотрены возможные изменения при возврате от бакалавриата в рамках Болонского процесса к традиционному российскому специалитету. Комментируется возможное сосуществование бакалавриата, магистратуры и специалитета для сохранения положительных сторон каждой из этих форм подготовки в вузах России.

Ключевые слова: *Болонский процесс, высшее профессиональное образование, специалитет.*

Demko A. I.

Surgut State University, Surgut

NEW OLD TRENDS IN THE SYSTEM OF HIGHER PROFESSIONAL
EDUCATION IN RUSSIA

Surgut

Abstract. In the article, on the example of bachelor's training in the direction 11.03.02 «Infocommunication technologies and communication systems», possible changes are considered when returning from the bachelor's degree within the framework of the Bologna process to the traditional Russian specialty. Comments on the possible coexistence of bachelor's, master's and specialty degrees to preserve the positive aspects of each of these forms of training in Russian universities.

Keywords: *Bologna process, higher professional education, specialty.*

Президент РФ Владимир Владимирович Путин 21 февраля 2023 года в послании Федеральному собранию сообщил об отмене присоединения к Болонской системе в России и начале реформы высшего образования. Начинается возвращение к традиционной для нашей страны подготовке специалистов с высшим образованием [3].

До июня 2022 года вузы РФ входили в Болонскую систему образования, что предполагало единые образовательные стандарты, как и у европейских вузов. Было заявлено о свободном переводе студентов между вузами стран-участниц. Дипломы, выданные в России, должны были признаваться в других государствах Европы [3].

Болонская система декларирует трехуровневую систему образования (бакалавр/ магистр/ доктор) с дипломами единого установленного образца. Квалификация (степень) бакалавра предполагает 3–4-летнее обучение, степень магистра требует еще 2 года обучения.

В статье [2] подробно рассмотрены основные положения Болонской системы образования, ее плюсы и минусы.

О недостатках Болонской системы сказано много, особенно за последнее время. Анализ системы высшего образования последних лет в России подводит к выводу, что Болонская система была введена с единственной целью — уничтожение советской системы качественного высшего образования. Болонская система за 20 лет привела к частичной деградации нашего образования. Министр науки и ВО РФ Валерий Фальков отмечает, что падение качества образования в России определяется тем, что для студентов бакалавриата пятилетняя программа специалитета урезается до четырех лет.

Реформа высшего образования в России, о которой сказал президент, призвана увеличить прием студентов на специалитет при уменьшении на бакалавриат.

Президент озвучил план следующих изменений [3]:

- срок обучения бакалавров должен составлять от четырех до шести лет вместо нынешних четырех;
- в рамках одного направления должны быть программы с разным сроком обучения в зависимости от специфики профессии;
- должна остаться возможность двухлетнего обучения в магистратуре, причем с возможностью бюджетного обучения и для выпускников специалитета;

- аспирантура останется средой подготовки кадров для научной и преподавательской деятельности.

Президент РФ отметил, что уже полученные выпускниками вузов дипломы о высшем образовании по действующим программам бакалавриата и магистратуры не должны предусматривать пересмотра. Студенты, которые сейчас учатся в университетах, будут завершать обучение по существующим стандартам.

Министр науки и высшего образования Валерий Фальков дополняет, что это не должно быть «возвратом к прошлому», при минимальных изменениях в работе преподавателей и студентов.

Можно проанализировать изменения в высшем образовании специалитета направления 210400 «Телекоммуникации», преемником которого явился бакалавриат направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Последний ГОС направления «Телекоммуникации» был принят в 2000 году. Уже тогда активно обсуждалась возможность внедрения четырехлетней подготовки по программам бакалавриата.

Учебно-методическое объединение (УМО) по «Телекоммуникациям» под руководством председателя УМО — члена-корреспондента Российской академии наук Шахгильдяна В. В. и заместителя председателя УМО — профессора Фомина Н. Н. решительно препятствовали давлению Министерства образования по переходу на двухуровневую подготовку, но в конце концов не смогло устоять (после смены председателя УМО) перед веяниями Болонской системы. Бакалавриат направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [4] пришел на смену специалитету направления «Телекоммуникации» [1].

Возврат от Болонской системы, как было заявлено, будет проходить постепенно и, скорее всего, с широким привлечением педагогической общественности вузов. Считаем возможным начать обсуждение основных положений этого процесса.

При декларировании положительных сторон Болонского процесса учитывалось, что четырех лет недостаточно для формирования профессиональных навыков, но предполагалось развитие системы послевузовской доподготовки на базе производственных организаций, причем эти планы почти повсеместно провалились. В результате получились профессионалы-недоучки.

В стандартах третьего поколения система ЗУН (знания/умения/навыки) заменена на компетентностный подход. Система знаний имеет прозрачное толкование, связанное с теоретическими занятиями (лекциями), умения — с практическими занятиями и решением задач, а навыки — с выполнением лабораторных работ и прохождением практик. Каждая из этих составляющих может быть отработана в отдельности и соответствующим образом проверена и оценена. Система компетенций менее конкретна и, возможно, имеет право на жизнь в некоторых специфичных отраслях знаний, однако она сложнее в проверке.

Рассмотрим пример компетенций учебной дисциплины «Радиопередающие устройства» направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профиля «Системы радиосвязи и радиодоступа» (табл. 1).

Таблица 1. — Компетенции, формируемые дисциплиной «Радиопередающие устройства»

Код компетенции	Компетенция
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1.4	Использует методы анализа, расчета и моделирования конструкционных и электротехнических материалов, линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока, переходных процессов постоянного и переменного тока, цепей с распределенными параметрами и электромагнитных полей, функций и основных характеристик электрических и электронных устройств
ОПК-2.1	Находит и критически анализирует необходимую для решения поставленной задачи информацию
ОПК-2.2	Решает конкретные задачи, выбирая оптимальный вариант, оценивая его достоинства и недостатки
ОПК-2.3	Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение
ОПК-2.4	Определяет ожидаемые результаты решения задачи
ОПК-2.5	Определяет системы стандартизации и сертификации, методы и средства проведения экспериментальных исследований,
ОПК-2.6	Проводит экспериментальные исследования, применяя способы и средства измерений
ОПК-2.7	Обрабатывает полученные в результате эксперимента данные и оценивает погрешности результатов измерений

ОПК-3.1	Осуществляет поиск информации из различных источников и баз данных об основных видах сигналов, закономерностях передачи информации, особенностях передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем
ОПК-3.2	Анализирует принципы, алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов; принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи
ОПК-3.4	Строит вероятностные модели для конкретных процессов, проводит необходимые расчеты в рамках построенной модели
ОПК-4.3	Применяет интерактивные программные комплексы и основные приемы обработки экспериментальных данных, в том числе с использованием стандартного программного обеспечения, пакетов программ общего и специального назначения
ОПК-4.5	Использует методы компьютерного моделирования процессов при передаче информации, техники инженерной и компьютерной графики
Профессиональные компетенции	
ПК-2.7	Определяет функциональную структуру телекоммуникационных объектов и систем
ПК-2.8	Обосновывает выбор информационных технологий и технических решений по телекоммуникационным объектам, системам и их компонентам, включая оборудование и программное обеспечение

Из анализа таблицы видно, что большинство компетенций полностью формируются как данной дисциплиной, так и комплексом других дисциплин разных лет обучения (ОПК-1.4, ОПК-2.1, ОПК-2.2, ОПК-2.3, ОПК-2.4, ОПК-2.7, ОПК-3.1), а отдельные компетенции вообще не могут быть сформированы в рамках данной дисциплины (ОПК-3.4). Но основная трудность состоит в возможности проверки сформированности этих компетенций (в отличие от возможности проверки знаний, умений и навыков).

В табл. 2 приведены выдержки из знаний/умений/навыков, получаемых при изучении дисциплины «Радиопередающие устройства».

Таблица 2. — Знания/умения/навыки, получаемые при изучении дисциплины «Радиопередающие устройства»

В результате освоения дисциплины обучающийся должен	
знать	<ul style="list-style-type: none"> – функциональные схемы радиопередатчиков; – компоненты оборудования и программное обеспечение радиопередатчиков; – программные продукты и приемы обработки экспериментальных данных радиопередатчиков; – методы и средства экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации радиопередатчиков; – способы и средства измерений радиопередатчиков; – основные принципы генерирования радиосигналов и цифровых методов модуляции, используемых в современных радиопередатчиках; – основные принципы увеличения мощности радиопередатчиков для современных методов модуляции
уметь	<ul style="list-style-type: none"> – объяснить работу радиопередатчиков по функциональным схемам; – подобрать компоненты оборудования и программное обеспечение радиопередатчиков; – определять методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации радиопередатчиков; – применять способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования радиопередатчиков; – обрабатывать и представлять полученные данные и оценивать погрешности результатов измерений радиопередатчиков; – осуществить проверку технического состояния радиопередатчика; – составить заявку на оборудование, средства измерения и запчасти радиопередатчика; – использовать нормативную и правовую документацию, регламентирующую эксплуатацию радиопередающих устройств как внутри страны, так и в приграничных районах
владеть	<ul style="list-style-type: none"> – методами измерения параметров радиопередатчиков; – способами и средствами измерений параметров радиопередатчиков; – методами обработки и представления экспериментальных данных, оценки погрешности результатов измерений радиопередатчиков; – теоретическими методами исследования с целью освоения новых перспективных технологий формирования и усиления мощности; – экспериментальными методами исследования с целью освоения новых перспективных технологий формирования и усиления мощности; – методами настройки радиопередатчика; – методами тестирования радиопередатчика

Каждая строка табл. 2 может быть представлена вопросом, задачей или заданием, которые могут быть проконтролированы и оценены непосредственно после изучения дисциплины, а не только в конце четырехлетнего обучения.

Много претензий возникает к основополагающему для Болонской системы параметру: системе зачетных единиц (кредитам) для учета трудоемкости вместо академических часов. Несмотря на определенную свободу задания, в большинстве случаев принимается 36 часов для одной зачетной единицы, что ограничивает возможность выбора продолжительности изучения кратности этой величине (2 з.е., 3 з.е., 4 з.е., 5 з.е. и т. д.). Такая дискретность продолжительности дисциплины доставляет неудобства при подгонке реальной рабочей дисциплины под формально необъяснимые рамки. Этим усложняется составление семестровых, годовых и полных РУП.

Увеличение времени обучения до 4,5; 5; 5,5 лет целесообразно осуществлять исключительно в зависимости от реального наполнения программы подготовки. Особенное значение это имеет в отношении заочного обучения: нынешнее пятилетнее заочное образование совершенно недостаточно, особенно для инженерных профессий.

Целесообразным является возврат к полугодовому интервалу времени для выполнения дипломного проекта (дипломной работы, выпускной квалификационной работы), в отличие от существующего двухмесячного. Двух месяцев совершенно недостаточно для качественного выполнения экспериментальных работ, обзора литературы, теоретического обоснования и оформления работы. Иначе будет увеличиваться уровень заказных работ, плагиата и очень слабых работ.

Магистратура как дополнительный этап высшего образования должна, действительно, предоставлять равные права как для выпускников бакалавриата, так и выпускников специалитета. Однако поддержание заявляемого высокого уровня магистерской подготовки (с одновременным снижением бюджетных затрат) требует разграничения форм обучения: дневной и вечерней. Вузы, которые действительно готовы обеспечить набор и дневное обучение, должны иметь бюджетные места, остальные же вузы, проводящие фактически вечернее обучение магистрантов, должны обучать магистрантов на коммерческой основе. Это позволит резко повысить качество подготовки прежде всего за счет набора более мотивированного контингента

магистрантов. Научный руководитель магистранта должен получить, в отличие от существующего формального, более значимый статус путем добавления в каждом семестре обучения отчетного (в ведомости) вида работы с обучаемым: индивидуальной дисциплины (аналог дисциплины по выбору), семинара, практики или проекта. Только такая индивидуальная работа позволит обеспечить необходимый уровень магистерской подготовки.

Для инженерных специальностей следует восстановить значимость курсовых проектов и работ, в противоположность динамике проектной деятельности в современном бакалавриате, когда проекты не оцениваются, а их выполнение оценивается параметром «зачтено», что, несомненно, формирует второстепенное отношение обучающихся к курсовому проектированию.

Еще одно соображение непосредственно не относится к наличию или отмене вхождения в Болонскую систему. В большей степени это особенность университетов, объединяющих под своей крышей механически сгруппированные многопрофильные направления — от медицины до строительства. Для технических инженерных специальностей (направлений) многие дисциплины включают в себя лабораторные практикумы, проведение которых целесообразно во второй половине семестра. Следовательно, для таких специальностей (направлений) организация учебного процесса предполагает дополнительное дробление учебного графика внутри семестра — ломку расписания. Многопрофильный университет, даже включающий в себя учебные образования в виде институтов, не заинтересован в таких изменениях, что негативным образом отражается на инженерной подготовке.

Выводы.

Процесс очередного реформирования системы ВО РФ следует проводить не единой компанией по всем направлениям подготовки и вузам России, а поэтапно, по мере необходимости преобразований и готовности нормативной базы.

Система компетенций может быть оставлена для тех направлений, где она действительно демонстрирует свою эффективность, в остальных случаях необходимо восстановление показателей «знания/умения/навыки».

Система зачетных единиц может быть оставлена для отдельных направлений по решению УМО, в остальных случаях целесообразно использовать систему академических часов для нормирования параметров учебного процесса.

Для инженерных направлений следует вернуть подготовку по программам специалитета со сроком обучения, как правило, 5 лет.

Для инженерных направлений следует вернуть полгода на выполнение дипломного проекта (дипломной работы, выпускной квалификационной работы).

Магистерская подготовка должна включать в себя сквозную ежеsemesterную индивидуальную работу с научным руководителем.

Список использованной литературы

1. Государственный образовательный стандарт 210400 Телекоммуникации. — URL: <https://eduscan.net/standart/210400>.

2. Дёмко, А. И. Инфокоммуникационные технологии и системы связи: бакалавриат вчера, сегодня и завтра. Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России: сборник научных трудов III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (г. Сургут, 21–22 апреля 2022 г.) / под общ. ред. В. В. Рыжакова. — Москва : Издательство «Знание-М», 2022. — С. 428–434.

3. Как изменится высшее образование в России. Информационное агентство URA.RU. — URL: <https://ura.news/news/1052628486?ysclid=lekwlqqouw176094389>.

4. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. — URL: <https://base.garant.ru/71787568/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>.

УДК: 001.89

Соседов И. Н.¹, Сальников В. Г.², Кислицин Е. Ю.², Антонов А. И.³

¹Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск

²Сургутский государственный университет, г. Сургут

³«Омский институт водного транспорта» филиал ФГБОУ ВО
«Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Омск

НАУЧНАЯ ШКОЛА КАК ПОДСИСТЕМА ВУЗОВСКОЙ НАУКИ

г. Новосибирск

Аннотация. В данной статье рассматривается роль научной школы в подготовке соискателей ученых степеней и будущих научно-педагогических кадров к самостоятельности в научно-исследовательской деятельности. Анализируется структура и официальный статус научной школы «Электроэнергетика. Электромагнитная совместимость технических средств», созданной на базе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «СГУВТ») г. Новосибирск; Омского института водного транспорта филиала ФГБОУ ВО «СГУВТ», г. Омск, ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут, сервисного центра «Когалымэнергонефть» Западно-Сибирского регионального управления «Лукойл-Энергосети», г. Когалым, ХМАО-Югры в соответствии с договорами о научно-техническом содружестве.

Ключевые слова: аспирант, соискатель, диссертация, научно-педагогическая деятельность, научные исследования, научная школа, электромагнитная совместимость.

Sosedov I. N.¹, Salnikov V. G.², Kislitsyn E. U.², Antonov A. I.³

¹Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

²Surgut State University, Surgut

³Omsk Institute of Water Transport — branch FSFEI HE “Siberian State University of Water Transport”, Omsk

SCIENTIFIC SCHOOL AS A SUBSYSTEM OF UNIVERSITY SCIENCE

Novosibirsk

Abstract. This article examines the role of scientific school in the preparation of applicants for academic degrees and future scientific and pedagogical personnel for the defense of a candidate of technical science dissertation thesis, instilling them to independence in research activities. The official status of the scientific school on the basis of the «SSUWT» as an informal association within the university is considered.

Keywords: *postgraduate, applicant, dissertation, scientific and pedagogical activity, scientific research, scientific school, electromagnetic compatibility.*

Общепринято, что престиж и известность вузу обеспечивают его ученые, их научные школы, их достижения в научных исследованиях. Научная школа интегрируется в университет на протяжении многих лет, обеспечивая стабильность тематики исследований, подготовку научно-педагогических кадров высшей квалификации, наличие творческой атмосферы, проведение научных семинаров и конференций, теоретическое и практическое применение результатов исследований. Научная школа — это своего рода мастерская по выковыванию молодых ученых, одно из необходимых условий сохранения и приумножения научных традиций [1–3].

Научная школа для вуза не только коллектив преподавателей, которые имеют ученые степени и по определению составляют научное сообщество, а средство воспитания молодых сотрудников нестандартному способу думать и подходить к проблемам, эффективный путь проведения диссертационных исследований. Это феноменальная организация, взаимосвязанная с другими научно-социальными объединениями и структурами образования и науки, такими как научно-исследовательский сектор, факультет подготовки кадров

высшей квалификации, отдел аспирантуры, различные кафедры, на которых в основном работают члены научной школы.

Научная школа является подсистемой вузовской науки, которая эффективно функционирует только при наличии определенных условий:

- диссертационного совета на базе вуза, где возможно проводить защиты кандидатских и докторских диссертаций по научной специальности, совместимой с научным направлением школы;
- отдела аспирантуры (бюджетных мест по научной специальности, соответствующей научному направлению школы);
- научного журнала, относящегося к рецензируемым изданиям, рекомендуемым ВАК РФ для публикации научных статей;
- участия научного руководителя школы в работе диссертационного совета и в редакционной коллегии научного журнала;
- договоров о научно-техническом содружестве между ФГБОУ ВО «СГУВТ» и другими вузами, научно-исследовательскими институтами электроэнергетики и электроэнергетическими компаниями по развитию научно-технического прогресса электрификации народного хозяйства;
- постоянно действующего научно-технического семинара по проблемам электроэнергетики и предварительному рассмотрению диссертаций, поступающих в диссертационный совет;
- лабораторно-исследовательской базы для эффективного обучения аспирантов, проведения диссертационных исследований, компьютеризованного моделирования различных режимов электрических сетей и электроэнергетических систем;
- постоянной госбюджетной научно-исследовательской темы, имеющей государственную регистрацию и отношение к научному направлению школы.

Таким образом, данная научная школа способна повышать научное образование путем развития способностей членов научного сообщества к научному творчеству; обеспечивать проведение диссертационных исследований и подготовку диссертаций в нормируемые сроки.

Направления научных исследований, проводимых в рамках научной школы «Электроэнергетика. Электромагнитная совместимость технических средств», определены направлениями исследований, сформулированных

в Паспорте научной специальности 2.4.3. «Электроэнергетика». Это поисковые исследования, направленные на установку фактов, влияющих на эффективность работы электрических сетей; отыскания путей борьбы с кондуктивными низкочастотными электромагнитными помехами; разработку основ теории электромагнитной совместимости технических средств в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 32144-2013.

Научная школа не является структурным подразделением вуза. Это неформальное объединение, которое формируется научным руководителем в соответствии с «Положением о научной школе». Основной задачей научной школы выступает разработка и распространение новой и актуальной информации по выбранному научному направлению, признаваемой научным сообществом, и на этой основе развития научного потенциала университета как центра научных исследований и разработок.

Учитывая изложенное, при разработке системы управления-взаимодействия между членами научной школы, учитывались сложившиеся связи между кафедрами: «Электроэнергетические системы и электротехника» электромеханического факультета ФГБОУ ВО «СГУВТ», «Электрооборудование и автоматика» института «Морская академия» ФГБОУ ВО «СГУВТ» и «Электротехника и электрооборудование» Омского института водного транспорта — филиала ФГБОУ ВО «СГУВТ», а также между организациями:

- ФГБОУ ВО «СГУВТ» и БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет» г. Сургут;
- ФГБОУ ВО «СГУВТ» и сервисным центром «Когалымэнергонефть» Западно-Сибирского регионального управления «Лукойл-Энергосети», г. Когалым, ХМАО-Югры. Ученые этих кафедр, объединенные в научную школу, защитили свои кандидатские и докторские диссертации (практически все) по научной специальности шифр 2.4.3. «Электроэнергетика». Структура научной школы представлена на рис. 1, а иерархия в системе функционирования — на рис. 2.

Непосредственное руководство научной школой и планирование научно-исследовательской работы осуществляет официальный научный руководитель (ОНР) и его помощники по кафедрам, расположенным в Сургуте и Омске. Функции документоведа может совмещать аспирант на правах совместителя в объеме времени, отведенного индивидуальным учебным планом по педагогической и другим видам деятельности, кроме научной.

Сложилась определенная концепция (лат. *conceptio*) — система взглядов на подготовку кандидатских и докторских диссертаций и способов понимания явления подготовки научно-педагогических кадров в университете. Научная школа имеет свой научный профиль, квалификацию и компетентность (лат. *competentia*) — осведомленность и опытность в решении задач достижения электромагнитной совместимости технических средств путем подавления кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех в силовых трехфазных системах.

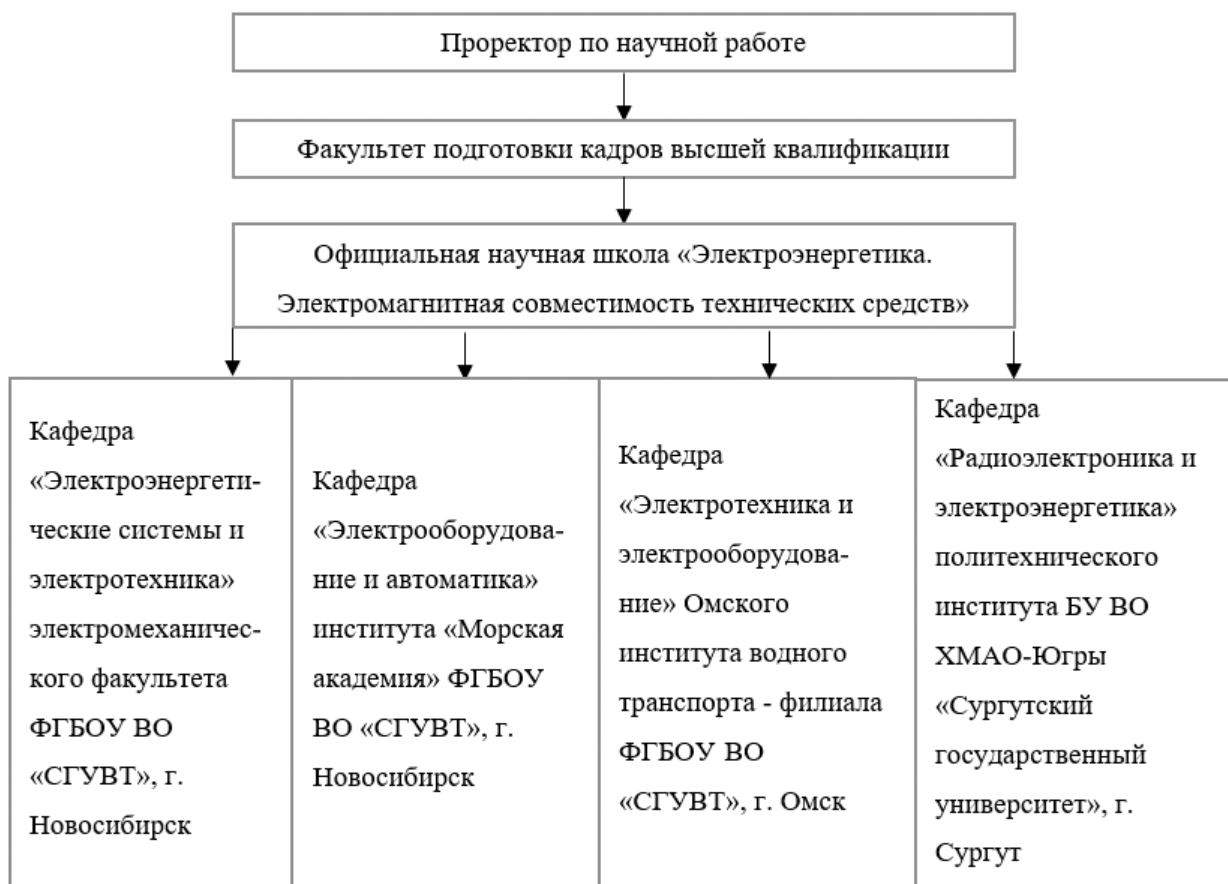


Рис. 1. Структура официальной научной школы «Электроэнергетика. Электромагнитная совместимость технических средств» ФГБОУ ВО «СГУВТ»

Накопился опыт:

- в решении научных задач по повышению качества функционирования: линий электропередач среднего и низкого напряжений, автономных электроэнергетических систем с распределенной генерацией

удаленных объектов РФ, систем электроснабжения береговых объектов инфраструктуры портов, плавучих объектов и судов технического флота, питающихся с берега;

- в разработке компьютерных программ для физического и математического моделирования электромагнитных процессов в электроэнергетике, вычисление показателей установившихся режимов, переходных процессов и запаса устойчивости электрических сетей среднего напряжения;
- в усовершенствовании методов контроля, анализа и управления качеством электроэнергии и мер по его обеспечению;

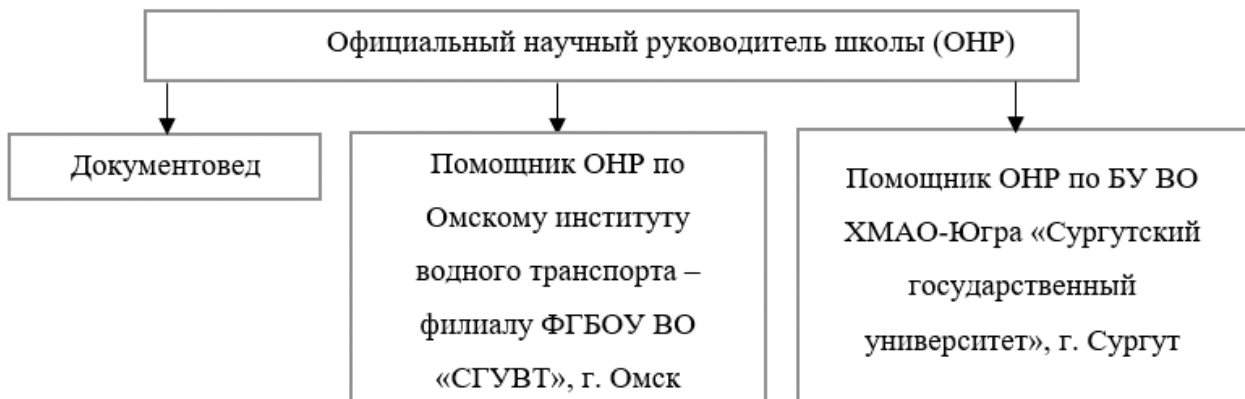


Рис. 2. Иерархия в системе функционирования официальной научной школы

- в создании новых научных положений теории кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех в силовых цепях сетей низкого и среднего напряжений, учитывающих особенности системы электроснабжения объекта исследования, и методов их подавления;
- в развитии теории электромагнитной совместимости технических средств и мер по ее обеспечению на основе научного анализа электромагнитной обстановки и расчетного подавления кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех в силовых электрических сетях 0,4–35 кВ, не исключая вторичные цепи на объектах электросетевого хозяйства.

Для повышения эффективности научных исследований (для избежания ошибок и недопониманий) требуется глубокое изучение соискателем теории состояния вопросов утвержденной темы диссертации не только по учебникам, а прежде всего по научным первоисточникам (статьи в рецензируемых

журналах, материалы научных конференций, диссертации, авторефераты диссертаций, монографии), авторами которых являются члены научной школы. Достигнутые научные достижения (научная новизна, теоретическая и практическая значимость) являются отправной точкой для дальнейшего исследования по научному направлению школы, характеризующей степень разработанности темы исследования.

Для проведения диссертационных исследований рекомендуется в полной мере использовать лабораторно-исследовательское оборудование и компьютерные классы (в пределах возможностей научной школы). Базовые дидактические эксперименты по выбранному направлению исследования позволяют установить объект исследования, выбрать (определить) предмет исследования и сформулировать идею работы.

При этом достоверность обеспечивается используемым сертифицированным оборудованием и средствами измерений, применением специально разработанных программ для ЭВМ и электронных ресурсов; устанавливается связь темы диссертации с общенаучными (государственными) программами и с научной целевой комплексной темой «Разработка мероприятий по повышению надежности работы оборудования в условиях пониженных температур» (Гос. регистр. № 01.88.0004137 ФГБОУ ВО «СГУВТ»); накапливается опыт определения достоверных данных о параметрах электромагнитных процессов в электрических сетях и электроэнергетических системах.

Четкая стратегия и высокие компетенции научной школы:

- способствуют повышению теоретического уровня разработок, сокращению срока выполнения исследований;
- повышают роль дискуссий по проблемам и темам исследований, в процессе которых выявляются новые, еще не решенные актуальные научные задачи и формируются проблемы современной электроэнергетики;
- увеличивают возможность быстрого внедрения результатов диссертационных исследований на предприятиях водного транспорта и промышленности в рамках имеющихся научно-технических договоров между этими предприятиями и ФГБОУ ВО «СГУВТ», а также в учебный процесс этого вуза;
- обуславливают диссертационные исследования в научной школе как кратчайший путь к защите своей диссертации.

Заключение. Следует сделать вывод о том, что научная школа является важнейшим элементом в подготовке научно-педагогических кадров при вузе. Наделенная конкретными признаками и функционирующая при ряде благоприятных условий, она образует сообщество людей, заинтересованных проблемой, изучаемой в рамках данной школы на базе вуза. Научная школа имеет все возможности для организации эффективного научного творчества и распространения новой научной информации, соответствующей направлению исследований данной школы.

Список использованной литературы

1. Горелов, В. П. Диссертация, ученая степень, ученое звание / В. П. Горелов, С. В. Горелов, В. Г. Сальников. — 6-е изд. перераб. и доп. — Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. — 546 с.
2. Резник, С. Д. Аспирант вуза: технологии научного творчества и педагогической деятельности: учеб. пособие / С. Д. Резник. — 2-е изд., перераб. — М.: ИНФРА-М, 2011. — 520 с.
3. Криворученко, В. К. Научные школы — эффективный путь проведения диссертационного исследования. — URL: http://zpu-journal.ru/asp/scientific_schools/2007/Krivoruchenko/

УДК 378.1

Бородина Е. А.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ
ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

г. Сургут

Аннотация. В статье автор рассматривает методологические подходы формирования профессиональных компетенций будущих инженеров связи и энергетики, а именно системный, компетентностный, личностно-деятельностный и метапредметный, реализующиеся на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета при обучении студентов направлений «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Электроэнергетика и электротехника». Образовательный процесс на кафедре осуществляется по четырем блокам, каждый из которых содержит три направляющих, в совокупности закрывающие результаты обучения, — это «составляющие» компетенций — знания, практические задания, опыт деятельности, которыми студент должен овладеть и уметь продемонстрировать после обучения того или иного модуля.

Ключевые слова: инженер, компетентностный, системный, метапредметный и личностно-деятельностный подход.

Borodina E. A.

Surgut State University, Surgut

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE FORMATION
OF PROFESSIONAL COMPETENCIES OF FUTURE ENGINEERS
OF THE TECHNICAL UNIVERSITY

Abstract. In the article, the author examines methodological approaches to the formation of professional competencies of future communication and energy

engineers, namely, systemic, competence-based, personal-activity and meta-subject, implemented at the Department of Radioelectronics and Electric Power Engineering of Surgut State University when teaching students in the areas of "Infocommunication technologies and communication systems" and "Electric Power and Electrical Engineering". The educational process at the department is carried out in four blocks, each of which contains three guides, which together close the learning outcomes — these are the "components" of competencies — knowledge, practical tasks, work experience, which the student must master and be able to demonstrate after learning a particular module.

Keywords: *engineer, competence, system, meta-subject and personal-activity approach.*

В условиях модернизации экономики России главным вектором служит развитие и внедрение инновационных технологий во всех сферах деятельности, в том числе технической и технологической, решением этой проблемы в данных областях выступает привлечение квалифицированного персонала инженерного профиля, конкурентоспособного на рынке труда [2]. Для трудоустройства на предприятия связи и электроэнергетики нужны не просто специалисты с дипломом и знаниями, умениями и навыками, а инженер, обладающий набором универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, способный к самореализации, самообучению и саморазвитию, ведь только такой специалист способен быть мобильным на рынке труда и тем самым привлекательным для организаций технических направлений.

Уровень качества обучения выпускника технического вуза в условиях инновационной деятельности зависит от многих качественных составляющих: основной образовательной программы подготовки по направлениям, профессорско-преподавательского состава, обучающихся (в том числе и абитуриентов), материально-технической базы (различные средства обучения, наличие современного лабораторного оборудования, наличие программных продуктов и т. д.). На всем протяжении обучения инженеров-бакалавров необходима четкая структура построения образовательного процесса, содержащая взаимосвязанные педагогические элементы, например, такие как методы, подходы, принципы, средства, формы и т. д. Модель формирования профессиональных компетенций будущих инженеров связи

и энергетики, созданная автором, включает совокупность следующих методологических подходов: компетентностный, системный, метапредметный и личностно-деятельностный, именно интеграция и применение этих подходов к обучению является системообразующим фактором в получении инженерного образования.

Для формирования профессиональных компетенций будущих инженеров на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета реализуется новый вектор в обучении студентов направлений «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Электроэнергетика и электротехника». Образовательный процесс осуществляется по четырем блокам: «создание и применение объектов профессиональной деятельности, коммерческий и технологический маркетинг, инженерное проектирование, управление проектами» [1], в результате освоения которых студенты будут обладать определенным набором компетенций. Каждый блок содержит три направляющих, в совокупности закрывающие результаты обучения, — это «составляющие» компетенций: знания, практические задания, опыт деятельности, которыми студент должен овладеть и уметь демонстрировать после обучения того или иного модуля.

1-й блок — создание и применение объектов профессиональной деятельности: осуществляет поиск, сбор, хранение и обработку информации с применением инфокоммуникационных технологий; определяет составляющие объекта профессиональной деятельности в сфере телекоммуникаций и электроэнергетических систем и сетей.

2-й блок — коммерческий и технологический маркетинг: формулирует проблему, задачи и связи между этими задачами, определяет технические задания, планирует ожидаемые результаты решения по использованию объекта профессиональной деятельности с применением новейшего оборудования и программного обеспечения, осуществляет финансово-экономическое планирование реализации продукта.

3-й блок — инженерное проектирование: определяет структуру и основы подготовки технической документации, порядок и правила прохождения экспертизы проектной документации, разрабатывает схемы и технические условия, оценивает ресурсы, необходимые для реализации проекта по выбранному варианту концепции объекта профессиональной деятельности.

4-й блок — управление проектами: оценивает требования рынка труда и образовательных услуг для выстраивания траектории собственного профессионального роста, определяет имеющиеся ресурсы и ограничения, действующие правовые нормы, контролирует и проверяет выполнение исполнителями работ по проекту.

В процессе обучения по четырем блокам, рассмотренным выше, студенты овладевают этапами подготовки работы с объектом деятельности: анализируют профессиональную сферу в области связи и энергетики, изучают процесс создания и продвижения своего продукта деятельности, разрабатывают макет объекта и с помощью полученных знаний и навыков, а также с применением различных инструментов и техник в соответствии с требованиями конструкторской документации. Рассмотрим методологические подходы, с учетом которых будущие инженеры кафедры смогут успешно освоить все работы по блокам, описанным выше.

Первым методологическим подходом, необходимым для создания инженерного продукта в области связи и энергетики, является компетентностный подход. В научной литературе он достаточно широко представлен многими российскими и зарубежными учеными, автор же согласен с И. А. Зимней, описывающей компетентностный подход как огромный комплекс знаний, умений и навыков, а также способность и мотивация к деятельности, помогающие специалистам решать профессиональные задачи. В современных условиях развития общества работодателям нужен инженер, готовый применять полученную систему знаний, умений и навыков самостоятельно в решении технических задач, при этом постоянно заниматься самообразованием — повышать уровень образования посредством, например, курсов повышения квалификации, быть мобильным на рынке труда, а также быть психически устойчивым к изменению условий в своей деятельности.

Вторым методологическим подходом является системный, обеспечивающий эффективное функционирование таких компонентов в модели формирования профессиональных компетенций будущих инженеров кафедры, как когнитивный и практический, связан с ориентацией на развитие *soft skills*. Применение такого подхода в инженерном образовании позволяет выстроить целостную систему педагогического процесса, основанную на взаимосвязи всех элементов обучения, опирающегося на знания школьных предметов: математика, информатика, физика, химия, безопасность жизнедеятельности

и др., являющихся базовыми для изучения дисциплин вуза по профилям подготовки и полученных в результате изучения предшествующих дисциплин для их применения в освоении последующих дисциплин общепрофессионального цикла. Главной задачей системного подхода является строгая логика изложения учебного материала, использование инфокоммуникационных технологий для закрепления знаний. Полученные умения и навыки студенты применяют в рамках обучения по рабочим учебным программам дисциплин, а также принимают участие и занимают призовые места в различных конкурсах: «Умник», «Большие вызовы», инженерные соревнования для студентов «Национальная технологическая олимпиада» и т. д.

Третьим подходом обучения будущих инженеров является личностно-деятельностный, тесно связанный с системным. Его необходимо рассматривать с двух сторон: со стороны педагога и студента, так как личностно-деятельностный подход — это строго субъектно-ориентированная организованная деятельность, в которой под управлением педагога (выполняет роль ментора) бакалавр решает профессиональные задачи различной степени точности, параллельно развивая коммуникативные способности и личностные качества. Все перечисленные параметры необходимы студентам в процессе подготовки к участию в мероприятиях, перечисленных во втором подходе, и, конечно, для защиты своих работ перед экспертами и большой аудиторией, где важными качествами являются индивидуально-психологические особенности обучающихся. Отметим, что два компонента: личность и деятельность — взаимосвязаны между собой, так как именно личность выступает субъектом деятельности. В связи с этим преподаватель должен уходить от традиционных подходов к обучению и выстраивать схему равноправного партнерства, субъект-субъектных отношений.

Четвертым является метапредметный подход, реализация которого на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики позволяет говорить, что после окончания обучения по направлениям подготовки работодатель получает компетентного и квалифицированного специалиста высокого уровня, способного к продуктивной деятельности, мобильного и готового к постоянному профессиональному росту. То есть будущий инженер в результате усвоения всего набора компетенций не только становится компетентным специалистом в своей сфере деятельности, но и умеет применять систему знаний, умений и навыков в смежных областях. Этот

подход направлен на освоение обучающимися метапредметных компетенций (надпрофессиональных), рассматриваемых как комплекс универсальных учебных действий, который направлен на получение метапредметных результатов деятельности и связан с применением педагогом междисциплинарных связей [4]. Например, при изучении дисциплин общепрофессионального профиля (метрологии, инженерной математики, теоретических основ электротехники, материаловедения и т. д.), изучаемых во втором семестре первого курса, используются знания, умения и навыки школьных предметов (математика, информатика, физика и др.), а также дисциплин первого семестра: высшей математики, работа в команде, иностранный язык в профессиональной сфере, введение в профессиональную деятельность и т. д. Именно освоение метапредметных компетенций основывается на интеграции непрерывности, межпредметности и преемственности дисциплин общепрофессионального и профессионального блока дисциплин [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что построение учебно-образовательного процесса специалистов инженерного профиля невозможно без применения подходов, рассмотренных выше. К современному инженеру связи и энергетики предъявляются все жесткие требования со стороны как работодателей, так и постоянно меняющегося рынка труда. Специалист в области связи и энергетики должен обладать целым рядом компетенций, быть психологически и психически устойчивой личностью, уметь применять полученные знания в своей профессиональной деятельности, а также в смежных областях (способностью перехода в смежные области); обладать такими качествами, как саморазвитие, самообладание, непрерывное образование в плане повышения уровня своей квалификации. Именно интеграция компетентностного, системного, личностно-деятельностного и метапредметного подходов при обучении будущих инженеров по направлениям подготовки «Инфокоммуникационные системы связи» и «Электротехника и электроэнергетика» позволяет быть востребованными и конкурентоспособными специалистами на рынке труда.

Список использованной литературы

1. Бородина, Е. А. Организация инженерного образования на примере студентов первого курса направлений «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / Е. А. Бородина // Проблемы электроэнергетики

и телекоммуникаций Севера России: сб. статей III Всероссийской с международным участием науч.-практ. конф. (22–23 апреля 2022 г., г. Сургут). — Москва, 2022. — С. 435–443.

2. Данилаев, Д. П. Межпредметность как вектор развития инженерного образования / Д. П. Данилаев // Управление устойчивым развитием. — 2020. — № 5(30). — С. 85–93. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44630029> (Дата обращения: 12.04.2023).

3. Наумкин, Н. И. Методологическое обеспечение исследований по проблеме подготовки студентов к инновационной инженерной деятельности / Н. И. Наумкин, Н. Н. Шепкшаева // Современные проблемы науки и образования. — 2019. — № 5. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29159> (Дата обращения: 06.04.2023).

4. Прокудина, Ю. А. Формирование метапредметных знаний старшеклассников в условиях профильного обучения: Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.01 / Ю. А. Прокудина. — Н. Новгород, 2013. — 26 с.

УДК 378.14.015.62

УДК 378.141.4

УДК 378.147

Иванов Г. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРЕПОДАВАНИЕ ТЕОРИИ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ
В ВУЗЕ

г. Сургут

Аннотация. В работе представлено обоснование необходимости включения теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) в образовательную программу вузов. Представлено краткое содержание этапов преподавания ТРИЗ в вузе.

Ключевые слова: *теория решения изобретательских задач, инновационное образование, учебный план.*

Ivanov G. V.

Surgut state University, Surgut

TEACHING THE THEORY OF INVENTIVE PROBLEM SOLVING
AT THE UNIVERSITY

Surgut

Abstract. The paper presents a justification for the need to include the theory of solving inventive tasks (TRIZ) in the educational program of universities. A summary of the stages of teaching TRIZ at the university is presented.

Keywords: *theory of inventive problem solving, innovative education, curriculum.*

Пандемия 2019–2021 годов внесла коррективы в образовательный процесс российских вузов. Например, для организации учебного процесса широко

применяются информационно-образовательные платформы, с целью обеспечения системного подхода к организации самостоятельной работы обучающихся создаются электронные курсы, часть занятий проводится online. Кроме того, уже традиционно обучающимися в процессе обучения используется современное программное обеспечение автоматизированного проектирования, пакеты прикладных программ для технических вычислений.

Однако все это не вызвало бурного подъема технического творчества, несмотря на острую необходимость сделать экономику инновационной, о чем еще на пресс-конференции 2018 года говорил президент РФ.

В сложнейших политико-экономических условиях, сложившихся к настоящему времени, перед страной стоит важнейшая задача — выработка стратегии национального развития, формирование сильной, динамично развивающейся экономики, что невозможно без перехода на новую экономическую модель с ориентацией на новую индустриализацию, технологический суверенитет.

Для ускорения инновационного развития промышленности необходимо решить такие задачи:

1) мотивация производителей. В настоящее время в секторе промышленного производства инновации составляют около 7% [1]. Представители производства предпочитают работать по уже сложившейся годами методике, не видят смысла переходить на что-то новое, поскольку чаще всего происходит оптимизация какого-то отдельного процесса, общий процесс производства остается неизменным, что не приводит к повышению эффективности работы предприятия. Необходим в этом случае комплексный подход к инновационному развитию технологического процесса. Кроме того, технические задания для разработки и оптимизации промышленного производства составляются производителями, которые изначально в задании закладывают тот подход к организации производства, который формировался на предприятии годами;

2) отсутствие специалистов, имеющих опыт разработки инноваций с нуля и доведения их до первого коммерческого эффекта. Кроме того, недостаточно специалистов, которые представляют, с чего и как необходимо начать работу над проектом и как довести его до первого образца. В этом случае следует обратить внимание на выпускников вузов.

Система высшего образования — это часть экономики, которая оперативно реагирует на ее структурные изменения. Возросшая роль инновационной активности вузов — фундаментальное направление развития российской экономики.

В настоящее время система высшего образования претерпевает изменения:

- корректируются существующие образовательные программы;
- появляются новые направления подготовки;
- внедряются новые образовательные технологии и модели.

Так, например, современные образовательные стандарты, например ФГОС 3++, направлены на подготовку молодых специалистов, ориентированных на экспериментально-исследовательский и проектно-конструкторские виды деятельности, в которых в качестве объекта профессиональной деятельности выбран:

- инновационный проект создания конкурентоспособных производств товаров и услуг;
- проекты и процессы освоения и использования новых продуктов и новых услуг, новых технологий;
- проекты коммерциализации новаций.

Следовательно, выпускник вуза, освоивший образовательную программу, разработанную согласно требованиям ФГОС ВО 3++, должен обладать следующим набором компетенций [2]:

- a) склонность к техническому творчеству;
- b) сфокусированность на своем проекте;
- c) увлеченность воплощением своих идей;
- d) мотивированность на реализацию своих проектов.

Сформировать у обучающихся указанные компетенции возможно при изучении теории решения изобретательских задач — ТРИЗ.

Цель внедрения ТРИЗ в образовательный процесс в этом случае может быть определена как повышение уровня подготовки специалистов за счет [2]:

- обучения методологии (системе методов и приемов) решения технических проблем;
- формирования и развития культуры творческого мышления.

В настоящее время ТРИЗ не входит в учебный план (УП) большинства направлений подготовки. УП представляет собой совокупность «техни-

ческих наук» (рис. 1), каждая из которых описывает механизмы (устройства) определенного вида, их принципы работы, физику процесса и формирует у обучающегося навыки расчета необходимых параметров.

Во многих технических дисциплинах используются элементы ТРИЗ, например, на семинарских занятиях применяются инструменты ТРИЗ, позволяющие закрепить материал лекций и развить практические навыки работы с техническими задачами. Но при этом решаются все же задачи, напрямую связанные с материалом дисциплины, методика решения находится в области знаний обучающегося. Это связано с тем, что в процессе обучения студенты чаще всего решают задачи по известным алгоритмам, причем часто не только преподавателю, но и обучающемуся известен правильный ответ. Решение подобных задач не требует глубоких творческих размышлений.

-	-	-	-	Формы контроля						з.е.		-	Итого акад. часов							
				Блок/часть	Экзамен	Зачет	Зачет соц.	КП	КР	Контр.	Экспертное		Факт	Часов в з.е.	Экспертное	По плану	Конт. раб.	СР	Конт роль	
Считать в плане	Индекс	Наименование																		
Блок 1. Дисциплины (модули)											207	207		7780	7780	3912	2995	873		
Обязательная часть											126	126		4864	4864	2456	1913	495		
+	Б1.О.01	Модуль общеобразовательных дисциплин	Б1.0			13445	577			13445	577	23	23		828	828	464	364		
+	Б1.О.01.01	Работа в команде	Б1.О			1				1		3	3	36	108	108	64	44		
+	Б1.О.01.02	История России	Б1.О			3				3		3	3	36	108	108	64	44		
+	Б1.О.01.03	Русский язык и культура речи	Б1.О			4				4		3	3	36	108	108	64	44		
+	Б1.О.01.04	Всеобщая история	Б1.О			4				4		2	2	36	72	72	32	40		
+	Б1.О.01.05	Безопасность жизнедеятельности	Б1.О			5				5		3	3	36	108	108	64	44		
+	Б1.О.01.06	Правосудие	Б1.О			5				5		3	3	36	108	108	64	44		
+	Б1.О.01.07	Философия	Б1.О			7				7		3	3	36	108	108	64	44		
+	Б1.О.01.08	Основы предпринимательской деятельности	Б1.О			7				7		3	3	36	108	108	48	60		
+	Б1.О.02	Модуль иностранного языка	Б1.0		12356	7	48			12345	678	16	16		576	576	216	360		
+	Б1.О.02.01	Иностранный язык	Б1.О			123	4			1234		8	8	36	288	288	128	160		
+	Б1.О.02.02	Иностранный язык в профессиональной сфере	Б1.О			567	8			5678		8	8	36	288	288	88	200		
+	Б1.О.03	Модуль физической культуры и спорта	Б1.0			2						2	2		72	72	64	8		
+	Б1.О.03.01	Физическая культура и спорт	Б1.О			2						2	2	36	72	72	64	8		
+	Б1.О.04	Модуль общепрофессиональных дисциплин	Б1.0		11122	22233	33444	6		11122	22233	33444	85	85		3060	3060	1408	1157	495
+	Б1.О.04.01	Электромонтажный практикум	Б1.О			1				1		3	3	36	108	108	48	60		
+	Б1.О.04.02	Введение в профессиональную деятельность	Б1.О			1				1		2	2	36	72	72	32	40		
+	Б1.О.04.03	Информатика	Б1.О		1					1		4	4	36	144	144	64	44		36
+	Б1.О.04.04	Высшая математика	Б1.О		12					12		10	10	36	360	360	192	96		72
+	Б1.О.04.05	Физика	Б1.О		123					123		13	13	36	468	468	208	161		99
+	Б1.О.04.06	Инженерная математика	Б1.О		2					2		4	4	36	144	144	64	53		27
+	Б1.О.04.07	Основы программирования	Б1.О			2				2		3	3	36	108	108	48	60		
+	Б1.О.04.08	Введение в инжиниринг	Б1.О			2				2		2	2	36	72	72	32	40		
+	Б1.О.04.09	Теоретические основы электротехники	Б1.О		23					23		8	8	36	288	288	128	97		63

Рис. 1. Фрагмент учебного плана

В то же время типичная сложная инженерная задача является открытой и теоретически может иметь множество решений, которые могут находиться в различных областях науки — механических, химических, электрических и других. Следовательно, для успешного решения задачи обучающиеся должны продемонстрировать фундаментальные знания не только по своей дисциплине, но и вне нее.

Изучение ТРИЗ в вузе предполагает:

- 1) решение творческих и изобретательских задач любой сложности и направленности без перебора вариантов;
- 2) прогнозирование развития технических систем (ТС) и получение перспективных решений (в том числе и принципиально новых);
- 3) развитие качеств творческой личности.

Учитывая опыт преподавания ТРИЗ обучающимся, представленный в [2], изучать ТРИЗ в вузе следует в несколько этапов, условно разбив их на блоки:

- теоретический (первый курс) — изучение инструментов ТРИЗ;
- практический (старшие курсы, магистратура) — закрепление навыков пользования инструментами ТРИЗ.

Соответственно, на первом курсе обучающиеся:

- 1) знакомятся с понятиями «проектирование» и «инновации», историей изобретательства;
- 2) определяют понятие технических систем;
- 3) учатся создавать изобретательскую ситуацию, выделяя нежелательные эффекты, разбираются с методикой постановки изобретательской задачи;
- 4) определяют причинно-следственные связи, строят дерево целей;
- 5) узнают об индикаторах, свидетельствующих о получении идеального конечного результата (ИКР);
- 6) знакомятся с типами противоречий, принципами и приемами разрешения противоречий;
- 7) изучают законы развития технических систем.

На втором этапе изучения ТРИЗ обучающиеся изучают алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), совершенствуют навыки устранения противоречий, решают изобретательские задачи различного уровня.

Внедрение ТРИЗ в образовательный процесс позволит повысить уровень подготовки специалистов за счет обучения системе методов и приемов

решения сложных технических задач; формирования и развития культуры творческого мышления. Дипломированный специалист будет иметь опыт ведения проектной деятельности (работа над проектом с первого курса) вне зависимости от направления подготовки. Выпускник будет понимать, как создать, развить и реализовать проект, доведя его до первого образца.

Список использованной литературы

1. Алехина, Н. А. Инновации в промышленном секторе экономики России / Н. А. Алехина, О. А. Строева. — Текст: непосредственный // *International Journal of Innovative Technologies in Economy*. — 2017. — № 6(12). — С. 14–18.

2. Петров, П. А. ТРИЗ+ в системе подготовки молодых специалистов в вузе: итоги / П. А. Петров, С. А. Типалин, П. И. Строков. — Текст: непосредственный // *История и педагогика естествознания*. — 2017. — № 4. — С. 16–21.

3. Жужа, М. А. Использование ресурсов учебного процесса для преподавания ТРИЗ в вузе / М. А. Жужа. — Текст: непосредственный // *Материалы конференции «Три поколения ТРИЗ»*. — 2018. — С. 4–7.

4. Гин, А. А. Теория решения изобретательских задач: учеб. пособ. I уровня / А. А. Гин, А. В. Кудрявцев, В. Ю Бубенцов [и др.] — М. : Модерн, 2017. — 90 с.

5. Петров, П. А. «ТРИЗ+» в системе подготовки инновационных специалистов (бакалавров и магистров) в вузе / П. А. Петров, А. В. Кудрявцев, В. Е. Минакер, А. С. Токарев. — Текст: непосредственный // *ТРИЗ. Практика применения и проблемы развития : сб. труд. VII межд. конф.* — М. : ООО «Аналитик», 2015.

6. Петров, П. А. «ТРИЗ+» в системе подготовки молодых специалистов в вузе: год спустя / П. А. Петров, А. В. Кудрявцев, В. Е. Минакер, А. С. Токарев. — Текст: непосредственный // *ТРИЗ. Практика применения и проблемы развития : сб. тр. VIII межд. конф.* — М. : ООО «Аналитик», 2016.

УДК 378.16

Чанпаров Ф. Х.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧЕБНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ-ПОЛИГОНОВ
НА КАФЕДРЕ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ
СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы организации лаборатории электромонтажа и прототипирования, лаборатории изучения телекоммуникационных технологий и лаборатории электроэнергетики на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета с позиции повышения мотивации обучающихся при подготовке бакалавров и магистров направлений подготовки 11.03.02, 11.04.02, 13.03.02 и 13.04.02.

Ключевые слова: лаборатория электромонтажа, лаборатория прототипирования, лаборатория телекоммуникационных технологий, подготовка инженеров.

Chapparov F. H.

Surgut state University, Surgut

ORGANIZATION OF EDUCATIONAL ENGINEERING
LABORATORIES-POLYGONS AT THE DEPARTMENT OF RADIOELECTRONICS
AND ELECTRIC POWER ENGINEERING OF SURGUT STATE UNIVERSITY

Abstract. This article discusses the organization of the laboratory of electrical installation and prototyping, the laboratory for the study of telecommunication technologies and the Laboratory of Electric Power Engineering at the Department of Radioelectronics and Electric Power Engineering of Surgut State University from the perspective of increasing the motivation of students in the preparation of bachelors and masters of the 11.03.02, 11.04.02, 13.03.02 and 13.04.02.

Keywords: electrical installation laboratory, prototyping laboratory, telecommunication technology laboratory, training of engineers.

Подготовка специалистов инженерного профиля требует как изучения теоретических основ различных технологий с целью формирования соответствующих компетенций у выпускников бакалавриата в соответствии с требованиями профстандартов, так и формирования практических навыков деятельности. Последнее напрямую вытекает из философии, заложенной в стандартах инженерного образования CDIO [1, 4].

Анализ существующей практики обучения инженеров на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета периода специалитета и, позднее, бакалавриата показывает, что в периоды, когда на кафедре реализовывалось в форме радиоклуба для младших курсов обучение основам пайки электронных схем, обучающиеся показывали большую заинтересованность в обучении на специальных предметах, чаще участвовали в научной и проектной деятельности, что подтверждалось участием в научных конференциях, конкурсах студенческих грантов, а также в более качественно реализованных дипломных работах. В свою очередь, в период закрытия радиокружка наблюдалось снижение активности студентов в учебной и научной деятельности, а также снижение качества выпускных квалификационных работ и общая инфантильность обучающихся по отношению к своему профессиональному развитию [2, 3].

На кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета задача повышения активности обучающихся в период обучения была частично решена с внедрением проектной деятельности, смещением практико-ориентированных предметов на младшие курсы и привлечением обучающихся к профориентационным проектам.

Для повышения интереса обучаемых в период с 2016 по 2022 годы модернизации подверглись лаборатории кафедры — был сформирован достаточно современный состав лабораторного фонда, позволяющий за счет наличия большого разнообразия компонентов создавать варианты лабораторных работ с заданиями от простых, позволяющих изучать отдельные свойства объектов, до сложных, требующих исследовательского подхода при работе над заданиями, что актуально при выполнении лабораторных работ в кабинете для различных направлений подготовки. Некоторые лаборатории кафедры получили более глубокую модернизацию и превратились в «полигоны» — лаборатории, содержащие реальное промышленное оборудование, размещенное по аналогии с промышленными предприятиями. Работы,

выполняемые в таких лабораториях-полигонах не имеют строгой, детализированной инструкции для выполнения и предполагают самостоятельное изучение обучающимися имеющегося фонда, инструкций к оборудованию, правил, стандартов непосредственно перед выполнением поставленной задачи. При этом значительная часть оборудования доступна для перемещения в пределах полигона, требует самостоятельного монтажа, что позволяет обучающимся осваивать компетенции, связанные с эксплуатацией и промышленной безопасностью.

Примером учебного полигона кафедры является лаборатория У107 «Лаборатория телекоммуникационных технологий», в которой установлены промышленные открытые телекоммуникационные стойки и закрытые телекоммуникационные шкафы, к которым подведены от учебного электрического распределительного шкафа кабели электропитания, сетевые кабели на основе витой пары, оконеченные на патч-панелях. Каждый шкаф или стойка имеет определенный набор телекоммуникационного оборудования: управляемые и неуправляемые коммутаторы, маршрутизаторы, шлюзы, модемы, серверы, радиорелейное оборудование различных вендоров, например, Cisco, Huawei, Juniper, Micran, Mikrotik, HP, Dell, Протей. Лаборатория позволяет реализовывать аналоговую и цифровую телефонную сеть, IP телефонию, современные локальные вычислительные сети, радиорелейные мосты, организовывать беспроводную телефонную связь стандарта Tetra, различные облачные и локальные веб-сервисы, веб-хостинг, системы видеоконференцсвязи, серверы IoT, серверы VR/AR технологий, позволяет изучать сетевые протоколы, анализировать сетевой трафик, а также изучать электропитание телекоммуникационного оборудования. На базе оборудования полигона происходит подготовка обучающихся магистратуры к сертификационным экзаменам Cisco и Huawei, также возможна подготовка обучающихся к сертификационным экзаменам по администрированию Microsoft Server и Linux Server.

Еще одним примером лаборатории-полигона является лаборатория А332, в которой установлены учебные стенды на основе промышленного оборудования (электродвигатели, счетчики, устройства автоматики, распределительные устройства, нагрузки различного типа). Эта лаборатория не имеет строго промышленного размещения оборудования и присоединения электрических кабелей, тем не менее имеется возможность работать

как с отдельным промышленным оборудованием, так и сформированной из него системой различной сложности, в том числе собирать системы Умного дома, Умной энергетики.

Одной из общих для всех направлений подготовки кафедры является лаборатория У108 — «Лаборатория электромонтажа и прототипирования». Здесь студенты младших курсов осваивают технологии пайки, электромонтажа, разработки радиоэлектронных плат, 3D-моделирования и прототипирования. Получение этих практических компетенций позволяет обучающимся при работе над своими проектами проводить этап макетирования, понимать техническое устройство компонентов промышленных систем и правила работы с ними. Для этого в лаборатории установлены 6 столов для пайки, с индивидуальной вытяжкой и освещением, а также комплектом паяльного оборудования, инфракрасная паяльная станция, оборудование по прототипированию печатных плат, лазерный раскройщик, 3D-принтеры различного типа, оборудование для вакуумного литья из полимерных материалов, а также наборы инструментов и расходных материалов. Вытяжка на рабочих местах — индивидуальная, позволяющая отвести вредные смолы, образующиеся в процессе пайки, смолы собираются в устройстве фильтрации.

Полигоны как лаборатории содержат в своем составе достаточно большое количество промышленного оборудования, что требует серьезной организации систем электроснабжения, отопления, кондиционирования, вентиляции, пожаротушения и безопасности, а также постоянного обслуживания этих систем. Высокая концентрация оборудования повышает различные риски, поэтому требуется обязательное участие инженеров и преподавателей в учебном процессе, а также наличие строгих регламентов работы обучающихся в лабораториях.

Содержание лабораторий-полигонов и учебных мастерских требуют наличия расходных материалов: кабелей, коннекторов, текстолитовых плат, припоев, флюсов, радиоэлектронных компонентов, филаментов и других материалов для прототипирования, а также различных расходных компонентов оборудования, например жала для паяльника, фильтров. Объемы затрат на расходные материалы в годовом цикле сильно варьируются от решаемых обучающимися в текущем году учебных задач и составляют, например, для лаборатории электромонтажа и прототипирования от 100 тыс. руб. до 3 млн руб. на 100 обучающихся в год. Так как процесс макетирования

сильно зависит от проекта обучающегося, то и расход материалов также является непредсказуемым, поэтому в лаборатории требуется создавать запас по расходным материалам для текущего года в объеме, эквивалентном 3–6 млн руб., то есть в планируемом двухгодичном цикле, с ежегодным пополнением запасов.

Такой подход к организации учебных лабораторий позволяет изменить учебный процесс, сделав его более интересным, практико-ориентированным, и, как следствие, повлиять на мотивацию обучающихся, их вовлеченность в учебный процесс, также развитие лабораторий в данной концепции позволяет преподавателям находить более эффективное содержание учебных дисциплин и методик их преподавания.

Наличие лабораторий-полигонов также позволяет организовывать содержательную и интересную профориентационную работу с абитуриентами, предоставляя им возможность знакомиться с профессиями и отдельными профессиональными задачами, производственной культурой уже в 7–11 классах.

Список использованной литературы

1. Всемирная инициатива CDIO. Стандарты: информационно-методическое издание / Пер. с англ. и ред. А. И. Чучалина, Т. С. Петровской, Е. С. Кулюкиной; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. — 17 с.

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

3. Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2021 : сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (Россия, Сургут, 22–23 апреля 2021 года). — М. : Знание-М, 2021. — 235 с.

4. Профессиональные стандарты: [Электронный ресурс] — URL: <https://profstandart.rosmintrud.ru> (Дата обращения: 19.04.2022)

УДК 378.147

Рысев П. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КЕЙСОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ
ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается метод кейсов в качестве дополнительного образовательного инструмента при подготовке обучающихся инженерных направлений. Показано, что метод может являться эффективным дополнением к существующим образовательным инструментам.

Ключевые слова: инженерные кейсы, образовательные технологии, проектная деятельность.

Rysev P. V.

Surgut State University, Surgut

USING THE CASE STUDY METHOD IN THE EDUCATIONAL
PROCESS OF TECHNICAL AREAS

Surgut

Abstract. The article considers the case study method as an additional educational tool in the preparation of engineering students. It is shown that the method can be an effective addition to existing educational tools.

Keywords: engineering cases, educational technologies, project activities..

Введение

Подготовка технических специалистов (бакалавров, магистров) — процесс, в котором необходимо сформировать как универсальные, общепрофессиональные, так и профессиональные компетенции. Далеко не всегда,

особенно в условиях ограниченности аудиторных часов, практик, удастся в полной мере сформировать упомянутые выше компетенции.

На основании личного опыта были выделены некоторые проблемы, сопровождающие обучение по техническим направлениям:

- 1) «слабая» связь заданий по дисциплинам с реальными проблемами отрасли;
- 2) отсутствие (или ограниченная связь) между дисциплинами учебного плана;
- 3) выполнение заданий «по образцу»;
- 4) потребности организаций-партнеров вуза в профориентации студентов;
- 5) необходимость формирования универсальных компетенций.

Применение традиционных подходов к обучению не позволяет решить эти проблемы.

Рассмотрим использование метода кейсов в учебном процессе технических направлений.

Метод кейсов предполагает использование конкретных ситуаций, в частности реальных производственных задач, с которыми выпускники могут столкнуться в трудовой деятельности.

Можно выделить три типа инженерных кейсов:

- структурированные кейсы — конкретная производственная ситуация с точными и полными данными;
- неструктурированные кейсы — материал с большим количеством данных, предназначенный для оценки стиля и скорости мышления, умения отделить главное от второстепенного и навыков работы в определенной области;
- первооткрывательские (проектные) кейсы дают возможность увидеть, способен ли человек мыслить нестандартно, сколько креативных идей он может выдать за отведенное время.

Благодаря использованию конкретных ситуаций данный подход может формировать универсальные компетенции, связанные с умением распределять роли в команде, искать, структурировать и анализировать информацию, вырабатывать согласованное мнение, презентовать и аргументировать свои идеи (Soft skills); учить рассматривать проблему «в комплексе», тем самым обеспечивая связь между дисциплинами.

Также с помощью кейс-метода можно реализовывать профориентационную работу, погружая обучающихся в проблематику конкретной организации.

При внедрении кейс-метода важно сформировать инструментарий оценки.

Можно использовать как минимум два способа работы с крупноформатным отраслевым кейсом в учебных целях в рамках одной или нескольких дисциплин:

- 1) разбивка основного кейса на несколько задач, каждая из которых закрывает определенную компетенцию;
- 2) решение всего кейса — сквозной задачи и проблемы, которая может показать усвоение нескольких компетенций и выходить за рамки одной дисциплины.

Первый инструмент удобен для работы в аудитории, в относительно небольшом промежутке времени (одно-два занятия). С помощью этого инструмента можно оценивать сформированность профессиональных компетенций.

Второй инструмент предполагает более длительное решение задания. Удобно его использовать для оценки работы группы, исследуя сформированность универсальных компетенций.

Вместе с достоинствами можно выделить и сложности во внедрении кейс-метода.

1. Формирование (написание) кейса. Это самый сложный этап. Сложность определяется не только большим объемом работы по формированию кейса, но и сложностью в поиске данных по реальной производственной ситуации.

2. Несогласованность дисциплин учебного плана. Для решения кейсов очень важно, чтобы учебный план был логичен, порядок изучения дисциплин был согласован, поскольку кейс — это практически всегда междисциплинарная задача, для решения которой требуются знания по разным предметам.

3. Неготовность обучающихся к групповой работе, работе без примера или шаблона.

Кейс-метод можно реализовывать различными способами, например:

- очно — аудиторная выдача заданий и защита решений;
- LMS Moodle — выдача заданий дистанционно; защита очно или посредством веб-конференций;

- Case simulator — выдача заданий дистанционно, защита очно или посредством веб-конференций, оценивание с помощью встроенных критериев.

Очный формат удобен для небольших по объему кейсов или задач на их основе, которые можно решить в течение одного-двух занятий.

LMS Moodle можно использовать в кейс-методе, но сам функционал платформы не очень гибок, поэтому отсутствует гибкость в задании, отсутствуют удобные инструменты оценивания.

Case simulator. Это платформа, специально разработанная для реализации метода кейсов. Можно выделить следующие достоинства и недостатки этого решения.

Достоинства:

- 1) база кейсов;
- 2) разнообразие интерактивных технологий;
- 3) возможность удаленной работы;
- 4) удобные критерии оценки;
- 5) наличие статистики, управления группами пользователей.

Недостатки:

- 1) платная подписка;
- 2) сложность загрузки «своих» заданий кейсов.

На основе опыта использования кейсов можно выполнить некоторые обобщения.

Длительность работы над кейс-заданиями:

- командная работа: 1–2 недели;
- индивидуальная работа: 1–1,5 месяца;
- мини кейсы, кейс-задачи и т. п.: 1–2 занятия.

Основные направления применения метода:

а) проектная деятельность студентов, в том числе сквозное проектирование;

б) выпускные квалификационные работы;

с) профориентация студентов и школьников.

В целом можно констатировать, что метод кейсов является интересным и эффективным образовательным инструментом, внедрение которого в учебный процесс инженерных направлений приведет к повышению качества обучения.

Список использованной литературы

1. Международный инженерный чемпионат CASE-IN. О методе кейсов [Электронный ресурс]. — URL: <https://case-in.ru/article/9/> (Дата обращения: 04.04.2022)
2. Курбонова, У. С. Преимущества применения тематических исследований (case study) в образовательном процессе / У. С. Курбонова // Проблемы Науки. — 2019. — № 12-1 (145). — С. 97–99. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-primeneniya-tematicheskikh-issledovaniy-case-study-v-obrazovatelnom-protssesse> (Дата обращения: 10.04.2023)
3. Стрекалова, Н.Д. Разработка и применение учебных кейсов: практическое руководство [Текст] / Н. Д. Стрекалова, В. Г. Беляков; Санкт-Петербургский филиал Нац. исслед. ун-та «Высшая школа экономики». — СПб. : Отдел оперативной полиграфии НИУ ВШЭ — СанктПетербург, 2013. — 80 с [Электронный ресурс] URL: <https://www.hse.ru/data/2014/03/04/1333184440/strekalova-belyakov.pdf> (Дата обращения: 11.04.2023)

УДК 001.892

Кондрашкина Е. Г., Чаппаров Ф. Х.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ДИЗАЙНА ИНЖЕНЕРНОГО
ПРОЕКТА В УЧЕБНОМ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ

г. Сургут

Аннотация. Работа является продолжением цикла статей авторов, посвященных исследованию различных аспектов инженерной педагогики. В представленной работе рассматриваются вопросы формирования у обучающихся отношения к инженерно-техническому проектированию как решению двух комплексов задач: управление проектом и дизайн проекта. В свою очередь дизайн проекта также рассматривается как совокупность двух групп работ, включающих в себя, с одной стороны, решение вопросов проектирования, а с другой — конструирования инженерно-технических объектов, которые требуют формирования у обучающихся разных компетенций. В работе рассматриваются цели и отличия таких этапов дизайна проекта при инженерно-техническом проектировании, как исследования, валидация и верификация, проектирование и конструирование, реализация объекта проектирования. Определяются назначение и цели создания внутренних проектных объектов — модели, прототипы, проектно-конструкторская документация.

Ключевые слова: *дизайн проекта, управление проектом, модель, прототип, проектирование, конструирование.*

Kondrashkina E. G., Chapparov F. Kh.

Surgut State University, Surgut

ENGINEERING PROJECT DESIGN LIFE CYCLE IN EDUCATIONAL
ENGINEERING DESIGN

Surgut

Abstract. The work is a continuation of a series of articles by the authors devoted to the study of various aspects of engineering pedagogy. The presented work deals with the formation of students' attitude to engineering and technical design, as a solution to two sets of tasks — project management and project design. In turn, the design of the project is also considered as a combination of two groups of works, including, on the one hand, the solution of design issues, and on the other hand, the design of engineering and technical objects that require the formation of different competencies among students. The paper discusses the goals and differences of such project design stages in engineering design as research, validation and verification, design and construction, implementation of the design object. The purpose and goals of creating internal design objects will be determined — models, prototypes, design documentation.

Keywords: *project design, project management, model, prototype, design, construction.*

Реализация технической системы — это последовательность шагов по постепенной ее материализации, т. е. продвижение от общего мысленного представления о системе к сложному конгломерату технических и программных средств, реализующего практическую функцию.

В практике реализации инжиниринговых проектов необходимо выделять две основных стороны, которые на английском языке обозначаются следующими терминами:

Project Management — управление проектом как решение универсальных управленческих задач, не связанных с конкретной сферой деятельности.

Project Design — дизайн проекта как решение прикладных технических, социальных, экономических и других задач, направленных на создание конечного продукта или сервиса с учетом конкретной сферы деятельности.

Управление проектом — это деятельность, связанная с организацией работы команды проекта, которая заключается в решении следующих групп универсальных управленческих задач: планирование, организация, координация, контроль, мотивация.

Именно для описания этой группы задач были приняты следующие национальные стандарты по управлению проектами [7–21].

В этих стандартах проект определяется как «комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленный на создание уникального продукта или услуги в условиях временных и ресурсных ограничений».

В этом определении особо подчеркнем слово «уникального». Фактически оно означает, что предполагается получение результата, который до настоящего времени еще не был реализован, хотя, возможно, и имеет некоторые аналоги.

Уникальность результата заключается в том, что в начале реализации проекта мы точно не знаем, какой результат будет получен по его завершении. Поэтому нужно быть готовым не просто получить нечто не ожидаемое в самом начале, но и спокойно относиться к тому, что в процессе работы над проектом придется возвращаться на несколько этапов назад, чтобы уточнить и исправить решения, которые уводят проект в сторону от необходимого решения.

Это происходит потому, что проектная работа реализуется в условиях непараметрической априорной неопределенности, т. е. в ситуации, когда количество неизвестных параметров в проекте больше, чем известных, и поэтому какие-то параметры приходится подбирать по ходу реализации проекта, задаваясь их промежуточными значениями.

Естественный способ преодоления этого состояния неопределенности и заключается в использовании итерационного режима работы, т. е. режима с проработкой очередного этапа и возвратом назад, если полученный промежуточный результат оказался ошибочным.

Дизайн проекта — это деятельность, связанная с работой над содержанием проекта, которая сильно зависит от конкретной сферы деятельности.

Зачастую в соответствующих областях деятельности действуют свои нормативные акты, которые регламентируют выполнение тех или иных проектных задач. В частности, в промышленном инжиниринге существует очень объемный пул документов, который определяет как общие задачи промышленного инжиниринга, например стандарты группы ЕСКД (Единая

система конструкторской документации), ЕСПД (Единая система программной документации), СНиП (Строительные нормы и правила) и т. п., так и решение частных задач в соответствующей отрасли — различные технические условия, руководящие документы, технические требования и т. п. Документы этого типа действуют как на уровне профильных министерств, так и на уровне отдельного предприятия и представляют собой «золотой» информационный фонд, обобщающий практический опыт реализации конкретных проектов. Эти документы являются отправной точкой при реализации типовых проектов в промышленном инжиниринге.

В промышленном инжиниринге необходимо выделять следующие два вида практической деятельности в дизайне проекта:

1. *Development* — разработка или проектирование; на этом этапе работа идет на уровне мысленного представления о технологиях и общих технических решениях, а результат — это формирование понимания того, из каких функциональных элементов инженерно-технический объект будет состоять и как он будет работать.

2. *Construction* — конструирование; конструирование опирается на практический опыт использования конкретных технических решений для конкретных задач, его целью является формирование представления о том, как инженерно-технический объект будет реализовываться и эксплуатироваться, в результате конструирования подготавливается документация, по которой можно собирать и исследовать модель, строить здание, точить деталь — в общем, делать что-то конкретное.

При выполнении инжиниринговых проектов решение всех трех групп задач — управление, проектирование и конструирование — ведется параллельно. Действительно, невозможно реализовать успешный проект, если при проектировании не учитывать успешные конструкторские решения, конструирование проводить без разработанного проекта и при этом не заниматься управлением проектами.

Тем не менее при практическом выполнении инжинирингового проекта можно выделить три основные фазы, определяющие начало выполнения соответствующих работ:

- 1) разработка;
- 2) управление;
- 3) конструирование.

Окончание работ осуществляется в следующей последовательности:

- 1) разработка;
- 2) конструирование и управление.

Обратите внимание, что задачи управления проектом возникают только спустя какое-то время от начала разработки. На начальном этапе, который называется инициацией проекта, он реализуется небольшой инициативной группой или даже одним человеком. При этом проект критически зависит от персональной квалификации членов этой группы и очень плохо поддается системному управлению. Поэтому проблемы организации работы членов группы решаются по мере их поступления и в зависимости от ситуации.

В фазе реализации инженерно-технического объекта, предназначенного для практического использования, проектная деятельность уже не реализуется, однако решение конструкторских задач не прекращается до самого ввода целевой системы в эксплуатацию.

Продолжительность выполнения каждого из указанных этапов может быть различной, однако чаще всего работы на этапе реализации инженерно-технического объекта, предназначенного для практического использования, занимают больше всего времени.

Реализация дизайна проекта в промышленном инжиниринге осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема жизненного цикла дизайна проекта

Итогом дизайна проекта является реализация, т. е. материальное воплощение, конечного инженерно-технического объекта, предназначенного для использования. Такой инженерно-технический объект также называют целевой системой.

Здесь важно отметить то, что целевая система — это инженерно-технический объект, который именно готов к практическому применению, т. е. прошел все стадии не только проектирования, создания и изготовления, но и ввода в эксплуатацию и разрешения использования.

При этом необходимо учитывать, что с точки зрения практического применения разделяют использование целевой системы как сервиса или как продукта. Соответственно, дизайн проекта может выполняться с сервисным или с продуктовым подходом, которые в значительной степени влияют на результаты проектирования. Поэтому уже на самых ранних стадиях реализации проекта стоит задаваться вопросом, какой способ практического применения целевой системы предполагается — в качестве сервиса или в качестве продукта.

Продукт — это то, что решает задачи нескольких клиентов стандартным способом и может быть отчуждено от создателей. В продуктовом подходе результаты проекта передаются потребителям вместе с технологией по их использованию без участия разработчика и производителя. Поэтому решение должно быть типовым с единой стандартной ценой и ориентированным на унифицированные ожидания потребителя.

Достоинством продуктового подхода является проявление так называемого эффекта масштаба производства — при увеличении объемов продаж снижаются расходы. Кроме этого, продуктовый подход обеспечивает высокий уровень автоматизации и хорошую управляемость качеством конечного результата. Поскольку для продуктового подхода характерна кадровая политика с ориентацией на привлечение узкопрофильных специалистов, это повышает уровень независимости производственного процесса от человеческого фактора.

Сервис — это то, что решает задачу клиента индивидуальным способом и завязано на исполнителях. В сервисном подходе проблемы потребителя решаются без передачи соответствующей технологии. Разработка решения для каждого клиента — это своего рода новый мини-проект, поэтому для его реализации каждый раз в том или ином виде разрабатывается свое

техническое задание. Следовательно, для сервисного подхода характерно увеличение расходов при увеличении объема продаж, привлечение для работы специалистов широкого профиля и низкий потенциально-достижимый уровень автоматизации.

Сервисный подход применяется в тех случаях, когда речь идет о работе с потребителями с неопределенным уровнем ожиданий. Т. е. конкретные потребности потребителя должны проясняться в ходе реализации проекта. Такой подход характерен для малого и среднего бизнеса.

Реализация даже относительно простой целевой системы подразумевает предварительную разработку точных инструкций, исполнение которых позволит персоналу создать требуемый инженерно-технический объект, — так называемой рабочей документации. Подготовка инструкций для реализации целевой системы осуществляется в фазе конструкторской деятельности и опирается на конструкторские компетенции исполнителей, а также на опыт практической эксплуатации систем, аналогичных разрабатываемой. Реализация целевой системы — это также преимущественно конструкторская деятельность, требующая соответствующих навыков от исполнителей.

Проектную инжиниринговую деятельность можно определить как деятельность, направленную на разработку научно-исследовательской и опытно-конструкторской документации, содержащей документирование различных научных, технических и проектных конструкторских решений. Это очень широкая группа документов от публикаций в научных журналах до спецификаций и смет на компоненты целевой системы и требований к организации эксплуатации и утилизации конечных объектов.

Без разработки научно-исследовательской и опытно-конструкторской документации не может обойтись создание ни одного инженерно-технического объекта. Поэтому формирование навыков разработки различных видов научно-исследовательских, проектных конструкторских и рабочих конструкторских документов является неотъемлемым элементом подготовки будущих инженерно-технических работников в процессе реализации ими учебных инжиниринговых проектов.

Помимо разработки научно-исследовательской и опытно-конструкторской документации, в жизненном цикле дизайна проекта также необходимо выделять работы по проведению исследований и созданию прототипов.

Исследования в инжиниринге направлены на проверку работоспособности целевой системы и возможности реализации и выполнения ею необходимых функций. Предметом инженерно-технических исследований является моделирование процессов, реализуемых целевой системой.

Прототипирование имеет целью проверку жизнеспособности целевой системы и направлено на решение задач верификации и валидации применяемых технических решений.

Валидация — это подтверждение того, что разрабатываемая целевая система соответствует ожиданиям целевой аудитории.

Верификация относится к внутренней системе менеджмента качества и является доказательством того, что разрабатываемая целевая система соответствует требованиям технического задания на ее разработку.

Вся совокупность работ от определения идеи проекта до практической реализации конечного инженерно-технического объекта называется инжинирингом.

Инжиниринг целевой системы подразумевает не только разработку проектной конструкторской и рабочей конструкторской документации, но и получение и проверку промежуточных проектных результатов. В нормативных документах по дизайну инжиниринговых проектов определяются основные этапы и результаты инжиниринга, а также внутренние проектные объекты, которые разрабатываются в процессе проектирования.

Список использованной литературы

1. Кондрашкина, Е. Г. Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа круглогодичной инженерно-технической школы «SIESS: Промышленный инжиниринг» как средство развития проектно-инжиниринговых компетенций талантливых школьников в Сургутском государственном университете ХМАО — Югры / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Педагогическое образование. — 2022. — Т. 3. № 6. — С. 15–20.

2. Экосистема инженерных треков в подготовке специалистов инженерного профиля / Е. Г. Кондрашкина, Е. В. Прохорова, Л. Л. Семенова, Ф. Х. Чаппаров, В. В. Рыжаков // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2021 : Сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва, 2021. — С. 347–352.

3. Кондрашкина, Е. Г. Экосистема инженерных треков как среда поддержки бизнес-процессов кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета // В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. — 2021. — № 5. — С. 122–127.
4. Кондрашкина, Е. Г. Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, Ф. Х. Чаппаров // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020 : Сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции, 2020. — С. 357–361.
5. Кондрашкина, Е. Г. Проектный центр индивидуальных образовательных стратегий обучающихся инженерного профиля / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, // Современное педагогическое образование. — 2018. — № 3. — С. 71–74.
6. Кондрашкина, Е. Полный жизненный цикл технического проектирования в инженерном образовании / Е. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании. Труды Международной мультikonференции. — 2016. — С. 93–98.
7. ГОСТ 52806-я2007 «Менеджмент рисков проектов».
8. ГОСТ 52807-2007 «Руководство по оценке компетентности менеджеров проектов».
9. ГОСТ 53892-2010 «Руководство по оценке компетентности менеджеров проектов. Руководство по оценке компетентности менеджеров проектов. Области компетентности и критерии профессионального соответствия».
10. ГОСТ Р 54869 – 2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом».
11. ГОСТ Р 54871 – 2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению программой».
12. ГОСТ Р 54870 – 2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов».
13. ГОСТ Р 51897-2011 Менеджмент риска. Термины и определения.
14. ГОСТ Р 56275-2014 Менеджмент рисков. Руководство по надлежащей практике менеджмента рисков проектов.
15. ГОСТ Р ИСО 21500 - 2014 «Руководство по проектному менеджменту».

16. ГОСТ Р 56714.1-2015 «Мультипроектный менеджмент. Управление проектом, портфелем проектов, программой. Часть 1 Основные положения».

17. ГОСТ Р 56714.2-2015 «Мультипроектный менеджмент Управление проектом портфелем проектов программой. Часть 2 Процессы и процессная модель».

18. ГОСТ Р МЭК 61160-2015 «Проектный менеджмент. Документальный анализ проекта»

19. ГОСТ Р МЭК 62198-2015 «Проектный менеджмент. Руководство по применению менеджмента риска при проектировании».

20. ГОСТ ИСО 21504-2016 «Управление проектами, программами и портфелем проектов. Руководство по управлению портфелем проектов».

21. ГОСТ Р ИСО 10006-2019 «Руководящие указания по менеджменту качества в проектах».

УДК 001.892

Рыжаков В. В.

Сургутский государственный университет, г. Сургут

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

г. Сургут

Аннотация. В работе представлено описание методологии архитектурного проектирования инженерно-технических объектов. При этом под инженерно-техническими объектами подразумеваются как аппаратные, так и программные системы и комплексы. Дается определение понятия архитектурного проектирования, описываются его исходные данные и получаемые результаты. Процесс архитектурного проектирования представлен в виде последовательности из 9 этапов. Целью работы является разработка методики выполнения архитектурного проектирования при реализации учебных проектов обучающимися по инженерно-техническим направлениям вузов.

Ключевые слова: *дизайн проекта, управление проектом, модель, прототип, проектирование, конструирование, архитектура.*

Ryzhakov V. V.

Surgut State University, Surgut

DEVELOPMENT OF ARCHITECTURE OF ENGINEERING
AND TECHNICAL OBJECTS

Surgut

Abstract. The paper presents a description of the methodology of architectural design of engineering and technical objects. At the same time, engineering and technical objects mean both hardware and software systems and complexes. The definition of the concept of architectural design is given, its initial data and the results obtained are described. The architectural design process is presented as a sequence of 9 stages. The aim of the work is to develop a methodology for

the implementation of architectural design in the implementation of educational projects by students in the engineering and technical areas of universities.

Keywords: *project design, project management, model, prototype, design, construction, architecture.*

Введение.

Разработка технического объекта представляет собой сложный многоэтапный процесс. На каждом этапе решаются свои задачи, а в конце этапа проводится оценка полученных результатов с принятием проектных решений по дальнейшему развитию проекта. На каждом этапе создаются внутренние проектные объекты, которые позволяют проверить различные аспекты реализуемого проекта — получить данные, выявить закономерности, найти оптимальное решение, провести его валидацию и верификацию, выполнить технологический маркетинг и трансфер технологий, проверить реализуемость и экономическую эффективность проекта и т. п.

Этапы архитектурного проектирования.

Самый первый этап реализации проекта — это формулировка идеи проекта, которая заключается в определении целевой аудитории, выявлении проблемы и выдвижении гипотезы в отношении того, что может являться решением этой проблемы.

На следующем этапе выполняется первое предварительное проектирование, которое позволяет получить общее представление об объекте проектирования и его архитектуре.

Архитектура технического объекта представляет собой совокупность двух схем — функциональной модели и архитектуры объекта проектирования.

Функциональная модель формируется как совокупность действий, которые должен выполнять объект проектирования. У каждого действия есть входные параметры, а результат выполнения действия отображается в выходные параметры, которые, в свою очередь, могут выступать в качестве входных для других действий. Схема функциональной модели может быть полносвязной или состоять из отдельных, не связанных между собой подсхем.

Архитектура отражает структуру самого объекта проектирования, а также внешние связи и факторы, с которыми объект проектирования взаимодействует в процессе своего функционирования. Структура объекта проектирования строится на основе функциональных элементов, связанных

между собой логическими и физическими связями. Функциональный элемент — относительно самостоятельная подсистема, реализующая одно или несколько действий функциональной модели. Связи между функциональными элементами представляют собой интерфейсные элементы, обеспечивающие передачу входных и выходных параметров действий функциональной модели объекта проектирования.

Для разработки архитектуры объекта проектирования предварительно должны быть определены: идея проекта, позиционная схема деятельности «как есть», которая описывает контекст реализации проекта [1–6], нежелательные явления стейкхолдеров и потребности потребителей результатов проекта.

Последовательность выполнения архитектурного проектирования заключается в выполнении следующих шагов.

1. Определение практических целей создания объекта проектирования. Практические цели создания объекта проектирования — это первое описание того, чему должен соответствовать и что должен делать объект проектирования. Практические цели формулируются на основе нежелательных явлений стейкхолдеров и потребностей потребителей. При этом практическими целями проектируемого технического объекта должно быть устранение нежелательных явлений стейкхолдеров и обеспечение удовлетворения потребностей потребителей. Практические цели задаются тремя наборами — требованиями, которые описывают, что технический объект должен делать; ограничениями, которые описывают то, что технический объект не должен делать; и условиями, т. е. набором некоторых внешних факторов, которые должны быть дополнительно учтены при проектировании.

2. Определение объекта проектирования. На данном шаге необходимо на основании сформулированных требований определить объект проектирования, т. е. дать название и общее описание технического объекта, которые наиболее полно соответствуют требованиям. При определении объекта проектирования необходимо изучить техническую литературу и провести патентный поиск на уровень техники для выявления аналогичных технических решений, которые могли бы выступить в качестве прототипа.

3. Построение позиционной схемы деятельности «Как нужно». Когда объект проектирования определен и выявлены ключевые практические цели его создания, необходимо определить, каким образом его создание и использование изменит контекст реализации проекта. Выполняется это

с применением позиционной схемы деятельности «Как есть», в которую вводится проектируемый технический объект и определяются и переопределяются связи между акторами этой схемы. В результате получается позиционная схема деятельности «Как нужно». При определении связей между объектом проектирования и внешними акторами необходимо добиться того, чтобы всем практическим целям были поставлены в соответствии связи.

4. Определение состава объекта проектирования. После того, как на позиционной схеме деятельности «Как нужно» будут установлены все связи, необходимо определить, что должен делать объект проектирования с точки зрения каждого из акторов, с которыми он связан, а также какие функциональные элементы должен содержать для обеспечения этих связей. В результате получаем состав обязательных реализуемых функций и обязательных функциональных элементов объекта проектирования.

5. Построение диаграммы вариантов использования. Диаграмма вариантов использования позволяет детализировать функции объекта проектирования путем их декомпозиции на элементарные действия, выполняемые отдельными функциональными элементами. Таким образом, каждая функция раскладывается на составляющие ее подфункции и действия. Декомпозиция может выполняться на любую необходимую глубину. С другой стороны, при построении диаграммы вариантов использования может происходить и обратный процесс объединения действий и подфункций в функции более высокого уровня.

6. Разработка функциональной модели. Функциональная модель строится на основе определенных ранее элементарных действий путем добавления входов и выходов и соединения отдельных действий в последовательности выполняемых операций. При этом вводятся внутренние для объекта проектирования функции, подфункции и действия, которые не связаны с внешними акторами, но необходимы для функционирования объекта проектирования.

7. Построение архитектуры объекта проектирования. Все выявленные при функциональном моделировании функции, подфункции и действия должны быть обеспечены соответствующими функциональными элементами, представляющими собой аппаратные и программные технические модули. Поэтому на этом шаге необходимо провести локализацию функциональной модели, отобразив все ее действия на соответствующие функциональные элементы. При этом в составе объекта проектирования появляются новые функциональные элементы, которые необходимы для обеспечения его

функционирования, но непосредственно не связанные с внешними акторами. Связи между функциональными элементами поддерживаются логическими и физическими интерфейсами. Соответственно, в некоторых случаях может быть целесообразным разделить архитектуру объекта проектирования на логическую и физическую. После завершения построения архитектуры необходимо выделить те функциональные элементы и связи между ними, которые подлежат дальнейшей разработке в проекте. Эти элементы составят структурную схему объекта проектирования.

8. Проверка объекта проектирования. После построения архитектуры объекта проектирования необходимо провести две проверки: убедиться, что всем функциям системы поставлены в соответствие функциональные элементы и все функциональные элементы реализуют необходимые функции; а также проверить, для всех ли практических целей объекта проектирования существуют связи, представленные входными и выходными параметрами функциональной модели и обеспечивающие их достижение. Эту процедуру удобно выполнять через соответствующие матрицы [7, 8].

9. Сценарирование. На завершающем этапе архитектурного проектирования осуществляется написание сценариев практического использования объекта проектирования и организации взаимодействия с ним с точки зрения каждого из акторов позиционной схемы деятельности. Сценарии представляются в виде текста, содержащего подробное описание порядка взаимодействия акторов с объектом проектирования, а также целей этого взаимодействия и ожидаемого результата.

Заключение.

Таким образом, выполнение представленной последовательности шагов позволит получить функциональную модель, архитектуру и структуру объекта проектирования, которые являются первым промежуточным проектным результатом. Полученные результаты позволят дать первую оценку необходимым техническим решениям, ответив на ряд вопросов, обозначенных во введении к данной работе.

Список использованной литературы

1. Кондрашкина, Е. Г. Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа круглогодичной инженерно-технической школы «SIESS: Промышленный инжиниринг» как средство развития проектно-инжинирин-

говых компетенций талантливых школьников в Сургутском государственном университете ХМАО — Югры / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Педагогическое образование. — 2022. — Т. 3. № 6. — С. 15–20.

2. Экосистема инженерных треков в подготовке специалистов инженерного профиля / Е. Г. Кондрашкина, Е. В. Прохорова, Л. Л. Семенова, Ф. Х. Чаппаров, В. В. Рыжаков // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2021 : Сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва, 2021. — С. 347–352.

3. Кондрашкина, Е. Г. Экосистема инженерных треков как среда поддержки бизнес-процессов кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. — 2021. — № 5. — С. 122–127.

4. Кондрашкина, Е. Г. Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, Ф. Х. Чаппаров // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020 : Сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции, 2020. — С. 357–361.

5. Кондрашкина, Е. Г. Проектный центр индивидуальных образовательных стратегий обучающихся инженерного профиля / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, // Современное педагогическое образование. — 2018. — № 3. — С. 71–74.

6. Кондрашкина, Е. Полный жизненный цикл технического проектирования в инженерном образовании / Е. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании. Труды Международной мультikonференции. — 2016. — С. 93–98.

7. Халл, Э. Инженерия требований / Э. Халл, К. Джексон, Д. Джереми; пер. с англ. А. Снастин ; под. ред. В. К. Батоврина. — М. : ДМК Пресс, 2017. — 218 с.

8. Мизгулин, В. Системный инженер. Как начать карьеру в новом технологическом укладе / В. Мизгулин. — М. : Интеллектуальная издательская система Ridero, 2017. — 281 с.

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ

*Сборник трудов IV Международной
научно-практической конференции*

Корректурa: Любовь Калинина
Компьютерная верстка: Елена Семенова

Издательство «Знание-М»

Подписано в печать 1.08.2023. Формат 60x90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура «Times». Печать цифровая.
Усл. печ. л. 42,31. Заказ № 9735. Тираж 30 экз.
Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
«Дизайн-бюро Школы креативных индустрий»
355038, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

Издано в научных и учебных целях.