

ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ХАНТЫ-МАНСКИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА — ЮГРЫ

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

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ

Сборник научных трудов
по материалам VI Международной
научно-практической конференции
г. Сургут, 24–25 апреля 2025 года

Москва
Знание-М
2025

УДК 620.9:621.39(470.1/.2)(063)

ББК 32.81(2Сев)

П78

Рецензенты:

Бигун А. Я. — кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета;

Владимиров Л. В. — кандидат технических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета;

Рыжаков В. В. — кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета.

П78

Проблемы энергетики и телекоммуникаций Севера России : сборник научных трудов по материалам VI Международной научно-практической конференции. — Москва : Знание-М, 2025. — 432 с.

ISBN 978-5-00255-424-9

DOI 10.38006/00255-424-9.2025.1.432

В сборник вошли результаты исследований, посвящённых актуальным вопросам развития электроэнергетики и телекоммуникационной инфраструктуры в условиях Крайнего Севера и Арктической зоны России. Особое внимание уделяется проблемам надёжности и энергоэффективности электроэнергетических систем, интеграции возобновляемых источников энергии, цифровизации производственных процессов, а также применению инновационных материалов и технологий при эксплуатации объектов энергетики в суровых климатических условиях.

Значительная часть статей посвящена вопросам развития сетей связи, современных телекоммуникационных технологий и цифровых сервисов, необходимых для устойчивого функционирования промышленных предприятий и удалённых населённых пунктов северных регионов. Рассматриваются практические решения по повышению качества передачи данных, обеспечению информационной безопасности и внедрению интеллектуальных систем мониторинга и управления.

Материалы сборника адресованы научным сотрудникам, инженерам-практикам, аспирантам и студентам технических вузов, а также специалистам в области энергетики, связи и информационных технологий, заинтересованным в развитии и освоении северных территорий России.

УДК 620.9:621.39(470.1/.2)(063)

ББК 32.81(2Сев)

ISBN 978-5-00255-424-9

© Авторы, 2025

© Знание-М, 2025

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Коновалова Е. В.

Проректор по учебно-методической работе БУ ВО «Сургутский государственный университет», д. ф.-м. н. (Сургут);

Мурашко А. Ю.

Директор Политехнического института БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. х. н. (Сургут);

Рыжаков В. В.

Заведующий кафедрой радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. ф.-м. н. (Сургут);

Палагушкин Б. В.

Проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», д. т. н. (Новосибирск);

Сальников В. Г.

Профессор кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», д. т. н. (Сургут);

Осипов Д. С.

Профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», д. т. н. (Ханты-Мансийск);

Кислов А. П.

Декан факультета энергетики НАО «Торайгыров университет», к. т. н. (Казахстан, Павлодар);

Мендыбаев С. А.

Доцент кафедры радиотехники, электроники и телекоммуникаций НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», к. т. н. (Казахстан, Астана);

Бигун А. Я.

Доцент кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики БУ ВО «Сургутский государственный университет», к. т. н. (Сургут);

Горелов С. В.

Профессор кафедры электроэнергетических систем и электротехники ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта», д. т. н. (Новосибирск);

Вильбергер М. Е.

Декан факультета мехатроники и автоматизации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», к. т. н. (Новосибирск);

Курбатов А. А.

Начальник управления связи ООО «Газпромтрансгаз Сургут» (Сургут).

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ 11

Энергосбережение и энергоэффективность в электроэнергетических системах и электрических сетях..... 11

М. С. Кочергина, В. В. Рогонов, А. Я. Бигун

Направленная высокочастотная защита линии..... 11

*Н. А. Кочуров, В. Г. Сальников, Е. Ю. Кислицин, Е. В. Иванова,
М. Н. Романов, Д. М. Иванов*

Повышение надежности системы электроснабжения месторождений углеводородов Восточной Сибири 18

И. Н. Соседов, Е. В. Иванова, Д. М. Иванов, В. Г. Сальников

Границы зоны влияния кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения в электроэнергетической системе 25

В. З. Манусов, Г. В. Иванов, А. С. Вычужанин

Оценка эффективности перевода распределительных сетей 6 кВ нефтегазовых месторождений на класс напряжения 20 кВ 35

В. З. Манусов, Г. В. Иванов, Д. Р. Денисов

Повышение передаваемой активной мощности в распределительной сети среднего напряжения нефтегазодобывающего предприятия..... 44

В. З. Манусов, Г. В. Иванов, Е. Ю. Кислицин

Анализ электродинамических усилий в высокотемпературных сверхпроводящих обмотках силовых трансформаторов 53

Д. М. Иванов, В. З. Манусов, Е. В. Иванова

Влияние высокотемпературного сверхпроводящего трансформатора на динамическую устойчивость 61

Проблемы и перспективы развития электроэнергетики 66

Е. А. Бурмистрова, Е. В. Иванова

Методы расчета, оценки и стандартизации кондуктивных электромагнитных помех в сетях среднего напряжения..... 66

В. В. Михуля, Е. А. Бурмистрова

Учет климатических нагрузок и механической устойчивости при проектировании ВЛ 110 кВ в условиях регионов, приравненных к районам Крайнего Севера 71

А. В. Брежнев

Анализ применения шинопроводов в жилых и муниципальных зданиях и сооружениях..... 78

П. И. Безымянная, Е. А. Бурмистрова

Аеро-Z в районах Крайнего Севера: решение для надежных ЛЭП в экстремальном климате 82

Л. В. Владимиров, А. Я. Бигун, П. А. Вырва

Определение уровня грозовых перенапряжений в электроэнергетических системах и защита от них 89

Л. В. Садовская, Н. Е. Вантензин

Использование программного комплекса RASTRWIN 3 для расчета баланса мощностей электроэнергетической системы 99

С. М. Слободчиков, В. А. Мансуров, А. А. Востриков

Проблемы управления режимами электроэнергетических систем 109

С. И. Наумова, А. Х. Сабитов

Распределительные устройства в условиях повышенных нагрузок..... 116

П. П. Дворцов, В. Г. Сальников, Т. В. Шитик, М. В. Рыжаков,

М. Е. Переладов

Оптимизация тока замыкания фазы на землю в электрических сетях среднего напряжения месторождений углеводородов в регионах Севера..... 121

С. В. Чернявский, Р. А. Кудряшов

Применение электроприводных газоперекачивающих агрегатов в газовой промышленности 130

<i>Е. В. Иванова, М. Н. Иванов</i> Резонанс на частоте высших гармоник.....	135
<i>М. С. Кондранин, Е. Ю. Кислицин</i> Проблемы оптимизации параметров электрических систем северных месторождений	140
<i>В. З. Манусов, А. В. Белосветов</i> Высшие гармоники в линиях электропередачи на Севере России.....	146
<i>К. П. Горбунов, В. А. Дмитриев</i> Проектирование электроснабжения месторождения углеводородов с эффективной сетевой автоматикой.....	152
Проблемы и перспективы развития телекоммуникаций.....	159
<i>А. И. Дёмко</i> Атлас фазомодулированных радиоимпульсных сигналов.....	159
<i>А. А. Асхадуллин, А. И. Дёмко</i> Исследование корреляционных свойств и устойчивости к погрешностям формирования последовательностей Задова-Чу.....	172
<i>К. А. Батенков</i> Определение класса сети Frame Relay на основе анализа коэффициента потери кадров и времени переноса	181
<i>М. Е. Емельянова, В. В. Рыжаков</i> Анализ спектральных характеристик ЭКГ при различной частоте сердечных сокращений	187
<i>В. В. Авдеев, А. Ю. Бабкин</i> Анализ влияния фрагментации DICOM-файлов на скорость передачи в условиях ограниченной сетевой доступности	192
<i>Л. Л. Семенова</i> Оптимизация маршрутов передачи телеметрических данных в системах мониторинга	198
<i>М. Р. Копейка</i> Экономическая эффективность систем питания базовых станций	205

<i>А. И. Гумерова, В. В. Рыжаков</i> Инфокоммуникационная система виртуализации бизнес-процессов компании.....	213
<i>Д. Ю. Ковалев, В. В. Рыжаков</i> Моделирование и оптимизация бизнес-процессов компании на базе мультисервисных инфокоммуникационных сетей.....	227
<i>Е. В. Гавриленко</i> Цифровой регистр сдвига.....	234
<i>Н. Д. Шиллер, В. В. Рыжаков</i> Гибридно-модульная серверная инфраструктура для облачных виртуальных сервисов.....	249

Научно-методические вопросы преподавания инфокоммуникаций и электроэнергетики в вузе..... 260

<i>А. Я. Бигун, Л. В. Владимиров</i> Организация обучения школьников рабочей профессии на базе университета.....	260
<i>Е. А. Бородина</i> Стендовый доклад как современная форма представления результатов исследовательской деятельности в вузе.....	269
<i>Г. В. Иванов, Е. Ю. Кислицин</i> Электрические машины: алгоритм исследовательской работы обучающихся вуза	288
<i>В. В. Рыжаков</i> Концепция трансформации инженерных основных профессиональных образовательных программ	297

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ 313

<i>О. В. Серебренников</i> Разработка электронной базы данных телекоммуникационных шкафов с применением технологии AIoT.....	313

Н. С. Руснак

Проектирование модуля автоматического мониторинга
воздушной линии электропередачи 321

Ю. А. Макаров

Объединение системы контроля и управления доступом и системы
оповещения с целью улучшения обратной связи и упрощения
контроля систем..... 327

С. Е. Тюмина, Е. А. Бурмистрова

FACTS-технологии в районах Крайнего Севера: компенсация
реактивной мощности и стабильности сетей..... 333

И. С. Агомيرзаев

Влияние композитных материалов на устойчивость ЛЭП к коррозии
и климатическим воздействиям 339

М. Е. Емельянова, В. В. Рыжаков

Метод детектирования R-пигов в ЭКГ-сигнале 344

Д. Д. Шапарин

Обзор беспроводных решений для интернета медицинских вещей 348

Е. В. Гавриленко

Разработка беспроводной инфокоммуникационной системы
телеметрии..... 357

В. Э. Черепанова, А. Ю. Бабкин

Сжатие данных, полученных с ультразвуковой решетки аппарата
ультразвуковой диагностики 364

С. В. Шулятицкий, В. В. Мищенко

Опτικο-электронные трансформаторы тока 368

Н. Е. Завьялов

Новый подход к электроснабжению малонаселенных районов..... 373

Д. М. Аришинский

Технология передачи данных по цепям электропитания PLC:
принципы, характеристики и перспективы развития..... 379

Ю. А. Путинцев

Сенсорная сеть с использованием промышленных IoT-шлюзов,
конвертирующих протоколы передачи данных 389

Н. А. Прислегин

Повышение отказоустойчивости резервной линии связи между
промышленными объектами компаний топливно-энергетического
комплекса 397

В. В. Рыжаков, Н. Н. Герасимова

Проблемы и перспективы внедрения тактильного интернета вещей
в инфокоммуникационных системах управления 402

Д. М. Аршинский

Сети промышленного интернета вещей в электроэнергетике..... 409

Д. А. Рыбин

Методы повышения энергоэффективности беспроводных датчиков
утечки метана в системах мониторинга газопроводов 420

А. Абдулазизов, С. П. Магомедов, В. С. Потупчик,

А. А. Стрекаловских, В. Е. Черенков, М. А. Чехлов.

Проектирование станции беспроводной передачи энергии..... 425

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

УДК 378.147

М. С. Кочергина, В. В. Рогонов, А. Я. Бигун

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

НАПРАВЛЕННАЯ ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИИ

г. Сургут

Аннотация. Обеспечение качества и надежности электроснабжения — одна из важнейших задач в распределении и передаче электроэнергии. Для сохранности электроснабжения при аварийных ситуациях необходимо как можно быстрее предпринять меры по снижению ущерба. Высокочастотные защиты предназначены для селективного отключения и изоляции поврежденных участков на линии электропередач, способствуя снижению риска распространения аварий. Использование высокочастотной связи позволяет передавать сигналы релейной защиты на большие расстояния с высокой скоростью. Ввиду развития электрических систем важность высокочастотных защит возрастает.

Ключевые слова: *направленная высокочастотная защита линии, НВЧЗ, пост высокочастотной защиты универсальный, ПВЗУ, блокирующий сигнал, полуконтакт основной защиты.*

M. S. Kochergina, V. V. Rogonov, A. Ya. Bigun¹

Surgut State University

DIRECTION HIGH FREQUENCY LINE PROTECTION

Surgut

Abstract. Ensuring the quality and reliability of power supply is one of the most important tasks in the distribution and transmission of electricity. In order to maintain power supply in emergency situations, it is necessary to take measures to reduce damage as quickly as possible. High-frequency protection is designed for selective shutdown and isolation of damaged sections on the power line, helping to reduce the risk of accidents spreading. The use of high-frequency communication allows relay protection signals to be transmitted over long distances at high speed. Due to the development of electrical systems, the importance of high-frequency protection is increasing.

Keywords: *directional high-frequency line protection, HFLP, universal high-frequency protection post, PVZU, blocking signal, main protection semi-set.*

С ростом протяженности сетей, увеличением передаваемой мощности и усложнением схем электроснабжения возрастает значение эффективных систем релейной защиты [5]. Одним из важных направлений в этой области является высокочастотная защита, обеспечивающая быстрое и избирательное отключение поврежденных участков ЛЭП. Благодаря использованию высокочастотных сигналов, передаваемых по тем же линиям, данная технология позволяет реализовать высокую скорость реагирования и точность локализации аварий, что существенно повышает надежность энергосистемы. Далее в работе будут рассмотрены наиболее часто встречающиеся высокочастотные защиты.

НВЧЗ — направленная высокочастотная защита линии, предназначена для защиты ЛЭП от всех видов КЗ. Работа НВЧЗ обеспечивается установкой двух шкафов (полукомплектов защиты) на концах линии. Зона работы НВЧЗ ограничена ТТ по концам линии [2].

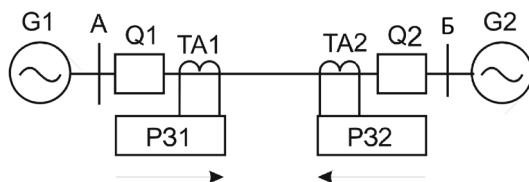


Рис. 1. Линия электропередач с двусторонним питанием

Работа НВЧЗ основана на сравнении направления мощности по концам защищаемой линии:

- если мощность на одном из концов линии направлена из линии к шинам (сквозное КЗ), то этот полукомплект посылает блокирующий сигнал, и защита не работает.
- если мощность по обоим концам линии течет от шин в линию (КЗ на линии), то блокирующий сигнал не посылается, и защита работает на отключение [3].

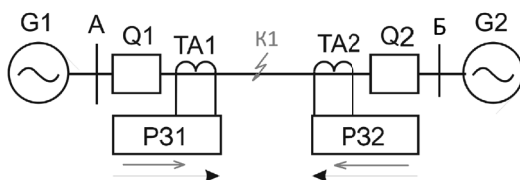


Рис. 2. Короткое замыкание в точке K1 на ЛЭП
с двусторонним питанием

При коротком замыкании в точке K1 мощности направлены от шин в линию, и защита работает на отключение.

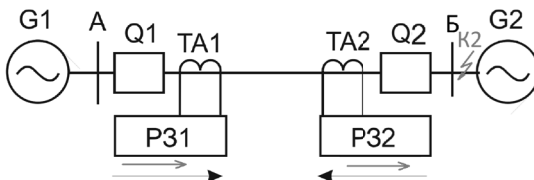


Рис. 3. Короткое замыкание в точке K2

При коротком замыкании в точке К2 мощности направлены от линии в шину и полукомплект посылает блокирующий сигнал, и защита не работает.

Блокирующий сигнал передается по защищаемой линии с одного ее конца на другой по ВЧ-каналу, защищаемой линии, при помощи высокочастотных передатчиков ПВЗУ.

ПВЗУ — пост высокочастотной защиты универсальный. ПВЗУ предназначен для передачи и приема сигналов в составе защит на электромеханических реле, а также в полупроводниковых и микропроцессорных защитах по ВЧ-каналам, организованным по защищаемым ВЛ.

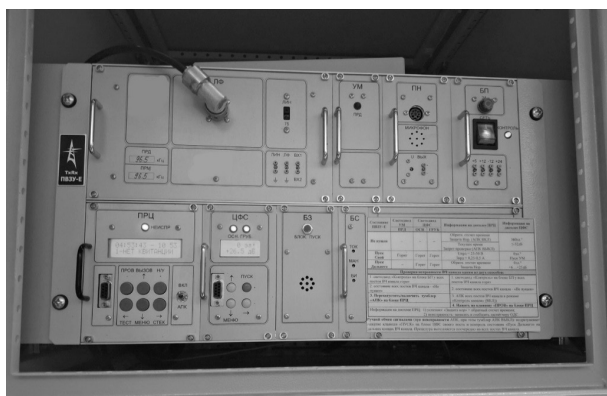


Рис. 4. Пост высокочастотной защиты универсальный

Рассмотрим линию электропередач с транзитными подстанциями, представленную на рис. 5.

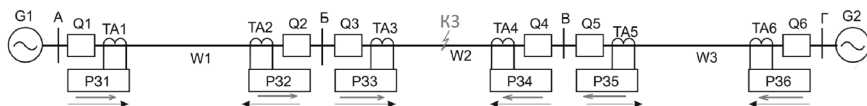


Рис. 5. Линия электропередач с двусторонним питанием с транзитными подстанциями

Такую линию передач можно рассматривать как три отдельных линии W1, W2, W3.

Для линии W1 при коротком замыкании в точке КЗ мощности на Р31 направлены от шин в линию, и защита должна работать на отключение, но на Р32 мощности направлены от линии в шину, полукомплект посылает блокирующий сигнал по ВЧ каналу, организованному по защищаемой линии электропередач W1, следовательно, защита не работает. Тогда при КЗ в точке КЗ выключатели Q1 и Q2 на линии W1 не устраняют короткое замыкание, и линия остается в работе, что повышает селективность релейной защиты [4].

Для линии W2 при коротком замыкании в точке КЗ мощности на Р33 и Р34 направлены от шин в линию, и защита работает на отключение выключателями Q3 и Q4.

Для линии W3 при коротком замыкании в точке КЗ мощности на Р36 мощности направлены от линии в шину, полукомплект посылает блокирующий сигнал, следовательно, защита не работает. Тогда при КЗ в точке КЗ выключатели Q5 и Q6 на линии W3 не устраняют короткое замыкание, и линия остается в работе, что повышает селективность релейной защиты.

Рассмотрим линию электропередач с отпаечными подстанциями, представленную на рис. 6.

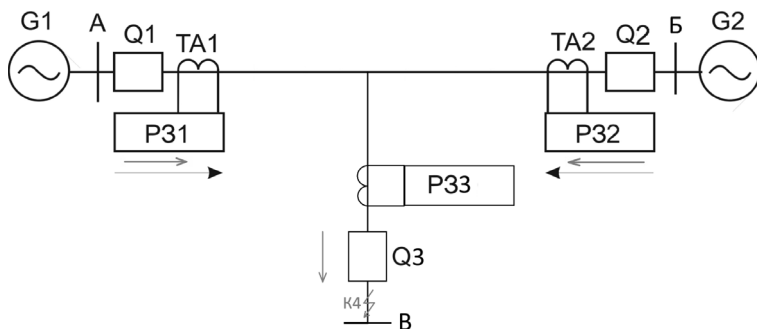


Рис. 6. Линия электропередач с двусторонним питанием с отпаечными подстанциями

При возникновении короткого замыкания в точке К4 мощности на Р31 и Р32 направлены от шин в линию, и защита должна работать на отключение, но для обеспечения селективности релейной защиты, следует отключить выключатель Q3. Для этого используется блокирующий комплект типа ПДЭ.

Панель предназначена для действия на отключение высоковольтных выключателей при всех видах короткого замыкания на защищаемой линии и для посылки высокочастотного сигнала блокировки на противоположные концы линии при коротком замыкании вне защищаемой зоны (за трансформатором, при внешнем коротком замыкании) [1]. Защита по принципу действия является ВЧ-защитой с ненаправленным пуском передатчика от чувствительных измерительных органов. Измерительные органы защиты реагируют на появление несимметрии в сети, скачок тока, изменение сопротивления ВЛ. При внешнем коротком замыкании на одном из полуккомплектов защиты, направление мощности на котором в сторону шин из линии, вырабатывается ВЧ-сигнал блокировки. Принятый из линии или посылаемый в линию ВЧ-сигнал блокировки действует на запрет срабатывания защиты. Поэтому при внешнем КЗ оба полуккомплекта защиты не срабатывают на отключение линии электропередач.

Высокочастотная защита линий электропередач представляет собой одно из наиболее эффективных решений для повышения надежности и безопасности энергосистем. Она обеспечивает быстрое и избирательное отключение поврежденных участков, сводя к минимуму последствия аварийных ситуаций и снижая риск масштабных отключений. Современные технологии позволяют совершенствовать методы передачи и обработки высокочастотных сигналов, расширяя функциональные возможности защитных устройств. В условиях растущих требований к устойчивости энергоснабжения роль высокочастотной защиты будет только возрастать, занимая ключевое место в комплексной системе релейной защиты и автоматики.

Список использованной литературы

1. 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. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 15.04.2025). — Текст: электронный.

2. ГОСТ Р 70775-2023. Релейная защита и автоматика. Направленная высокочастотная защита линий электропередачи классом напряжения 110–220 кВ: Национальный стандарт Российской Федерации. Издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 июня 2023 г. N 375-ст. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1301918432> (дата обращения: 15.04.2025). — Текст: электронный

3. ГОСТ Р 52735-2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ. Издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 июля 2007 г. N 173-ст. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 15.04.2025). — Текст: электронный.

4. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 // [elec.ru](https://www.elec.ru) электротехнический интернет-портал. — URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (дата обращения: 25.03.2023). — Текст: электронный.

5. Смыков, Ю. Н. Аспекты практики при изучении электротехнических дисциплин / Ю. Н. Смыков, С. В. Горелов. // 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. —

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50103953> (дата обращения: 15.04.2025). — Текст: электронный.

УДК 621.31

***Н. А. Кочуров¹, В. Г. Сальников¹, Е. Ю. Кислицин¹, Е. В. Иванова²,
М. Н. Романов², Д. М. Иванов³***

¹ БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

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

³ ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
г. Новосибирск

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются методы повышения надежности систем электроснабжения путем внедрения композитных опор и самонесущего изолированного провода для повышения надежности воздушной линии электропередачи напряжением 10 кВ как элемента электроэнергетической системы в регионах с суровыми климатическими условиями. Рассмотрена математическая модель повышения надежности исследуемых способов.

Ключевые слова: *воздушная линия электропередачи, показатели надежности электроснабжения, повышение надежности, композитные материалы, самонесущий изолированный провод, месторождения углеводородов, Восточная Сибирь, система электроснабжения, электроэнергетическая система, экономическая эффективность.*

***N. A. Kochurov¹, V. G. Salnikov¹, E. Yu. Kislicin¹, E. V. Ivanova²,
M. N. Romanov², D. M. Ivanov³***

¹ Surgut State University, Surgut

² Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

³ Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM FOR HYDROCARBON DEPOSITS IN EASTERN SIBERIA

Surgut

Abstract. The article discusses methods for improving the reliability of power supply systems by introducing composite supports and self-supporting insulated wire to improve the reliability of a 10 kV overhead power line as an element of the electric power system in regions with harsh climatic conditions. A mathematical model for increasing the reliability of the methods under study is considered.

Keywords: *overhead power transmission line, indicators of power supply reliability, reliability improvement, composite materials, self-supporting insulated wire, hydrocarbon deposits, Eastern Siberia, power supply system, electric power system, economic efficiency.*

Актуальность. Месторождения углеводородов Восточной Сибири играют ключевую роль в энергетической безопасности Российской Федерации. Одним из таких является Талаканская группа нефтегазовых месторождений, расположенная в Республике Саха (Якутия), которая сталкивается с рядом сложностей в обеспечении электроэнергией, обусловленных географической удаленностью, экстремальными климатическими условиями и спецификой нефтедобывающей отрасли. Основные проблемы включают:

1. Географические вызовы. Удаленность от централизованной энергосистемы ввиду разрозненности и труднодоступности месторождений, в основном малого и среднего размера, что делает

подключение к единой энергосистеме России экономически нецелесообразным.

2. Климатические вызовы. Экстремальные температуры, в зимний период времени опускающиеся ниже минус 50°C, что приводит к повышенным нагрузкам на оборудование, рискам обледенения линий электропередачи (далее — ЛЭП) и необходимости использования морозоустойчивых материалов. Также для региона характерна деформация грунтовых пород из-за таяния мерзлоты, что приводит к повреждению опор ЛЭП и фундаментов энергетических объектов.

3. Зависимость от дизельной генерации. Высокая стоимость энергии ввиду использования в качестве основного источника электроэнергии дизельных генераторов. Транспортировка топлива в удаленные районы увеличивает себестоимость электрической энергии в 3–5 раз из-за логистических сложностей с его доставкой, так как она возможна только по зимникам или воздушным транспортом, что ограничивается коротким навигационным периодом.

Энергетические проблемы Талаканской группы месторождений требуют комплексного подхода, сочетающего в себе инновационные технологии, а повышение надежности энергосистемы — критически важная задача для минимизации перерывов в электроснабжении и снижения эксплуатационных затрат на обслуживание энергосетевого хозяйства. Текущая система электроснабжения включает в себя дизельные электростанции мощностью 2–10 МВт, воздушные ЛЭП напряжением 6 (10) кВ на деревянных или металлических опорах и распределительные подстанции с трансформаторами 6 (10)/0,4 кВ. Недостатками данной системы являются частые обрывы линий из-за обледенения проводов и ветровых нагрузок, коррозия металлических опор в условиях вечной мерзлоты, каскадные отказы воздушных ЛЭП.

Методы повышения надежности. Для повышения надежности электроснабжения месторождений углеводородов необходимо использовать новые технологии в проектировании. Одной из таких

технологий являются композитные материалы, при применении которых для опор воздушных линий значительно повышается устойчивость к коррозии и механическим нагрузкам (по сравнению с традиционными материалами). Несмотря на большие капиталовложения, в сравнении с «классическими» опорами в долгосрочной перспективе применение композитных опор способствует значительной экономии ресурсов за счет снижения затрат на техническое обслуживание. Кроме того, они обладают меньшим весом и размером, что снижает затраты на строительно-монтажные работы и их транспортировку [1]. Также одним из вариантов является применение самонесущего изолированного провода (далее — СИП), к существенным достоинствам которого можно отнести высокую надежность в электроснабжении, безопасность при обслуживании, надежность в зонах активного обледенения проводов, уменьшение гололедных и ветровых нагрузок на опоры, а также снижение эксплуатационных затрат, вызванное отсутствием необходимости в расчистке просеки в процессе эксплуатации линии [2].

Произведем моделирование надежности систем электроснабжения со следующими исходными параметрами: протяженность ЛЭП — 10 км, средняя электрическая нагрузка — 5 МВт. Математическая модель расчета показателей надежности системы электроснабжения основана на использовании следующих ключевых показателей:

1. System Average Interruption Duration Index:

$$SAIDI = \frac{\sum (N_i \cdot t_i)}{N_{\text{общ}}} [\text{ч/год}],$$

где N_i — количество потребителей в i -м отключении, t_i — длительность i -го отключения.

2. System Average Interruption Frequency Index:

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_{\text{общ}}} [\text{событий/год}]$$

3. Availability (Доступность):

$$Availability = \left(1 - \frac{SAIDI}{8760}\right) \times 100\%$$

4. Потери энергии:

$$\Delta P = k_{\text{техн}} + \frac{SAIDI}{8760} \times 100\%,$$

где $k_{\text{техн}}$ — технологические потери.

Результаты расчетов сведены в таблице 1.

Таблица 1. — Техничко-экономическое сравнение исследуемой модели

Вариант	Интенсивность отказов, λ	Среднее время восстановления, ч	SAIDI, ч/год	SAIFI, событий/год	Availability, %	Потери энергии, %
Базовый	0,15	4,2	8,5	4,2	92,4	20
Композитные опоры	–20%	–15%	6,1	3,0	94,8	20
СИП	–40%	–20%	5,3	2,5	95,6	5
Композитные опоры и СИП	–60%	–35%	3,7	1,8	97,2	5

Внедрение СИП и композитных опор снижает SAIDI на 56% и повышает Availability до 97.2%. Наибольший эффект достигается при комбинированном использовании решений. Техничко-экономическое сравнение показателей для исследуемой модели системы электроснабжения произведено для периода в 10 лет и приведено в таблице 2 [3]. Комплексное применение методов повышения надежности сокращает эксплуатационные затраты на 58% и демонстрирует

наилучший показатель чистой приведенной стоимости при сроке окупаемости порядка 5 лет.

Таблица 2. — Техничко-экономическое сравнение исследуемой модели

Вариант	Капитальные затраты, млн руб.	Эксплуатационные затраты, млн руб./год	Чистая приведенная стоимость, млн руб.	Срок окупаемости, лет
Базовый	0	120	–960	-
Композитные опоры	60	90	–720	6,5
СИП	40	70	–580	4,2
Композитные опоры и СИП	100	50	–450	5,1
Примечания: 1. Капитальные затраты на композитные опоры приняты 1,2 млн руб./км, на СИП — 0,8 млн руб./км. 2. Эксплуатационные затраты приняты для ремонта — 40 млн руб./год., топлива — 80 млн руб./год. 3. Учтено снижение эксплуатационных затрат на 30% для СИП и 40% для композитных опор				

Закключение. Построение энергетической системы с ЛЭП на базе композитных материалов наиболее перспективно в северных районах Российской Федерации, в местностях, отличающихся многолетнемерзлыми грунтами. Модернизация электроснабжения месторождений с применением инновационных материалов и технологий не только повышает надежность, но и обеспечивает долгосрочную экономию. Композитные опоры увеличивают устойчивость ЛЭП к экстремальным температурам, а СИП снижает потери и аварийность. Предложенные решения доказали свою эффективность

как в математической модели, так и в экономических расчетах. В качестве рекомендаций предлагается внедрять СИП на всех участках ЛЭП для быстрого эффекта, а композитные опоры использовать на критических отрезках трасс (например, в зонах, подверженных максимальным климатическим вызовам).

Список использованной литературы

1. Кочуров, Н. А. Повышение надежности воздушных линий электропередачи 10 кВ путем внедрения композитных опор / Н. А. Кочуров, Е. Ю. Кислицин // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : сборник трудов IV Международной научно-практической конференции (Сургут, 20–21 апреля, 2023 года). — Москва : Знание-М, 2023. — С. 122–129.

2. Кочуров, Н. А. Применение самонесущих изолированных проводов в системах электроснабжения глубинных скважин нефтяных месторождений в районе Ханты-Мансийского автономного округа — Югры / Н. А. Кочуров, Е. Ю. Кислицин // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва : Издательство «Знание-М», 2021. — С. 26–31.

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>

УДК: 621.316.97

И. Н. Соседов¹, Е. В. Иванова¹, Д. М. Иванов², В. Г. Сальников³

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

² ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
г. Новосибирск

³ БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ГРАНИЦЫ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ КОНДУКТИВНОЙ
НИЗКОЧАСТОТНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПОМЕХИ
ПО КОЭФФИЦИЕНТУ n -Й ГАРМОНИЧЕСКОЙ
СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

г. Сургут

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме распространения кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех по коэффициенту n -ой гармонической составляющей напряжения (ЭМП $\delta K_{U(n)}$) в береговых электрических сетях общего назначения, возникающих при работе электроприемников с нелинейными характеристиками. Описаны основные каналы проникновения кондуктивных низкочастотных ЭМП по $K_{U(n)}$ в электросеть. Рассмотрен алгоритм обнаружения границы зоны влияния помех по $K_{U(n)}$ в электроэнергетической системе, который был реализован в представленном сертифицированном программном обеспечении.

Ключевые слова: *электромагнитная совместимость, электромагнитная помеха, техническое средство, гармоническое воздействие, зона влияния.*

I. N. Sosedov¹, E. V. Ivanova¹, D. M. Ivanov², V. G. Salnikov³

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

² FSFEI HE «Novosibirsk State Technical University», Novosibirsk

³ «Surgut State University», Surgut

THE BOUNDARIES OF THE ZONE OF INFLUENCE OF CONDUCTIVE LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE BY THE COEFFICIENT OF THE n -TH HARMONIC COMPONENT OF THE VOLTAGE IN THE ELECTRIC POWER SYSTEM

Surgut

Abstract. The article is devoted to the urgent problem of the propagation of conductive low-frequency electromagnetic interference by the coefficient of the n -th harmonic component of voltage ($\text{EMI } \delta K_{U(n)}$) in general-purpose coastal electric networks that occur during the operation of electric receivers with nonlinear characteristics. The main channels of penetration of conductive low-frequency EMIs along $K_{U(n)}$ into the power grid are described. An algorithm for detecting the boundary of the $K_{U(n)}$ interference zone in an electric power system, which was implemented in the presented certified software, is considered.

Keywords: *electromagnetic compatibility, electromagnetic interference, technical means, harmonic impact, zone of influence.*

Кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха (ЭМП) $\delta K_{U(n)}$ по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения является локальным параметром электромагнитной обстановки в ЭЭС. Распространяясь по проводникам и трансформируясь через силовые трансформаторы, проникает в смежные электрические сети, формирует зону влияния. Согласно ГОСТ Р 50397-92, это область пространства, в пределах которой уровень ЭМП превышает допустимый. Каждая $\delta K_{U(n)}$ имеет свою зону влияния, зависящую от допустимого уровня ЭМП и места возникновения в конкретной сети ЭЭС, а также от параметров распределения

(математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение) и вероятности появления.

На рис. 1 приведена физико-логическая схема преобразования помехи $\delta K_{U(n)}$ при проникновении из сети 0,4 кВ (передающая система) в смежную сеть 10 кВ (приемная система). Основным влияющим на преобразование элементом сети является электромагнитный аппарат (трансформатор), который содержит несколько индуктивно связанных электрических контуров. Электромагнитные процессы преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в другое являются физической причиной неравенства $\delta K_{U(n)} > \delta K'_{U(n)}$.

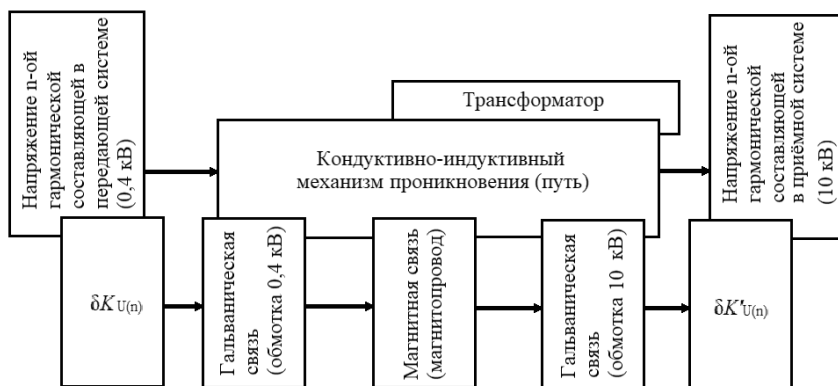


Рис. 1. Физико-логическая схема преобразования помехи $\delta K_{U(n)}$ передающей системы в помеху $\delta K'_{U(n)}$ приемной системы

На рис. 2 представлены результаты мониторинга уровня электромагнитных помех, выраженные через изменение коэффициента $\delta K_{U(5)}$ для пятой гармонической составляющей напряжения. Исследуемый участок представляет собой распределительную сеть 0,4 кВ куста № 17, расположенного в районе Тевлинско-Руссинского нефтегазоконденсатного месторождения (Ханты-Мансийский автономный округ). График отражает поведение ЭМП в течение полного

цикла наблюдений, демонстрируя характерные суточные и технологические колебания параметра. Эта помеха характеризуется математическим ожиданием $M[(\delta K_{U(5)})] = 10,7\%$ и вероятностью появления $P(\delta K_{U(5)}) = 1,0$ за период наблюдения длительностью в одну неделю; превышает нормально допустимое значение (таблица 1) коэффициента $K_{U(5)}$ в 1,78 раз. При этом в сети среднего напряжения этого месторождения (6 кВ) величина $\delta K_{U(5)}$ находится в пределах $2 < \delta K_{U(5)} < 4\%$ и не вызывает нарушения ЭМС технических средств.

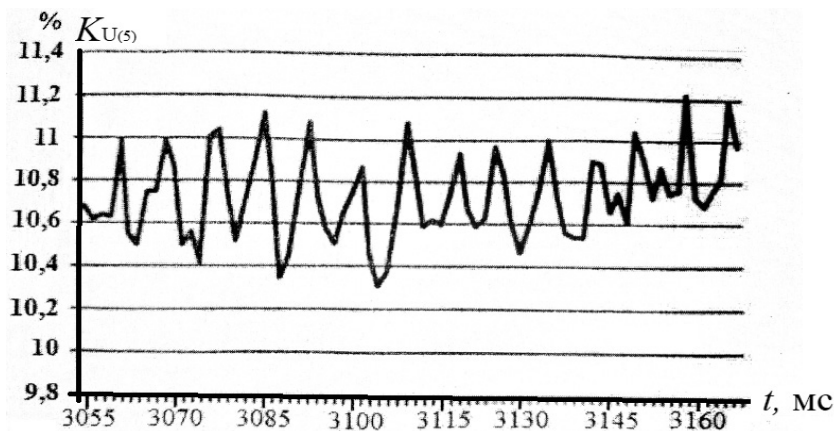


Рис. 2. Изменение коэффициента $K_{U(5)}$ для пятой гармонической составляющей напряжения в распределительной сети 0,4 кВ подстанции куста №17 (Тевлинско-Руссинское месторождение). Временной интервал анализа: 3055–3160 мс

При подключении новых потребителей к СЭС проводится экспертиза, в ходе которой устанавливаются технические условия в точке технологического присоединения. В процессе подключения к сети общего назначения особенно важно иметь точную информацию о границах зоны влияния кондуктивной низкочастотной ЭМП $\delta K_{U(5)}$ путем измерения и получения расчетных значений в программном

обеспечении. Полноценность и метрологическая точность экспертной оценки находятся в прямой зависимости от полноты информационно-аналитического обеспечения в виде первичных данных, математических моделей и нормативных документов [1].

Таблица 1. — Установленные нормы для коэффициентов $K_{U(n), n}$ нечетных гармоник напряжения (не кратных трем), %

Порядок гармонической составляющей n	Напряжение электрической сети, кВ			
	0,38	6–25	35	110–220
5	6,0	4,0	3,0	1,5
7	5,0	3,0	2,5	1,0
11	3,5	2,0	2,0	1,0
13	3,0	2,0	1,5	0,7
17	2,0	1,5	1,0	0,5
19	1,5	1,0	1,0	0,4
23	1,5	1,0	1,0	0,4
25	1,5	1,0	1,0	0,4
>25	1,5	1,0	1,0	0,4

Экспертиза осуществляется при вероятно-неопределенном уровне информационного обеспечения на стадии проектных решений, когда СЭС еще не построена, известно множество вариантов поведения электроприемников при нестандартных значениях показателей КЭ, но неизвестны достоверно параметры этих показателей. Уровень неопределенности можно снизить, если известна степень ослабления распространения высших гармоник напряжения по смежным сетям. В [1] эта степень представлена критерием (признаком) λ , на основании которого можно определить границы зоны влияния. Основное назначение критерия — исключение грубых ошибок (промахов) при экспертизе. Определение этого критерия относится к задачам на отыскание наибольших или наименьших

значений величин, методика решения которых разработана подробно [1, 4]. В свете этого математическая модель нашей задачи представляется зависимостью:

$$\lambda = \varphi \left(\frac{\delta K_{U(n),np}}{\delta K_{U(n),п}} \right), \quad (1)$$

где $\delta K_{U(n),np}$, $\delta K_{U(n),п}$ — соответственно кондуктивная низкочастотная ЭМП по коэффициенту $K_{U(n)}$ в приемной и передающей системе.

В любой электрической сети ЭЭС между помехой $\delta K_{U(n)}$ и интегральным показателем сети S_k (полная мощность симметричного трехфазного КЗ) существует жесткая связь вида $\delta K_{U(n)} = (1/S_k)$ [3–5].

Учитывая эту особенность электромагнитного процесса искажения синусоидальной формы кривой напряжения в сети [3, 6], методами математического анализа получена формула для определения наибольшего значения критерия:

$$\lambda \approx \sqrt{\frac{S_{к,п}}{S_{к,np}}} \approx \frac{\delta K_{U(n),np}}{\delta K_{U(n),п}}. \quad (2)$$

Относительные ошибки расчетов критерия λ по этой формуле с вероятностью 0,95 составляют $\pm 0,3$ [4, 5].

С учетом разработанной математической модели (1, 2), был разработан алгоритм [7] и несколько программ для ЭВМ [8, 9] для решения задачи по определению границы зоны влияния ЭМП по $K_{U(n)}$. Программный интерфейс обеспечивает отображение результатов измерений: в числовом и процентном выражении, а также графически (гистограмма, осциллограмма). Графическое представление данных в программе позволяет оперативно оценить соответствие коэффициента $K_{U(n)}$ требованиям по обеспечению ЭМС.

Рассмотрим подробнее функциональные возможности программ на примере программы для ЭВМ по определению $K_{U(n)}$ [7].

Интерфейс программы (рис. 3) включает функциональное окно «Ввод данных», где заданы нормально и предельно допустимые значения гармоник соответствующих нормам ГОСТ 32144-2013.

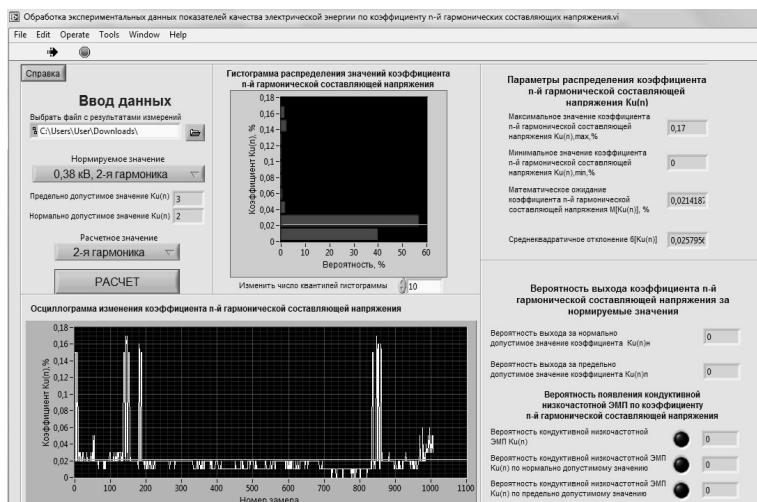


Рис. 3. Окно программы с результатами обработки гармонических составляющих напряжения (фаза A)

Программа визуализирует динамику изменения значений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в функциональном блоке «Осциллограмма». Данное программное обеспечение также автоматически вычисляет параметры $K_{U(n)}$ и для остальных гармоник. Интерфейсы программы с результатами обработки $K_{U(n)}$ для других гармоник представлены на рис. 4 и 5.

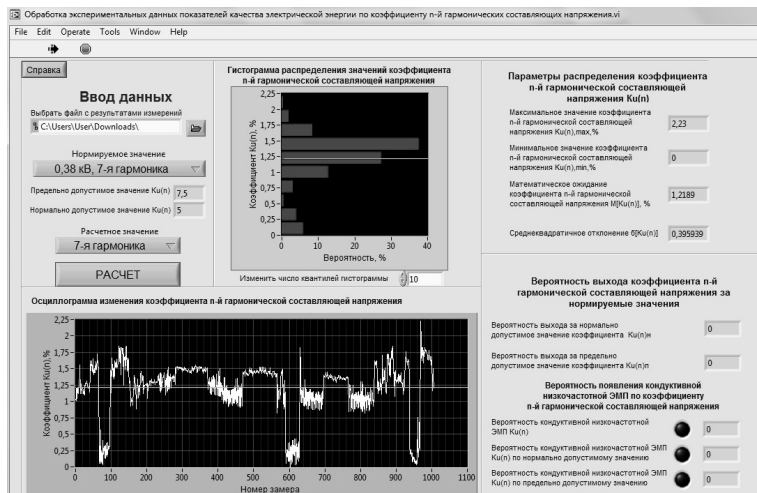


Рис. 4. Интерфейс программы с результатами обработки по коэффициенту 7-й гармонической составляющей напряжения

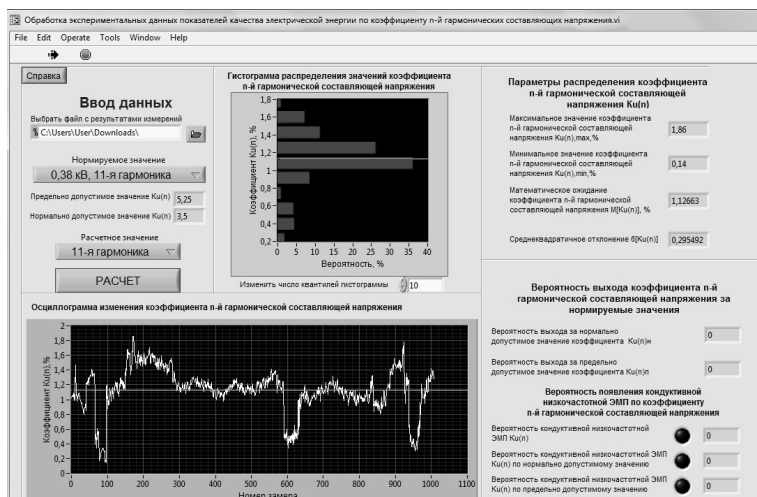


Рис. 5. Интерфейс программы с результатами обработки по коэффициенту 11-й гармонической составляющей напряжения

Резюме. Кондуктивная низкочастотная ЭМП $\delta K_{U(n)}$ по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения, ее зона влияния подлежат измерению, прогнозированию, регулированию и при необходимости подавлению с целью обеспечения ЭМС сети в соответствии с ГОСТ 32144-2013. С использованием математических моделей (1, 2) разработаны электронные ресурсы и программы для ЭВМ, получившие государственную регистрацию [7, 8, 9]. Активное внедрение программного обеспечения для мониторинга и прогнозирования ЭМО в электроэнергетической системе обеспечивает повышение качества электрической энергии и сокращает количество технологических нарушений, а также время на их обнаружение и устранение.

Понимание физических электромагнитных процессов в электрических сетях и использование разработанного программного обеспечения, основанного на математическом моделировании, позволяет:

- 1) точно определить зону влияния кондуктивных низкочастотных ЭМП $\delta K_{U(n)}$;
- 2) еще на этапе проектирования минимизировать воздействие ЭМП $\delta K_{U(n)}$ за счет выполнения оптимизации топологии сети, подбора фильтрующих устройств и регулирования режимов работы электроэнергетической системы;
- 3) обеспечить эффективный режим работы электроэнергетической системы в соответствии нормативным требованиям (ГОСТ 32144-2013) с помощью анализа уровня гармонических искажений и мониторинга сети для своевременного подавления ЭМП;
- 4) развивать теорию ЭМС в соответствии с современными технологическими вызовами.

Список использованной литературы

Книги

1. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях 6–10 кВ / Е. В. Иванова, А. А. Руппель; под ред. В. П. Горелова. — Омск : Омский филиал НГАВТ, 2004. — 284 с.

2. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : Учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов, В. Л. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2014. — 701 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-3210-2. — EDN TPFERK.

3. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е. В. Иванова; под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека; М-во транспорта Российской Федерации, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Новосибирская гос. акад. водного транспорта», М-во промышленности и энергетики Российской Федерации, Российское акционерное о-во энергетики и электрификации «Единая энергетическая система России», Открытое акционерное о-во «Сибирский научно-исслед. ин-т энергетики». — Новосибирск : ФГОУ ВПО «Новосибирская гос. акад. водного транспорта», 2006. — 432 с. — ISBN 5-8119-0201-0. — EDN QMJPSJ.

4. Данилов, Г. А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов [и др.]. — Москва–Берлин : Директ-Медиа, 2015. — 558 с. — ISBN 978-5-4475-5859-8. — EDN VQEJLX.

5. Ежков, В. В. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях. Учеб. пособие для электроэнерг. спец. / В. В. Ежков, Г. К. Зарудский, Э. Н. Зуев и др.; под ред. В. А. Строева. — М. : Высш. шк., 1999. — 352 с.

6. Сальников, В. Г. Эффективные системы электроснабжения предприятий цветной металлургии / В. Г. Сальников, В. В. Шевченко. — М. : Металлургия, 1986. — 320 с.

Электронные ресурсы

7. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 24171. Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик,

Д. А. Зубанов, Н. В. Зубанова, Д. М. Иванов, Д. Ю. Руди, А. А. Руппель, В. Г. Сальников.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2021613934. Программа для определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по коэффициенту n -й гармонической составляющей напряжения / А. И. Антонов, Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, Н. В. Зубанова, Д. М. Иванов, Е. В. Иванова, А. А. Руппель, В. Г. Сальников — № 202161063; заявл. 21.01.21, опубл. 16.03.21. Бюл. № 3. — 1 с.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016616351. Программа для оценки влияния суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения на качество электрической энергии./ Ю. М. Денчик, Д. А. Зубанов, А. А. Руппель, Н. В. Зубанова, А. Н. Антонов ; Правообладатели— авторы. Зарегистрировано 09.06.2016.

УДК 621.316.11

В. З. Манусов¹, Г. В. Иванов², А. С. Вычужанин²

¹ ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,
г. Ханты-Мансийск

² БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОДА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 6 кВ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА КЛАСС НАПРЯЖЕНИЯ 20 кВ

г. Сургут

Аннотация. В работе исследуется перевод распределительных сетей нефтегазовых месторождений с 6 кВ на 20 кВ для снижения потерь электроэнергии. На примере реальной системы электроснабжения

показано, что такой переход уменьшает суточные потери в 11,1 раза (с 367,9 до 33,1 МВт·ч) и повышает КПД передачи с 95,7% до 99,6%.

Ключевые слова: *распределительная сеть среднего напряжения, электроснабжение, нефтегазовые месторождения, напряжение классом 20 кВ, потери электрической энергии.*

V. Z. Manusov¹, G. V. Ivanov², A. S. Vychuzhanin³

¹ Ugra State University, Khanty-Mansiysk

² Surgut state University, Surgut

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF SWITCHING 6 kV DISTRIBUTION NETWORKS OF OIL AND GAS FIELDS TO A VOLTAGE CLASS OF 20 kV

Surgut

Abstract. The paper examines the transfer of distribution networks of oil and gas fields from 6 kV to 20 kV to reduce electricity losses. Using the example of a real power supply system, it is shown that such a transition reduces daily losses by 11.1 times (from 367.9 to 33.1 MWh) and increases transmission efficiency from 95.7% to 99.6%.

Keywords: *medium voltage distribution network, power supply, oil and gas fields, voltage class 20 kV, loss of electrical energy.*

Модернизация и опережающий рост таких отраслей промышленности, как электроэнергетика, позволят России ускорить темпы роста экономики и повысить свою конкурентоспособность на международной арене. Для обеспечения эффективного развития предприятий нефтегазового сектора необходимы определенные условия. В первую очередь это поиск новых технических решений.

Как правило, для электроснабжения объектов нефтегазодобывающей отрасли при обустройстве отдаленных месторождений применяются электростанции собственных нужд, использующие

в качестве топлива нефтяной газ. Распределение электрической энергии по кустовым станциям производится по сетям среднего напряжения.

Установка новых насосных станций требует строительства новых линий электропередачи, что не всегда выгодно и возможно. В ряде случаев приходится достраивать существующий фидер. Следовательно, открытие новых месторождений зачастую приводит к росту протяженности распределительных сетей 6 (10) кВ, увеличению их нагрузки. Как следствие, возрастают потери электрической мощности, снижается чувствительность релейной защиты.

В свою очередь указанные выше нежелательные эффекты не позволяют выполнить объединение энергосистем разных месторождений по сетям 6 (10) кВ, для этого приходится строить линии электропередачи напряжением 35 кВ, что требует строительства повышающих (генераторное напряжение составляет 6 или 10 кВ) и понижающих подстанций.

Для тех потребителей, для электроснабжения которых уже неприменимо напряжение 6 и 10 кВ, а использование класса напряжения 35 кВ не представляется экономически обоснованным вследствие высоких капиталовложений, не компенсируемых экономической выгодой от снижения потерь, в значительном количестве проектов предлагается применение класса напряжения 20 кВ.

Выбор класса напряжения 20 кВ при реконструкции существующих сетей электроснабжения и строительстве новых обосновывается следующими основными положениями, такими как:

- меньшая стоимость оборудования по сравнению с классом напряжения 35 кВ. Класс напряжения 35 кВ требует более капиталоемкого оборудования и проводов, затраты на которые могут быть обоснованы только при большой плотности электрических нагрузок;
- возможность использования фундаменты под оборудование классом напряжения 6, 10 кВ под оборудование 20 кВ.

Данное обстоятельство уменьшает затраты при реконструкции электроустановок 6 (10) кВ;

- возможность применения опор ВЛ 6 (10) кВ для передачи ЭЭ с использованием класса напряжения 20 кВ, в этом случае необходимо применение дополнительных изоляторов.

В сетях электроснабжения месторождений углеводородов наиболее распространен класс напряжения 6, 35, 110 кВ. Перевод сетей 6 кВ на класс напряжения 20 кВ позволит добиться некоторых экономических эффектов, которые проиллюстрируем в примере ниже.

На рис. 1 приведена структурная схема электроснабжения нефтяного месторождения.

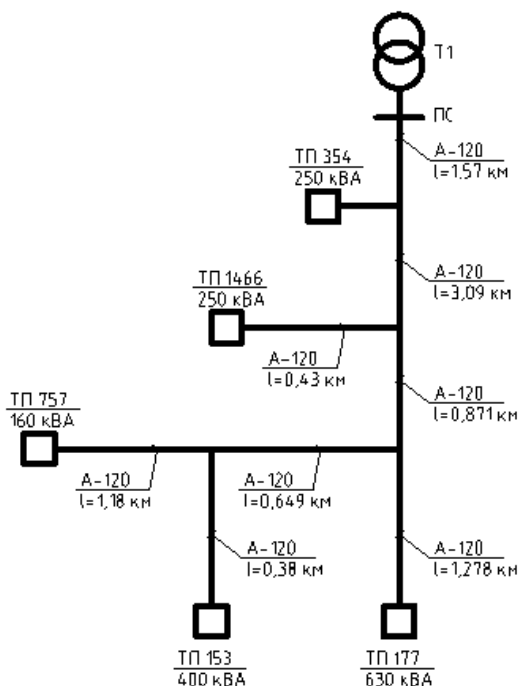


Рис. 1. Существующая схема электроснабжения нефтяного месторождения

От двухтрансформаторной подстанции ПС-110/6 кВ с трансформаторами мощностью 6,3 МВА электроснабжение кустов скважин осуществляется по линиям электропередачи 6 кВ, III категория надежности электроснабжения.

На каждом из кустов скважин находится КТПН-6/0,4 кВ, которая осуществляет трансформацию и распределение электрической энергии конечным потребителям. На рис. 1 в числителе приведен номер кустовой площадки, в знаменателе — номинальная мощность трансформатора в кВ·А.

Предполагается произвести реконструкцию сети электроснабжения с заменой применяемого класса напряжения с 6 на 20 кВ. Необходимые изменения в инфраструктуре для перехода на 20 кВ указаны в таблице 1.

Таблица 1. — Характеристика основных элементов сети электроснабжения

Элемент	Необходимые мероприятия
Подстанция 110 кВ	Установка повышающих трансформаторов 10/20 кВ
ЛЭП	Используются существующие опоры ВЛ 6 кВ, охранная зона для 6 и 20 кВ одного размера. Необходима установка дополнительных изоляторов
Кустовые КТПН	Установка понижающих трансформаторов 20 / 6 (10) кВ

Для каждого класса напряжения были выполнены расчеты потерь напряжения в линии и трансформаторах.

Потери в распределительных сетях складываются из:

– потерь в линиях электропередачи (ЛЭП):

$$\Delta W_{\text{лэп}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R t, \quad (1)$$

где

P — активная мощность линии, кВт;

Q — реактивная мощность линии, кВАр;

R — активное сопротивление линии, Ом;

t — время работы, ч.

– потерь в трансформаторах:

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{хх}} t + \Delta P_{\text{кз}} \left(\frac{S_{\text{ном}}}{S_{\text{нагр}}} \right)^2 \tau, \quad (2)$$

где

$\Delta P_{\text{хх}}$ — потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{\text{кз}}$ — потери короткого замыкания, кВт;

$S_{\text{нагр}}$ и $S_{\text{ном}}$ — нагрузочная и номинальная мощность трансформатора, кВА;

τ — время максимальных потерь, ч.

– суммарные потери в сети:

$$\Delta W_{\text{сум}} = \Delta W_{\text{лэп}} + \Delta W_{\text{тр}}. \quad (3)$$

Расчет потерь электрической энергии и его результаты представлены в таблицах 2–5.

Таблица 2. — Расчет мощности на участках линии и потерь в сети электроснабжения

Куст скважин 177	Показатель	Руст, кВт	Рр, кВт	Qр, кВАр	Sp, кВА	cosφ	T _{макс} , ч
Трансформатор 630-6/0,4 кВ	БА	5,301	3,71	1,80	4,12	0,90	-
	УИ	7,381	5,17	2,50	5,74	0,90	-
	Скв. добывающие	378	306,00	197,66	364,29	0,84	-
	эл. обогрев	0,87	0,87	0,00	0,87	1,00	-
	Сумма	391,6	315,75	201,96	374,81	0,84	-
	Компенсация	-	-	200,00	-	-	-
	Итог	391,6	315,8	1,96	315,8	1,000	6500

Трансформатор 250-6/0,4 кВ	Скв. нагнетательные	224,00	188,00	121,44	223,81	0,84	6500
	Скв. специальные	-	-	-	-	-	-
	Сумма	224,00	188,00	121,44	223,81	0,84	-
	Компенсация	-	-	100,00	-	-	-
	Итог	224,00	188,00	21,44	189,22	0,994	6500
	Всего	615,55	503,75	23,39	504,29	0,999	-

Таблица 3. — Характеристики линий

При 6 кВ U=6,3 кВ						
№ участка	длина, км	Сопротивление, Ом		Потоки мощности		
		Активное	Индуктивное	Полное	Активная, кВт	Реактивная, кВар
1	0,06	0,01	0,00	0,01	1015,80	1800,03
2	1,57	0,39	0,46	0,60	1015,33	179,89
3	3,09	0,78	0,90	1,19	984,97	156,09
4	0,87	0,22	0,25	0,34	815,35	102,52
5	1,28	0,32	0,37	0,49	503,74	23,40
ТП 630		0,003	0,014		503,740	23,400
При 20 кВ U=21 кВ						
1	0,06	0,01	0,00	0,01	1015,80	1800,03
2	1,57	0,39	0,46	0,60	1015,33	179,89
3	3,09	0,78	0,90	1,19	984,97	156,09
4	0,87	0,22	0,25	0,34	815,35	102,52
5	1,28	0,32	0,37	0,49	503,74	23,40
ТП 630		0,003	0,014		503,740	23,400

Таблица 4. — Потери в линиях

Потери напряжения, %		Потери мощности, кВт			Потери мощности, кВар		
На уч-ке	Сум-марная	Актив-ная	Отно-сит. акт.	Сум-марная	Реак-тивная	Относит. реакт.	Сум-марная
0,06	0,06	1,53	0,15	0,15	0,48	0,03	0,03
1,22	1,27	10,56	1,04	1,19	12,28	6,83	6,85
2,28	3,55	19,43	1,97	3,16	22,61	14,48	21,34
0,51	4,07	3,72	0,46	3,62	4,33	4,22	25,56
0,43	4,50	2,06	0,41	4,03	2,39	10,22	35,78
0,0046	4,501	0,019	0,004	4,031	0,087	0,372	36,150
0,01	0,01	0,14	0,01	0,01	0,04	0,00	0,00
0,11	0,11	0,95	0,09	0,11	1,11	0,61	0,62
0,21	0,32	1,75	0,18	0,28	2,03	1,30	1,92
0,05	0,37	0,33	0,04	0,33	0,39	0,38	2,30
0,04	0,40	0,18	0,04	0,36	0,22	0,92	3,22
0,0004	0,405	0,002	0,000	0,363	0,008	0,034	3,253

Таблица 5. — Суммарные потери электрической энергии в сети электроснабжения

Класс напряжения, кВ	Суточные потери электроэнергии в сети, МВт*ч	КПД передачи ЭЭ, %
6	367,9	95,7
20	33,1	99,6

Таким образом, перевод распределительных сетей среднего класса напряжения с 6 кВ на 20 кВ снижает потери электроэнергии в рассмотренной системе электроснабжения кустовых насосных станций в 11,1 раза и повышает КПД электропередачи до 99,6%. Решение особенно актуально для месторождений углеводородов с растущей нагрузкой, где переход на 35 кВ нецелесообразен.

Список использованной литературы

1. Григоращук, А. В. Целесообразность перехода распределительных электрических сетей 6–10 кВ на напряжение 20 кВ / А. В. Григоращук, Д. Н. Калошин // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. — 2023. — № 3 (75). — С. 165–172.
2. Атрашенко, О. С. Анализ опыта применения класса напряжения 20 кВ в распределительных сетях / О. С. Атрашенко // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. — 2020. — № 1 (30). — С. 43–47.
3. Король, О. В. Повышение напряжения до 20 кВ в распределительных электрических сетях / О. В. Король. — Текст : непосредственный // Актуальные проблемы энергетики. — 2017. — С. 122.
4. Пономарева, О. Л. Повышение напряжения до 20 кВ для распределительных электрических сетей России / О. Л. Пономарева // 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. 226–228.
5. Гуревич, В. И. Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы? / В. И. Гуревич // Электротехнический рынок. — 2012. — № 6 (36). — С. 62–66.

УДК 621.316.11

В. З. Манусов¹, Г. В. Иванов², Д. Р. Денисов²

¹ ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,
г. Ханты-Мансийск

² БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
г. Сургут

ПОВЫШЕНИЕ ПЕРЕДАВАЕМОЙ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

г. Сургут

Аннотация. Распределительные сети среднего и высокого напряжения критически важны для электроснабжения промышленных предприятий, в том числе нефтегазовой отрасли. В работе рассмотрены ключевые факторы, влияние которых снижает пропускную способность таких сетей: устаревшие проводники, недостаточная мощность трансформаторов, неравномерная нагрузка и влияние реактивной мощности.

Предложены меры по модернизации сетей, оптимизации режимов работы и внедрению современных технологий для увеличения передаваемой активной мощности и повышения надежности энергоснабжения.

Ключевые слова: *распределительные сети среднего напряжения, активная мощность, пропускная способность сети, надежность электроснабжения, реактивная мощность, нефтегазовая отрасль, модернизация энергосистем.*

V. Z. Manusov¹, G. V. Ivanov², D. R. Denisov²

¹ Ugra State University, Khanty-Mansiysk

² Surgut state University, Surgut

INCREASING THE TRANSMITTED ACTIVE CAPACITY IN THE MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK OF AN OIL AND GAS PRODUCING ENTERPRISE

Surgut

Abstract. Medium and high voltage distribution networks are critically important for the power supply of industrial enterprises, including the oil and gas industry. The paper considers the key factors that reduce the capacity of such networks: outdated conductors, insufficient transformer power, uneven load and the effect of reactive power.

Measures are proposed to modernize networks, optimize operating modes and introduce modern technologies to increase the transmitted active power and increase the reliability of energy supply.

Keywords: *medium voltage distribution networks, active power, network capacity, reliability of power supply, reactive power, oil and gas industry, modernization of energy systems.*

Распределительные сети среднего и высокого класса напряжения являются важным элементом энергетической инфраструктуры, обеспечивающим электроснабжение промышленных предприятий. В условиях растущего потребления электроэнергии и увеличения требований к качеству электроснабжения, связанного с модернизацией производственных процессов, внедрением новых технологий, задача повышения передаваемой активной мощности становится особенно актуальной.

Увеличение объемов добычи углеводородов и внедрение энергоемких технологий предъявляют повышенные требования к пропускной способности существующих сетей электроснабжения

предприятий нефтегазовой отрасли. Кроме того, в контексте нефтегазодобывающего предприятия, где системы электроснабжения обеспечивают работу критически важного оборудования, включая насосные и компрессорные станции, системы автоматики, недостаточная мощность сети может привести к ограничениям в добыче, аварийным режимам и значительным экономическим затратам.

Ограниченная пропускная способность существующих распределительных сетей среднего напряжения обусловлена несколькими факторами:

- существующие проводники не соответствуют современным требованиям по нагрузке: устаревшие материалы и конструкции приводят к значительным потерям энергии и требуют больших капитальных затрат для проведения текущих ремонтов, поскольку срок эксплуатации многих из них превышает 35 лет [1];
- неправильное распределение нагрузки по сети приводит к перегрузкам отдельных участков распределительных сетей, что негативно сказывается на надежности системы в целом;
- низкий коэффициент мощности увеличивает потери в токоведущих частях и снижает общую эффективность и надежность энергосистемы;
- многие предприятия продолжают использовать традиционные методы управления распределительными сетями, что ограничивает их возможности по оптимизации работы системы.

Соответственно, возможно увеличить пропускную способность существующих сетей среднего напряжения, заменив существующие провода ВЛ на провода с лучшими характеристиками или большего сечения. Однако замена проводов часто связана с высокими затратами и длительными перерывами электроснабжения большого числа потребителей. В связи с этим актуальными становятся методы, позволяющие повысить пропускную способность сетей без изменения их конструкции.

В представленной работе анализируются существующие подходы, такие как применение компенсирующих устройств, а также предлагается новый критерий для выбора оптимального решения [2].

Передаваемая по распределительным сетям полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

где S — полная мощность, передаваемая по электрическим сетям, кВА;

P — активная мощность, кВт;

Q — реактивная мощность, кВАр.

Представим передаваемую мощность в виде составляющих: полезная мощность (характеристика потребителя) и мощность потерь. Таким образом [2]:

$$P = \Delta P_{\text{л}} + P_{\text{н}}; \quad (2)$$

$$Q = \Delta Q_{\text{л}} + Q_{\text{н}}, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{л}}$, $\Delta Q_{\text{л}}$ — мощность активных, кВт, и реактивных потерь, кВАр;

$P_{\text{н}}$ — активная мощность потребителя, кВт;

$Q_{\text{н}}$ — реактивная мощность потребителя, кВАр.

Режим передачи потребителю всей мощности от источника питания характеризовался бы следующими параметрами: $P = P_{\text{н}}$, $Q = 0$.

Потери активной мощности в линии $\Delta P_{\text{л}}$ обусловлены физическими характеристиками проводов, а именно с активным сопротивлением линии $R_{\text{л}}$, которое в свою очередь зависит от сечения проводника, условий окружающей среды и др. В данном случае мы принимаем $R_{\text{л}}$ независимой величиной. Тогда наибольший интерес при повышении передаваемой активной мощности вызывает уменьшение реактивной мощности, потребляемой нагрузкой, — $Q_{\text{н}}$, а также уменьшение потерь реактивной мощности в линии, обусловленные ее реактивным сопротивлением $X_{\text{л}}$.

Потери активной мощности в линии определяются по выражению [2]:

$$\Delta P_{\text{л}} = R_{\text{л}} \frac{S_{\text{н}}^2}{U_2^2} = R_{\text{л}} \frac{P_{\text{н}}^2 + Q_{\text{н}}^2}{U_2^2} = \frac{R_{\text{л}} P_{\text{н}}^2}{U_2^2} + \frac{R_{\text{л}} Q_{\text{н}}^2}{U_2^2}, \quad (4)$$

где U_2 — напряжение на энергопринимающем устройстве потребителя (в конце линии), кВ.

Как видно из выражения (4), потери активной мощности в линии электропередачи зависят как от активной, так и реактивной мощности, передаваемой по сетям.

Предположим, что по сетям передается постоянный объем электрической энергии, выразим в относительных единицах активную нагрузку потребителя ($P_{\text{н}}\%$) [2]:

$$P_{\text{н}} \% = \frac{P_{\text{н}}}{S_{\text{н}}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{P_{\text{н}}^2 + Q_{\text{н}}^2}} \quad (5)$$

Тогда потери мощности в линии, учитывающие реактивную мощность, представляются через коэффициент мощности следующим образом:

$$P_{\text{л}} = \frac{P_{\text{н}}^2 R_{\text{л}}}{U_2^2 \cos^2(f_{\text{н}})}, \quad (6)$$

где $\cos(f_{\text{н}})$ — коэффициент мощности.

Поскольку сетевые компании оперируют параметром $\tan(f_{\text{н}})$, в дальнейшем заменим их с учетом выражений тригонометрии $\cos(f_{\text{н}})$.

$$\tan(f_{\text{н}}) = \frac{Q_{\text{н}}}{P_{\text{н}}} \quad (7)$$

Потери напряжения ΔU , обусловленные активным и реактивным сопротивлениями линии $R_{\text{л}}, X_{\text{л}}$:

$$\Delta U = \frac{P_{\text{н}} R_{\text{л}} + Q_{\text{н}} X_{\text{л}}}{U_2} \quad (8)$$

Тогда напряжение U_1 в начале линии:

$$U_1 = U_2 + \Delta U = U_2 + \frac{P_{\text{н}} R_{\text{л}} + Q_{\text{н}} X_{\text{л}}}{U_2} = \frac{U_2^2 + P_{\text{н}} R_{\text{л}} + Q_{\text{н}} X_{\text{л}}}{U_2}, \quad (9)$$

Выразим мощность нагрузки:

$$P_{\text{н}} = \frac{U_1 U_2 - U_2^2 - Q_{\text{н}} X_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} \quad (10)$$

Поскольку

$$Q_H = P_H \tan f_H; \quad (11)$$

$$X_L = R_L \tan f_L \quad (12)$$

Мощность нагрузки [2]

$$P_H = \frac{U_1 U_2 - U_2^2}{R_L (1 + \tan f_H \cdot \tan f_L)} \quad (13)$$

Соответственно, из формулы видно, что максимальная пропускная способность распределительных сетей наблюдается при выполнении хотя бы одного из условий:

- $\tan(f_H) = 0$, что достигается при полной компенсации реактивной мощности, потребляемой нагрузкой, $Q_H = 0$;
- $\tan(f_L) = 0$, что достигается при полной компенсации реактивного сопротивления линии, $X_L = 0$.

Тогда максимальная передаваемая мощность вычисляется следующим образом:

$$P_H = \frac{U_2 \Delta U}{R_L} \quad (14)$$

Учитывая вышеизложенную методику, выполним расчет распределительной сети (ВЛ 10 кВ) до компенсации реактивного сопротивления линии и реактивной мощности потребителя и после проведенных технических мероприятий по компенсации указанных параметров. Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Результаты расчетов демонстрируют снижение потерь активной мощности, повышение качества электроснабжения — отклонение напряжения от номинального на энергопринимающем устройстве потребителя в результате компенсации не превышает значений, регламентированных ГОСТ «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Таблица 1. — Расчет сети 10 кВ до компенсации реактивного сопротивления линии и реактивной мощности потребителя

Назначение линии		Расчетная нагрузка линии				Длина участка, км	Сопротивление участка сети		Результаты расчетов падения напряжения		
начало	конец	P, кВт	Q, кВАр	S, кВА	Ток, А		R, Ом	X, Ом	U нач. уч. сети, кВ	U конц. уч. сети, кВ	Откл-е от U* _{ном} , %
ЗРУ-10кВ ПС «№314» яч.3	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.10 (отп.на КТП-1-25)	2887,6	1180,2	3212,3	176,8	0,533	0,236	0,192	10,50	10,41	4,13
ВЛ-10кВ ф.»№К3» оп.10	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.15 (отп.на КТП-2-160)	2878,2	1176,5	3202,1	176,3	0,145	0,064	0,052	10,41	10,39	3,90
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.12	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.22 (отп.на КТП-3-160, КТП-4-160)	2817,8	1152,6	3137,2	172,7	0,630	0,279	0,227	10,39	10,29	2,89
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.21	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.39 (отп.на КТП-5-160, КТП-6-63)	2757,4	1128,8	3072,2	169,1	0,730	0,323	0,263	10,29	10,17	1,73
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.33	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.52 (отп.на КТП-7-160)	2673,2	1095,5	2981,7	164,1	0,460	0,204	0,166	10,17	10,10	1,02
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.43	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.84 (отп.на КТП-8-63)	2612,7	1071,6	2916,7	160,6	3,620	1,604	1,303	10,10	9,55	-4,51
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.98	ВЛ-10кВ ф. «№1» п.135 (отп.на КТП-9-160, КТП-10-63, КТП-11-100)	2589,0	1062,2	2891,1	159,2	6,010	2,662	2,164	9,55	8,59	-14,13

Таблица 2. — Расчет сети 10 кВ после компенсации реактивного сопротивления линии и реактивной мощности потребителя

Назначение линии		Расчетная нагрузка линии				Длина участка, км	Сопротивление участка сети		Результаты расчетов падения напряжения		
начало	конец	P, кВт	Q, кВАр	S, кВА	Ток, А		R, Ом	X, Ом	U нач. уч. сети, кВ	U конц. уч. кВ	откл-е от U _{ном} , %
ЗРУ-10кВ ПС «№314» яч.3	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.10 (отп.на КТП-1-25)	2887,6	170,2	3212,3	176,8	0,533	0,236	0,058	10,50	10,43	4,34
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.10	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.15 (отп.на КТП-2-160)	2878,2	166,5	3202,1	176,3	0,145	0,064	0,016	10,43	10,42	4,16
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.12	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.22 (отп.на КТП-3-160, КТП-4-160)	2817,8	142,6	3137,2	172,7	0,630	0,279	0,068	10,42	10,34	3,40
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.21	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.39 (отп.на КТП-5-160, КТП-6-63)	2757,4	118,8	3072,2	169,1	0,730	0,323	0,079	10,34	10,25	2,53
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.33	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.52 (отп.на КТП-7-160)	2673,2	85,5	2981,7	164,1	0,460	0,204	0,050	10,25	10,20	1,99
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.43	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.84 (отп.на КТП-8-63)	2612,7	61,6	2916,7	160,6	3,620	1,604	0,391	10,20	9,79	-2,14
ВЛ-10кВ ф. «№К3» оп.98	ВЛ-10кВ ф. «№1» оп.135 (отп.на КТП-9-160, КТП-10-63, КТП-11-100)	2589,0	52,2	2891,1	159,2	6,010	2,662	0,649	9,79	9,08	-9,22

Таким образом, реализация рассмотренных в работе технических мероприятий по компенсации реактивного сопротивления линии и реактивной мощности потребителя позволит повысить пропускную способность распределительных сетей среднего напряжения без проведения большого объема работ при реконструкции указанных электроустановок.

Список использованной литературы

1. Увеличение пропускной способности электрической сети и повышение энергоэффективности действующей электроэнергетической системы нефтегазопромысловых потребителей / И. С. Латыпов, В. В. Сушков, Г. А. Хмара [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2022. — Т. 333, № 4. — С. 236–247. — DOI 10.18799/24131830/2022/4/3497.
2. Соловьев, С. В. Повышение передаваемой активной мощности в распределительной сети среднего напряжения электротехнического комплекса промышленного предприятия : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Соловьев Сергей Викторович, 2017. — 144 с.
3. Материалы докладов XXVII Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного дню энергетика и 55-летию КГЭУ / Под общ. ред. ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. В 3 т.; Т. 1. — Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2023. — 611 с.
4. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети: учебник / В. И. Идельчик. — Москва : Энергоатомиздат, 1989. — 592 с. — Текст: непосредственный.
5. Исследование режимов работы распределительной электрической сети нефтегазодобывающего предприятия / Д. Н. Нурбосынов, Т. В. Табачникова, Е. И. Грачева, А. В. Юмалин. — Альметьевск : Казанский государственный энергетический университет, 2021. — 160 с. — ISBN 978-5-94454-057-7.

УДК 378.14.015.62, 378.141.4, 378.147

В. З. Манусов¹, Г. В. Иванов², Е. Ю. Кислицин²

¹ ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,
г. Ханты-Мансийск

² БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ
В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ОБМОТКАХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

г. Сургут

Аннотация. Настоящая работа посвящена расчету и анализу электродинамических усилий в высокотемпературных сверхпроводящих обмотках силовых трансформаторов. Рассмотрены радиальные и осевые силы, возникающие в обмотках, и их влияние на механическую прочность конструкции.

Ключевые слова: *высокотемпературные сверхпроводящие обмотки, диэлектрическая среда, силовой трансформатор.*

V. Z. Manusov¹, G. V. Ivanov², E. Y. Kislitsin³

¹ Ugra State University, Khanty-Mansiysk

² Surgut state University, Surgut

³ Surgut state University, Surgut

ANALYSIS OF ELECTRODYNAMIC FORCES
IN HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING WINDINGS
OF POWER TRANSFORMERS

Surgut

Abstract. The present work is devoted to the calculation and analysis of electrodynamic forces in high-temperature superconducting windings of power

transformers. Radial and axial forces arising in windings and their effect on the mechanical strength of the structure are considered.

Keywords: *high-temperature superconducting windings, dielectric medium, power transformer.*

Введение. Развитие электроэнергетики состоит в применении все более эффективных экономически и экологически обоснованных технических решений.

В Российской Федерации принято ряд нормативных актов (Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года, «Доктрина об энергетической безопасности Российской Федерации»), в которых сформулированы проблемы обеспечения энергетической безопасности, эффективности и повышения энергосбережения.

Одним из перспективных инновационных направлений является создание энергосберегающего, экологически чистого электрооборудования, работа которого основана на явлении сверхпроводимости.

Технические и экономические характеристики такого оборудования по качественным и количественным показателям значительно превосходят аналогичные традиционного электрооборудования (таблица 1).

Таблица 1. — Характеристики масляных и криогенных трансформаторов

Сравниваемый параметр	Тип трансформатора		
	масляный	криогенный	гибридный
Масса, кг	3265	1013	1265
Потери ХХ, кВт	1,5	1,4	1,5
Потери КЗ, кВт	11,1	0,01	0,22

Силовые трансформаторы являются ключевыми элементами электроэнергетических систем, обеспечивающими передачу и распределение электроэнергии на различных классах напряжения. Надежная работа трансформаторов имеет первостепенное значение для стабильности электроснабжения и безопасности потребителей.

Однако в процессе эксплуатации трансформаторы подвергают-ся воздействию различных факторов, способных негативно повлиять на их техническое состояние и привести к аварийным ситуациям.

Одним из таких факторов являются электродинамические усилия (ЭДУ), возникающие при взаимодействии токов в обмотках трансформатора с магнитными полями рассеяния.

Типы электродинамических усилий. В трансформаторах выделяют два основных типа ЭДУ: радиальные и осевые.

Радиальные силы направлены перпендикулярно оси обмоток. Они сжимают внутреннюю обмотку и растягивают внешнюю. Радиальные силы могут вызывать деформацию обмоток с потерей устойчивости.

Осевые силы действуют вдоль оси трансформатора, могут вызывать расслоение обмоток при недостаточной прессовке и повреждение изоляции.

Величина ЭДУ в трансформаторах зависит от множества факторов, основными из которых являются:

- 1) величина токов, особенно токов короткого замыкания (ТКЗ);
- 2) направления токов в витках обмоток трансформатора и в слоях этих обмоток;
- 3) магнитные поля рассеяния.

Повышение электродинамической стойкости трансформаторов. Для повышения электродинамической стойкости трансформаторов применяют различные конструктивные и технологические решения:

- усиление прессовки обмоток, которое позволяет компенсировать осевые силы и предотвратить расслоение обмоток;

- оптимизация геометрии обмоток и сердечника, которая позволяет снизить пиковые нагрузки и равномерно распределить ЭДУ;
- использование материалов с повышенной механической прочностью;
- использование магнитных шунтов из электротехнической стали, которые укладывают на полки ярмовых балок или вдоль стенок бака, чтобы по ним проходила большая часть потока рассеяния.

При этом вопросы природы возникновения, величины и способов уменьшения ЭДУ в трансформаторах, работа которых основана на явлениях высокотемпературной сверхпроводимости, еще не рассматривались.

Математическая модель расчета электродинамических усилий. Для оценки величины и распределения ЭДУ в трансформаторах применяются различные методы расчета, которые можно разделить на две основные группы: аналитические и численные.

Аналитические методы основаны на упрощенных моделях и допущениях, позволяют быстро оценить суммарные осевые силы, воздействующие на обмотки трансформатора. При этом аналитические методы не учитывают нелинейные свойства материалов и сложную геометрию конструкции, что ограничивает их точность.

Численные методы, такие как метод конечных элементов (МКЭ), позволяют проводить более точное моделирование нелинейных магнитных полей в сердечнике и распределение сил по виткам. Однако численные расчеты требуют больших вычислительных ресурсов и времени.

Расчет электродинамических усилий в обмотках выполняется с целью проверки обмоток на механическую прочность, что особенно важно при протекании по обмоткам токов КЗ. Алгоритм расчета представлен на схеме (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм проверки обмоток на механическую прочность

Выполним проверку обмоток на механическую прочность при коротком замыкании. Действующее значение установившегося тока короткого замыкания с учетом сопротивления питающей сети для основного ответвления обмотки определяется по выражению (согласно ГОСТ 11677-85):

$$I_{к.у} = \frac{100 \cdot I_{\phi}}{U_{кн}^* \left(1 + \frac{100 \cdot S_H}{U_{кн} \cdot S_K} \right)}, \quad (1)$$

где I_{ϕ} — номинальный фазный ток соответствующей обмотки;

S_H — номинальная мощность трансформатора, МВА;

S_K — мощность короткого замыкания электрической сети, МВА, принимаем равной 500 кВА.

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{кmax} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{max} \cdot I_{к.у}, \quad (2)$$

где κ_{max} — коэффициент, учитывающий максимально возможную аperiodическую составляющую тока короткого замыкания:

$$K_{MAX} = 1 + e^{-\pi u_A / u_p}. \quad (3)$$

Суммарная радиальная сила, действующая на наружную обмотку и стремящая растянуть ее:

$$F_p = 0,628 \cdot (i_{K2.MAX} w_{2H})^2 \cdot \beta \cdot \kappa_p \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где $i_{K2.MAX}$ — ударный ток короткого замыкания в обмотке ВН;

w_{2H} — число витков обмотки ВН на основной ступени.

Такая же сила, но противоположно направленная, действует на обмотку НН, стремясь сжать ее. Обе силы равномерно распределены по окружности обеих обмоток.

Поперечное поле рассеяния (линии его индукции расходятся радиально) вызывают осевые силы, сжимающие обмотки в осевом направлении. Для обмоток с плотным прилеганием витков (многослойные цилиндрические или из алюминиевой ленты) осевая сила рассчитывается по формуле:

$$F_{oc} = 7,5 \cdot d_{12} \cdot \left(a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \cdot (i_{K.MAX} \cdot w)^2 \cdot \frac{1}{l^2} \cdot \kappa_{oc} \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

где κ_{oc} — коэффициент осевой силы;

d_{12} — диаметральный размер обмотки НН трансформатора с учетом толщины изоляции между обмоткой НН и ВН;

a_{12} — ширина изоляционного промежутка между обмотками НН и ВН трансформатора;

a_1 — радиальный размер обмотки НН трансформатора;

a_2 — радиальный размер обмотки ВН трансформатора.

Осевые силы действуют на обе обмотки: в верхней половине обмотки они направлены вниз, а в нижней — вверх. Наибольшее значение осевой силы в середине высоты обмотки НН.

Результаты расчетов представлены в Таблице 2.

Таблица 2. — Результаты расчетов ЭДУ в трансформаторах с разной диэлектрической средой

Параметр	Тип трансформатора		
	масляный	криогенный	гибридный
Материалы обмоток	Cu/Cu	Cu/ВТСП	ВТСП/ВТСП
Масса активных частей, кг	1500	1200	1013
u_k , %	6,5	4,5	4,0
ЭДУ при КЗ (НН), кН/м	14,5	37,1	51,6

Вывод. Криогенные трансформаторы испытывают большие ЭДУ из-за сниженного напряжения короткого замыкания. В резистивном режиме ЭДУ уменьшаются на 25% по сравнению со сверхпроводящим состоянием, но остаются выше, чем у обычного трансформатора.

Обмотка ВН во всех случаях подвергается незначительным нагрузкам (<1 кН/м), а основная механическая нагрузка приходится на НН. Для криогенных трансформаторов требуется усиленная конструкция обмоток НН и креплений, особенно в сверхпроводящем режиме.

Список использованной литературы

1. Тихомиров, П. М. Расчет трансформаторов: учебное пособие для студентов электротехнических и электромеханических специальностей вузов / П. М. Тихомиров ; П. М. Тихомиров. — Изд. 6-е, стер.. — Москва : Альянс, 2009. — ISBN 978-5-903034-60-4.

2. Лурье, А. И. Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях / А. И. Лурье. — М. : Знак, 2005. — 520 с.

3. Зенова, В. П. Электродинамическая устойчивость наружных обмоток трансформаторов больших мощностей / В. П. Зенова, Н. С. Иванова, С. И. Лурье. Л. И. Мильман // Электричество. — 1971. — № 10. — С. 1–6.

4. Александров, Н. М. Расчет электродинамических сил в обмотках силовых трансформаторов / Н. М. Александров, Д. В. Зарубин, А. Ю. Хренников // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности : Материалы V Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 03 декабря 2021 года. — Чебоксары : Чувацкий государственный университет имени И. Н. Ульянова, 2021. — С. 303–310.

5. Хренников, А. Ю. Электродинамическая стойкость силовых трансформаторов (реакторов) при коротких замыканиях: повреждения, испытания и диагностика / А. Ю. Хренников, А. Н. Назарычев, Е. М. Новоселов ; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». — Иваново : Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2011. — 92 с. — ISBN 978-5-89482-798-8.

6. Пайков, И. А. Методика расчета электродинамических усилий в обмотках трансформатора / И. А. Пайков // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Двдцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Тезисы докладов. В 4 томах, Москва, 27–28 февраля 2014 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, национальный исследовательский университет «МЭИ», академия электротехнических наук, ассоциация международных отделов технических университетов стран центральной и восточной европы (АМО), институт инженеров по электротехнике и электронике США (IEEE) (студенческая секция). Том 2. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2014. — С. 144.

7. Пайков, И. А. Модель расчета электродинамических усилий силовых трансформаторов / И. А. Пайков, А. С. Мартынов, А. И. Тихонов // Состояние и перспективы развития электротехнологии : Материалы Международной научно-технической конференции XVII Бенардосовские чтения, Иваново, 29–31 мая 2013 года / Ивановский государственный энергетический университет имени

В. И. Ленина. Том III. — Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2013. — С. 162–165.

8. Алтунин, Б. Ю. Исследование режимов работы нелинейного трехфазного трансформатора в пакете Simulink / Б. Ю. Алтунин, А. А. Кралин, В. В. Гуляев // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2012. — № 32. — С. 195–198.

УДК 621.315

Д. М. Иванов¹, В. З. Манусов¹, Е. В. Иванова²

¹ ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,
г. Новосибирск

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

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

г. Сургут

Аннотация. Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) трансформаторы способны ограничивать ударный ток короткого замыкания. Возникающее при этом активное сопротивление обмоток оказывает существенное влияние на электромеханический переходный процесс. Работа посвящена исследованию влияния ВТСП трансформатора на динамическую устойчивость синхронного генератора при внезапном трехфазном коротком замыкании, приводящем к отключению линий электропередачи.

Ключевые слова: *ВТСП трансформатор, динамическая устойчивость, электромеханический переходный процесс, Matlab/Simulink.*

D. M. Ivanov¹, V. Z. Manusov¹, E. V. Ivanova²

¹ Novosibirsk State Technical University (NSTU),
Novosibirsk

² Siberian State University of Water Transport (SSUWT),
Novosibirsk

INFLUENCE OF HTS TRANSFORMER ON DYNAMIC STABILITY

Surgut

Abstract. High-temperature superconducting (HTS) transformers are capable of limiting short-circuit surge current. The resulting active resistance of the windings has a significant effect on the electromechanical transient process. The paper is devoted to the study of the influence of a HTS transformer on the dynamic stability of a synchronous generator during a three-phase short circuit, leading to the shutdown of the power transmission line.

Keywords: *HTS transformer, dynamic stability, electromechanical transient process, Matlab/Simulink.*

Динамическая устойчивость электроэнергетической системы — это способность восстанавливать свое исходное (или близкое к исходному) состояние после масштабных возмущений. Под последними понимаются короткие замыкания (КЗ), отключения или, наоборот, подключения любых элементов энергосистемы — нагрузок, трансформаторов, генераторов, линий электропередачи и т. п.

Использование ВТСП трансформаторов с целью ограничения тока КЗ оказывает существенное влияние на электромеханический переходный процесс. При превышении критического значения тока сверхпроводящей ленты в первую половину периода активное сопротивление обмоток ВТСП трансформатора резко увеличивается. Это явление позволяет мгновенно ограничить ударный ток КЗ, однако возникающие при этом тепловое

и электродинамическое воздействия способны нарушить нормальную работу трансформатора.

Для оценки влияния ВТСП трансформатора на электромеханический переходный процесс рассмотрим одномашинную систему «генератор — трансформатор — линия — шины» бесконечной мощности (рис. 1), в которой происходит наиболее мощное возмущение — трехфазное короткое замыкание на шинах высокого напряжения трансформатора. Расчет переходного процесса проведем для двух случаев: после синхронного генератора включен ВТСП трансформатор с соотношением напряжений 10,5/230 кВ и с трансформатором традиционного исполнения типа ТРДЦН-100000/220.

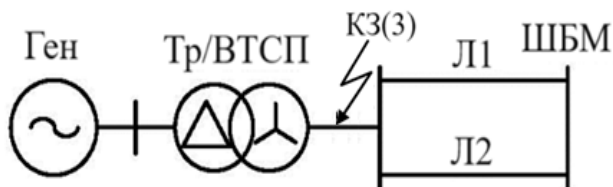


Рис. 1. Принципиальная схема исследуемой системы

В программно-вычислительном комплексе Matlab/Simulink разработана математическая модель, обеспечивающая численное решение переходного электромеханического процесса, возникающего при трехфазном коротком замыкании за трансформатором. Силовая часть модели включает в себя генератор ТВФ-120-2У, ВТСП трансформатор 10,5/230 кВ мощностью 100 МВА (ТРДЦН-100000/220), линию электропередачи длиной 100 км и ШБМ. Модель генератора реализована уравнениями Парка-Горева и уравнением движения ротора. ВТСП трансформатор представлен математической моделью, предложенной в [3].

Для корректного анализа влияния ВТСП трансформатора на динамическую устойчивость электроэнергетической системы, проведено моделирование трехфазного КЗ, происходящего через 0,1 с,

которое устраняется через 0,2 с. Представленный выше процесс моделировался для двух случаев: при наличии в системе ВТСП трансформатора и трансформатора типа ТРДЦН-100000/220.

На рис. 2 и 3 представлены осциллограммы токов в сети при КЗ для случая с классическим (рис. 2, а) и ВТСП трансформатором (рис. 2, б). Результаты моделирования показали, что в системе после устранения трехфазного КЗ возникли качания, которые спустя несколько секунд затухают без внешних воздействий.

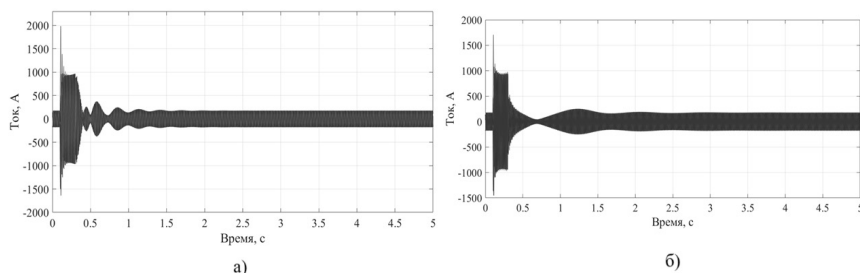


Рис. 2. Токи фаз в момент трехфазного КЗ:

а) с трансформатором ТРДЦН; б) с ВТСП трансформатором

Возникновение качаний после устранения КЗ обусловлено изменением скорости вращения ротора синхронного генератора (рис. 3). Осциллограмма изменения скорости ротора показывает, что при использовании классического трансформатора после начала КЗ скорость ротора существенно возрастает и синхронный генератор переходит в режим качаний, которые со временем затухают. При использовании ВТСП трансформатора в начальный момент КЗ также происходит ускорение ротора в связи с КЗ на выводах обмотки высокого напряжения, однако в дальнейшем ротор начинает резко ускоряться, вплоть до устранения КЗ. Этот процесс объясняется резким повышением активного сопротивления ВТСП трансформатора, которое появляется при превышении критического значения тока сверхпроводника.

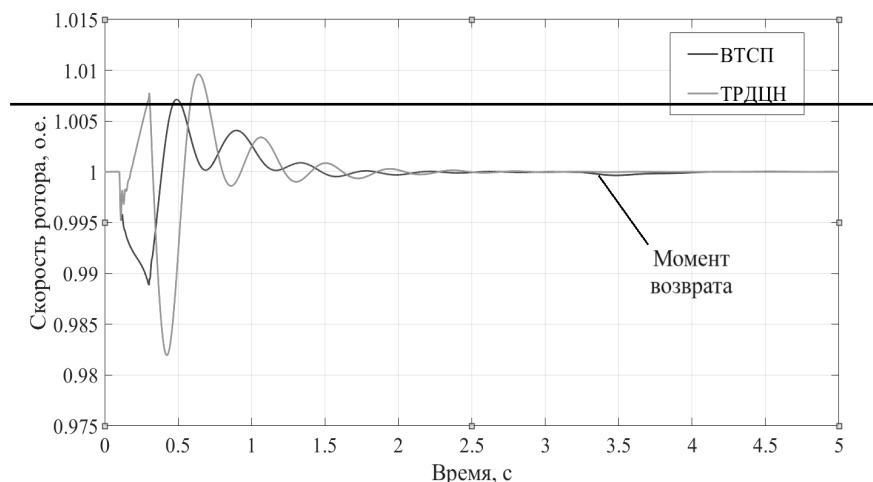


Рис. 3. Изменение скорости ротора в момент трехфазного КЗ

Сравнение осциллограмм скоростей ротора генератора показало (рис. 3), что амплитуда качаний скорости ротора после устранения КЗ уменьшается в 2 раза, что говорит о положительном влиянии VTСП трансформатора на динамическую устойчивость энергосистемы [3].

Список использованной литературы

1. Иванов, Д. М. Электротепловые переходные процессы в сети с высокотемпературным сверхпроводящим трансформатором с функцией токоограничения / Д. М. Иванов, В. З. Манусов // Электричество. — 2022. — № 1. — С. 9–17.
2. Веников, В. А. Переходные процессы в электрических системах / В. А. Веников. — М. : Высшая школа, 1978. — 415 с.
3. Манусов, В. З. Влияние сверхпроводящих трансформаторов на устойчивость электроэнергетической системы / В. З. Манусов, Н. В. Александров // Научный вестник НГТУ. — 2013. — № 3. — С. 160–165.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

УДК 621.315

Е. А. Бурмистрова, Е. В. Иванова

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

МЕТОДЫ РАСЧЕТА, ОЦЕНКИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

г. Сургут

Аннотация. Статья посвящена анализу методов расчета, оценки и стандартизации кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в сетях среднего напряжения. Рассмотрены основные методы исследования ЭМП, включая гармонический анализ, частотные характеристики и компьютерное моделирование, а также их преимущества и ограничения. Особое внимание уделено механизмам воздействия помех на оборудование, таким как искажение формы напряжения, возникновение паразитных токов и ускоренное старение изоляции. Проведен критический анализ существующей нормативной базы, выявлены ее недостатки и предложены направления совершенствования, включая разработку комплексных моделей и обновление стандартов. Результаты исследования подчеркивают необходимость адаптации методик оценки ЭМП к современным условиям эксплуатации энергосистем.

Ключевые слова: *кондуктивные электромагнитные помехи, сети среднего напряжения, гармонический анализ, частотные характеристики, компьютерное моделирование, качество электроэнергии, стандартизация.*

E. A. Burmistrova, E. V. Ivanova

BUVO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

METHODS FOR CALCULATION, ASSESSMENT AND STANDARDIZATION OF CONDUCTIVE ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE IN MEDIUM-VOLTAGE NETWORKS

Surgut

Abstract. The article analyzes the methods for calculating, assessing, and standardizing conductive electromagnetic interference (EMI) in medium-voltage networks. The main research methods for EMI, including harmonic analysis, frequency response, and computer modeling, are examined, along with their advantages and limitations. Special attention is paid to the mechanisms of EMI impact on equipment, such as voltage waveform distortion, parasitic currents, and accelerated insulation aging. A critical review of the current regulatory framework is provided, highlighting its shortcomings and proposing improvements, including the development of comprehensive models and updates to standards. The results emphasize the need to adapt EMI assessment methods to modern power system operating conditions.

Keywords: *conductive electromagnetic interference, medium-voltage networks, harmonic analysis, frequency response, computer modeling, power quality, standardization.*

Актуальность темы исследования. В ходе анализа работы сетей среднего класса напряжения выявлена актуальная проблема влияния кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП), которые существенно осложняют эксплуатацию электрооборудования. Как показывает практика, эти помехи не только снижают качество электроэнергии, но и приводят к преждевременному износу техники, что влечет за собой дополнительные затраты на ремонт и замену оборудования. Особенно остро эта проблема проявляется на промышленных объектах, где большое количество нелинейных нагрузок (частотные приводы, сварочные аппараты и т. д.) создает сложную помеховую обстановку.

Данное исследование направлено на системный анализ современных методов расчета кондуктивных ЭМП и оценку их эффективности. В частности, важно не только изучить теоретические подходы, но и выявить их применимость в реальных условиях. Для этого необходимо:

1. **Классифицировать методы расчета** — разобраться, какие из них дают приемлемую точность при минимальных вычислительных затратах.

2. **Оценить влияние помех на оборудование** — здесь интерес представляют не только очевидные эффекты (например, нагрев изоляции), но и менее изученные, такие как кумулятивное воздействие слабых высокочастотных помех.

3. **Проанализировать нормативную базу** — на данный момент стандарты (ГОСТ 32144-2013, ГОСТ Р 51317.3.8-99) не учитывают специфики сетей среднего напряжения, что создает сложности при проектировании и эксплуатации.

4. **Разработать рекомендации** — на основе полученных данных можно предложить уточненные методики оценки помех, которые упростят работу инженеров.

Существующие методы анализа ЭМП и их ограничения. В литературе описано несколько подходов к расчету кондуктивных помех, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

1. Гармонический анализ.

Этот метод широко применяется благодаря своей простоте — помеха раскладывается на гармоники, после чего оценивается их влияние. Однако на практике мы заметили, что он плохо учитывает взаимную интерференцию помех от разных источников. Например, в одной из рассмотренных нами моделей суммарный эффект от двух гармоник оказывался значительно выше, чем предсказывала теория.

2. Метод частотных характеристик.

Метод более точный, но требует проведения натурных экспериментов, что не всегда возможно. В ходе работы я столкнулся с тем,

что реальные частотные отклики элементов сети могут сильно отличаться от паспортных данных из-за старения оборудования.

3. Моделирование в специализированном ПО.

Дает наиболее полную картину, но требует глубокого понимания процессов. Например, при моделировании в EMTP-RV нам пришлось вручную корректировать параметры нелинейных элементов, чтобы добиться адекватных результатов.

Практические аспекты влияния помех. В ходе анализа было определено несколько ключевых проблем, вызванных кондуктивными ЭМП:

- **Дополнительные потери энергии** — искажение формы тока приводит к увеличению активных потерь, что подтверждается замерами на подстанциях.
- **Ложные срабатывания защиты** — в одном из случаев паразитные токи в цепях РЗА привели к необоснованному отключению линии.
- **Деградация изоляции** — лабораторные испытания показали, что под воздействием высокочастотных помех срок службы изоляционных материалов сокращается на 15–20%.

Проблемы нормативного регулирования

Основная сложность заключается в том, что действующие ГОСТы не учитывают:

- специфику современных преобразовательных устройств;
- кумулятивный эффект от множества слабых источников помех;
- реальные условия эксплуатации (например, влияние температуры на распространение помех).

Перспективные направления исследований

На основании проведенного анализа выделим, что наиболее эффективными путями решения проблемы являются:

1. Разработка адаптивных алгоритмов расчета, учитывающих нелинейные эффекты.
2. Создание специализированных датчиков для мониторинга помех в реальном времени.

3. Внесение изменений в нормативную базу с учетом новых технологий.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило, что кондуктивные ЭМП представляют собой серьезную проблему, требующую комплексного подхода. Существующие методы расчета нуждаются в доработке, а нормативная база — в актуализации.

Список использованной литературы

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

2. ГОСТ Р 51317.3.8-99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение колебаний напряжения и фликера, вызываемых техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (включая подключаемые), в низковольтных системах электроснабжения».

3. Ананьина, Т. В. Повышение энергоэффективности сетей в системах с распределенной генерацией / Т. В. Ананьина, Е. В. Иванова, М. Е. Перепадов, П. П. Дворцов // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России. — Москва, 2023. — С. 349–354.

4. Белый, В. Б. Электромагнитная совместимость элементов систем электроснабжения, содержащих устройства компенсации реактивной мощности / В. Б. Белый // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2009. — № 6 (56). — С. 62–65.

5. Гизатуллин, З. М. Средства и модели для анализа воздействия электростатического разряда на функционирование цифровых элементов электронных средств / З. М. Гизатуллин, С. Ф. Чермошенцев // Информационные технологии. — 2005. — № 9. — С. 46–54.

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

УДК 621.315.1

В. В. Михуля, Е. А. Бурмистрова

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И МЕХАНИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЛ 110 КВ
В УСЛОВИЯХ РЕГИОНОВ, ПРИРАВНЕННЫХ К РАЙОНАМ
КРАЙНЕГО СЕВЕРА

г. Сургут

Аннотация. В статье представлен обзор факторов, которые могут иметь негативное влияние на эксплуатируемые воздушные линии электропередачи в условиях районов Крайнего Севера и приравненных к ним регионов. Рассмотрены основные климатические нагрузки, имеющие место в рассматриваемой местности, включая методику их учета при проектировании воздушных линий, а также место этих нагрузок в оценке допустимости механических напряжений в проводе.

Ключевые слова: *негативные факторы, климатические нагрузки, проектирование воздушных линий, механические напряжения в проводе.*

V. V. Mikhulya, E. A. Burmistrova

Surgut State University, Surgut

CONSIDERATION OF CLIMATIC LOADS AND MECHANICAL
STABILITY IN THE DESIGN OF 110 KV OVERHEAD LINES IN
REGIONS EQUATED TO THE REGIONS OF THE FAR NORTH

Surgut

Abstract. The article provides an overview of factors that may have a negative impact on operated overhead power transmission lines in the Far North and equivalent regions. The main climatic stresses occurring in the area under

consideration are considered, including the methodology for taking them into account when designing overhead lines, as well as the place of these loads in assessing the permissibility of mechanical stresses in the wire.

Keywords: *negative factors, climatic loads, overhead line design, mechanical stresses in the wire.*

Основная проблема, характерная для ВЛЭП любого напряжения, — механическая прочность элементов, и, следовательно, надежность функционирования линии уменьшается в процессе эксплуатации, что рано или поздно приводит к отказу одного или нескольких элементов ВЛ. Для районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей в вопросе снижения риска отказов в силу особенностей климата следует уделять особое внимание вопросу механической устойчивости и устойчивости к неблагоприятным условиям.

Для рассматриваемых регионов характерны долгие холодные зимы. Следовательно, в зависимости от минимальных температур, характерных для конкретной местности, может потребоваться применение материалов с большей морозостойкостью. В отношении выбора проводов стоит отметить, что из часто используемых марок для регионов с низшей температурой (ниже -60°C) рекомендуется применять сталеалюминиевые провода, для линий напряжением от 110 кВ сечение по алюминию должно составлять не менее 120 мм^2 . При выборе опор следует руководствоваться целесообразностью применения того или иного материала в конкретной местности для данного класса напряжения. В районах, где возможна добыча древесины соответствующего качества для заготовки энергостолбов с необходимыми параметрами, возможно применение деревянных опор с железобетонными приставками для напряжений до 110 кВ включительно. Возможно также применение железобетонных опор, но целесообразность их выбора зависит от возможности транспортировки до места установки, поэтому может быть обоснованно в основном в более южных районах. Для холодного климата достаточно

характерно применение стальных опор, которые могут быть выполнены с разной конструкцией и из разных марок стали. Углеродистые стали Ст3 и С245 могут применяться для металлических опор, эксплуатируемых до -40°C . Если для рассматриваемой местности характерны более низкие температуры, то имеет смысл выбирать опоры, выполненные из низколегированных прокатов стали: возможно применение марки 09Г2С, которая выдерживает до -70°C , а также С345, которая в зависимости от категории может быть рассчитана на различные минимальные температуры. Категории С345-2, С345-4, С345-9 рассчитаны на температуры до -70°C . Сталь С345-7 может эксплуатироваться до -60°C .

Помимо температурных условий, опоры также должны соответствовать особенностям грунта. При наличии в области прохождения трассы ВЛ вечной мерзлоты или заболоченных участков целесообразно применять повышенные опоры.

Механическая нагрузка, которую должны выдерживать провода и опоры в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, осложняется высокой вероятностью образования снежных и ледяных отложений. Это обуславливает необходимость соответствующих расчетов для определения допустимых нагрузок.

Для оценки механической устойчивости проводов рассчитываются удельные нагрузки при механическом воздействии неблагоприятных факторов.

— От собственного веса.

В этом случае единичная нагрузка на провод определяется только его весом — G_0 .

$$p_1 = G_0 \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_1 = \frac{p_1}{F}$$

— От гололеда.

При учете гололеда единичная нагрузка будет зависеть от толщины стенки льда, характерной для данной местности, — c .

$$p_2 = \rho \cdot k_{\text{в.г.}} \cdot k_d \cdot \pi \cdot c \cdot (d + c) \cdot 10^{-3}$$

$$\gamma_2 = \frac{p_2}{F}$$

где ρ — плотность льда;

d — наружный диаметр провода;

$k_{\text{в.г.}}$ — коэффициент, учитывающий высоту положения провода;

k_d — коэффициент, учитывающий диаметр провода;

— От ветра при отсутствии гололеда.

Нагрузка от ветра определяется скоростным напором q_{MAX} , вычисляемым по формуле:

$$q_{\text{MAX}} = \frac{V_0^2}{16}$$

где V_0 — скорость ветра, соответствующая нормативному ветровому давлению региона.

Единичная нагрузка в этом случае:

$$p_4 = \alpha \cdot C_x \cdot k_{\text{в.в.}} \cdot q_{\text{MAX}} \cdot d \cdot 10^{-3}$$

где α — поправочный коэффициент неравномерности скоростного напора по пролету;

C_x — коэффициент лобового сопротивления, значение которого принимается в зависимости от диаметра проводов и тросов, а также от наличия или отсутствия гололеда;

$k_{\text{в.в.}}$ — коэффициент, учитывающий высоту расположения приведенного центра тяжести всех проводов;

Удельная нагрузка:

$$\gamma_4 = \frac{p_4}{F}$$

Особым образом учитывается сочетание ветровой нагрузки и нагрузки от гололеда:

- От сочетания ветровой нагрузки и гололеда.

Скоростной напор на провод, покрытый гололедом, q_r учитывается отдельно. Он определяется по формуле:

$$q_r = \frac{q_{MAX}}{2}$$

С учетом этой величины единичная нагрузка на провод будет определяться согласно формуле:

$$p_5 = 1,2 \cdot \alpha \cdot k_{B.B.} \cdot q_r \cdot (d + 2 \cdot c) \cdot 10^{-3}$$

А удельная нагрузка:

$$\gamma_5 = \frac{p_5}{F}$$

Кроме того, на основании рассчитанных вышеописанным образом нагрузок определяются нагрузки от одновременного воздействия факторов:

- От сочетания собственного веса и гололеда.

Нагрузка от собственного веса и гололеда будет складываться из нагрузок при воздействии каждого из этих факторов.

$$p_3 = p_1 + p_2$$

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2$$

- От сочетания собственного веса и ветровой нагрузки при отсутствии гололеда.

Нагрузка от сочетания этих факторов будет определяться как корень из суммы квадратов значений нагрузок для каждого из рассматриваемых факторов, поскольку ветровая нагрузка приложена по горизонтали, а нагрузка от собственного веса — по вертикали:

$$p_6 = \sqrt{p_1^2 + p_4^2}$$

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2}$$

- От сочетания собственного веса, ветровой нагрузки и гололеда.

Расчет производится аналогично нагрузке от сочетания собственного веса и ветровой нагрузки при отсутствии гололеда:

$$p_7 = \sqrt{p_3^2 + p_5^2}$$
$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}$$

Кроме того, влияние гололеда и ветра рассматривается при оценке допустимости значений механических напряжений в проводе. При этом производятся сравнения с допустимыми значениями, определяемыми для трех расчетных режимов:

1. Режим минимальных температур при отсутствии ветра и гололеда, $[\sigma_-]$.
2. Режим максимальных нагрузок при наибольшем скоростном напоре или наибольшем гололеде, $[\sigma_{\text{нб}}]$.
3. Режим среднегодовых температур при отсутствии гололеда и ветра, $[\sigma_{\text{сг}}]$.

Соотношение допустимого механического напряжения $[\sigma_{\text{д}}]$ к пределу прочности провода при растяжении $\sigma_{\text{в}}$ для каждого режима принимается согласно нормам, приведенным в ПУЭ, в зависимости от марки и сечения провода.

Предел прочности провода при растяжении вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{T_0}{F},$$

где T_0 — разрывное усилие, кгс.

Таким образом, были изучены климатические особенности регионов, приравненных к районам Крайнего Севера, и характерные для них особенности местности, которые могут иметь негативное влияние на эксплуатируемые воздушные линии электропередачи, а также некоторые возможные решения для повышения

устойчивости к этим воздействиям. Рассмотрено, каким образом осуществляется учет климатических нагрузок при механическом расчете, чем определяется величина этих нагрузок. Было отмечено, что основные виды нагрузок, требующие учета, — нагрузки от собственного веса провода, от гололеда, ветровые нагрузки, а также различные их сочетания. Затронут вопрос оценки допустимости значений механических напряжений в проводе для основных расчетных режимов.

Список использованной литературы

1. Руководство по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением до 500 кВ для северной воздушной климатической зоны (2-я редакция)/ Министерство топлива и энергетики Российской Федерации, Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей, «Энергосетьпроект» — Москва, 1996.
2. Справочник по проектированию линий электропередачи / К. П. Крюков, М. А. Реут, М. Б. Вязьменский, Б. П. Новгородцев, Ю. И. Лысков, И. М. Носов, В. Х. Ишкин — М. : Энергия, 1980.
3. Руководящие указания по расчету проводов и тросов воздушных линий электропередачи / Министерство энергетики и электрификации СССР, Техническое управление по эксплуатации энергосистем — М. : Энергия, 1965.

УДК 621.316.1

А. В. Брежнев

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ШИНОПРОВОДОВ В ЖИЛЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются особенности применения шинопроводов в жилых, общественных и муниципальных зданиях и сооружениях. Проведен сравнительный анализ шинопроводных систем и традиционных кабельных линий с точки зрения энергоэффективности, надежности и удобства эксплуатации. Рассмотрены технические характеристики современных шинопроводов, их классификация, преимущества и ограничения при использовании в различных типах зданий. Особое внимание уделено перспективам внедрения шинопроводных систем в условиях цифровизации энергетики и роста требований к энергоэффективности.

Ключевые слова: *шинопровод, кабельная линия, анализ, энергоэффективность.*

A. V. Brezhnev¹

¹ TIU, Tyumen

ANALYSIS OF THE USE OF BUS LINES IN RESIDENTIAL AND MUNICIPAL BUILDINGS AND STRUCTURES

Surgut

Abstract. The article considers the features of the application of bus lines in residential, public and municipal buildings and structures. A comparative analysis of the bus-line systems and traditional cable lines in terms of energy efficiency, reliability and ease of use has been carried out. The technical

characteristics of modern bus lines, their classification, advantages and limitations when used in different types of buildings were considered. Special attention is given to the prospects of the introduction of bus conduction systems in the context of digitalization of energy and increasing requirements for energy efficiency.

Keywords: *bus line, cable line, analysis, energy efficiency.*

Современные электрические сети требуют надежных и эффективных систем передачи электроэнергии. Традиционно для распределения электроэнергии в зданиях используются кабельные линии, однако в последние десятилетия все большую популярность приобретают шинопроводные системы, обладающие рядом преимуществ, таких как компактность, гибкость в эксплуатации, снижение потерь электроэнергии и удобство монтажа [1].

В данной работе выявляются преимущества и недостатки шинопроводных систем и кабельных линий. Также оцениваются перспективы их дальнейшего использования.

Шинопроводы представляют собой систему токопроводящих элементов, заключенных в защитный корпус, которая позволяет передавать электроэнергию по заданному маршруту с минимальными потерями. Они находят широкое применение в жилых, общественных и муниципальных зданиях благодаря возможности быстрой адаптации к изменяющимся условиям электроснабжения и увеличению нагрузки [2].

Шинопроводные системы можно классифицировать по таким параметрам, как назначение, уровень напряжения, конструктивные особенности и тип изоляции. Ниже приведены краткие пояснения и примеры использования. Силовые и осветительные шинопроводы. Первые используются для передачи электроэнергии на большие расстояния и подключения высокомоощных потребителей; вторые применяются для питания осветительных систем и отличаются компактными размерами. Секционные (жесткие) шинопроводы обладают

высокой механической прочностью и используются для стационарного монтажа. Гибкие шинопроводы применяются в условиях, где требуется изменение конфигурации электроснабжения.

Применение шинопроводов. Шинопроводы в жилых зданиях обеспечивают электроэнергией крупные локальные потребители (лифты, насосные станции) и распределяют ее по щитам этажным. В общественных зданиях, таких как офисные центры, торгово-развлекательные комплексы, учебные и спортивные заведения, шинопроводные системы применяются для питания IT-инфраструктуры, системы вентиляции и кухонного оборудования.

Рассмотрим специфику применения кабельных и шинопроводных линий. Шинопроводы являются оптимальным выбором для мощных электрических систем на промышленных объектах, высоких зданиях и распределительных подстанциях. Они особенно полезны в условиях с высокой токовой нагрузкой, поскольку позволяют минимизировать потери энергии. Кабельные линии, в свою очередь, предпочтительны для распределения электроэнергии в условиях, требующих сложной трассировки и гибкости монтажа. Они широко применяются в жилых и офисных зданиях, подземных линиях электропередачи.

Особенности кабельных линий. Из-за своей формы проводника кабельные линии ограничены в плотности тока и сильнее подвержены влиянию скин-эффекта. Также подземная прокладка линий снижает теплоотвод. Все это приводит к завышению сечения, дабы уменьшить потери напряжения и не допустить аварийных ситуаций. Гибкость кабельной линии обеспечивает удобство при монтаже, что является ее существенным преимуществом.

Особенности шинопроводов. За счет плоской формы шин скин-эффект выражен слабее, чем в круглых проводниках. Также форма способствует лучшему распределению тока по всему телу проводника, также открытый конструктив и улучшенное теплоотведение позволяет выдерживать большие токи нагрузки. Компактность

при высокой мощности — шинопроводы предоставляют возможность передавать большие мощности при меньших размерах конструкции. Жесткость конструкции шинопроводов исключает необходимость использования множества кабельных трасс и узлов.

Перспективы применения. Развитие шинопроводных систем необратимо. С расширением технологий и цифровизации энергосистем шинопроводы становятся неотъемлемой частью интеллектуальных энергосетей (Smart Grid). В будущем можно ожидать:

- интеграции шинопроводов с автоматизированными системами управления зданием;
- использование шинопроводов для улучшения энергоэффективности;
- повышения уровня стандартизации для совместимости шинопроводов с различными системами электроснабжения.

Закключение. Шинопроводы являются современным и эффективным решением для распределения электроэнергии в жилых, общественных и муниципальных зданиях. Их применение позволяет снизить эксплуатационные затраты, повысить надежность и безопасность электроснабжения, а также обеспечить гибкость в управлении нагрузками. Несмотря на более высокую первоначальную стоимость, шинопроводные системы обладают значительными преимуществами, которые делают их перспективной альтернативой традиционным кабельным линиям. В дальнейшем развитие интеллектуальных технологий и стандартизация шинопроводных решений будет способствовать их более широкому внедрению в различных сферах.

Список использованной литературы

1. Смирнов, А. А. Современные технологии электроснабжения / А. А. Смирнов. — Москва : Энергетика, 2021.
2. Иванов, И. И. Шинопроводные системы: теория и практика / И. И. Иванов. — Санкт-Петербург : Техноиздат, 2019.

УДК 621.315

П. И. Безымянная, Е. А. Бурмистрова

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

**AERO-Z В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА: РЕШЕНИЕ
ДЛЯ НАДЕЖНЫХ ЛЭП В ЭКСТРЕМАЛЬНОМ КЛИМАТЕ**

г. Сургут

Аннотация. В статье рассмотрены особенности влияния гололеда на энергосистему. Представлен обзор провода марки Aero-Z как способа борьбы с гололедом в районах Крайнего Севера, рассмотрены его преимущества и недостатки.

Ключевые слова: *Aero-Z, гололед, воздушная линия, проводимость, провода.*

P. I. Bezmyanaya, E. A. Burmistrova

Surgut State University, Surgut

**AERO-Z IN THE FAR NORTH: A SOLUTION FOR RELIABLE POWER
LINES IN THE EXTREME CLIMATE**

Surgut

Abstract. The article considers the peculiarities of the influence of ice on the energy system. An overview of Aero-Z brand wires as a way to combat ice in the Far North is presented, its advantages and disadvantages are considered.

Keywords: *Aero-Z, ice, overhead line, conductivity, wires.*

Линии электропередачи (ЛЭП), работающие в условиях Крайнего Севера, являются сложными инженерными системами, сталкивающимися с особыми климатическими и природными трудностями. Северные широты отличаются суровыми зимами, низкими температурами

и большим количеством снега и льда, что существенно усложняет эксплуатацию и снижает надежность электросетевого оборудования.

В качестве наиболее губительного фактора для ЛЭП энергетики рассматривают гололедно-изморозевые отложения. Гололед негативно влияет на эксплуатацию воздушных линий, приводя к таким последствиям, как увеличение нагрузки на опоры и крепления из-за льда на проводах, риск обрушения линии из-за увеличенной массы и давления льда, короткие замыкания, затруднение доступа для ремонта и обслуживания, снижение надежности линии и энергосетей и проблемы с противоаварийной защитой. Таким образом, гололед представляет серьезные проблемы для эксплуатации воздушных линий, требуя дополнительных мер по мониторингу и техническому обслуживанию.

Одним из способов борьбы с гололедом может стать использование проводов нового поколения марки АААС (Aero-Z) — компактированных проводов из алюминиевого сплава. Данные провода получили название Aero-Z и представляют собой полностью связанные между собой проводники, которые состоят из одного или нескольких концентрических слоев круглых проволок (внутренние слои) и проволок в виде буквы Z (внешние слои). Z-образное сечение провода дает возможность получить наружный слой практически идеально гладким (рис. 1). Каждый слой провода имеет скрутку по длине, выполненную с определенным шагом.

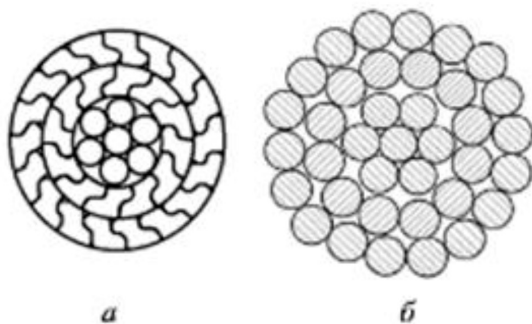


Рис. 1. Поперечное сечение провода: а — провод АЕРО-Z; б — провод АС

Провода Aero-Z являются инновационным решением для воздушных линий электропередач, предлагая массу преимуществ по сравнению с традиционными проводами. Данный вид провода имеет ряд преимуществ перед маркой АС, а именно:

- возможность использования проводов с большими сечениями при том же удельном весе приводит к решению проблемы перегрузок ВЛ и снижению тепловых потерь при транспортировке электроэнергии;
- снижение пляски проводов;
- возможность использования существующей арматуры при монтаже;
- значительное снижение аэродинамического коэффициента (на 25–50%);
- снижение уровня шума, следовательно, улучшение эксплуатационных показателей в населенных районах;
- практически полное предотвращение внутренней коррозии провода;
- снижение вероятности обрыва провода при нанесении ему повреждений в результате внешних воздействий;
- снижение уровня усталости металла в проводе и, следовательно, увеличение жизненного цикла за счет самогашения колебаний;
- уменьшение нагрузки на поддерживающие устройства ЛЭП, что приводит к возможному увеличению длин пролетов и экономии до 10% числа опор;
- решение проблемы обледенения и налипания снега на провода.

Несмотря на более высокую стоимость провода данной марки, их преимущества, такие как меньшая масса, меньшее количество опор, низкие потери энергии и улучшенная устойчивость к внешним воздействиям, делают их идеальными для использования в сложных климатических условиях и для модернизации существующих инфраструктур.

При проектировании ВЛ целесообразно использовать провода АААС-Z в случаях, когда расходы на содержание линии существенно зависят от одного или нескольких факторов:

- высокая стоимость доставки оборудования на место строительства;
- сложные условия эксплуатации (ветер, гололед, коррозия);
- затраты на плавку гололеда и восстановление ВЛ после технологических сбоев;
- сложность быстрого восстановления ВЛ при прохождении трассы в труднодоступных районах, риски недопоставки электроэнергии.

Главной особенностью, выделяющей данный тип провода, является его способность бороться с гололедом посредством нагрева материала. Из-за плотного расположения токопроводящих жил материал провода нагревается и поддерживает температуру выше 0°C , что позволяет растапливать налипший снег и лед. Сам Aero-Z обладает повышенной крутильной жесткостью и не скручивается под тяжестью наледи. В результате жесткость не дает сместиться центру тяжести налипшего снега вниз, и получившийся рычаг с учетом растопленного льда работает на отламывание (рис. 2).

Данная технология позволяет избавиться от скоплений льда на проводах, а следовательно, уменьшить провес линии и вероятность дальнейшего ее обрыва, повышая надежность энергосистемы.

Длительно-допустимая температура проводов в процессе эксплуатации не должна превышать 90°C . Рекомендуемая температура окружающей среды:

- при монтаже: $-45^{\circ}\text{C} \div +45^{\circ}\text{C}$;
- при эксплуатации: $-60^{\circ}\text{C} \div +45^{\circ}\text{C}$.

Провода АААС постепенно вводятся в энергосистему районов Крайнего Севера. В 2007–2009 гг. на острове Сахалин при строительстве новой ВЛ 110 кВ ПС «Южно-Сахалинская» — ПС «Южная» были использованы провода Aero-Z. Протяженность ЛЭП-110 ПС

«Южно-Сахалинская» — ПС «Южная» составила 5,5 км, количество установленных опор — 42; протяженность провода — 17 км.

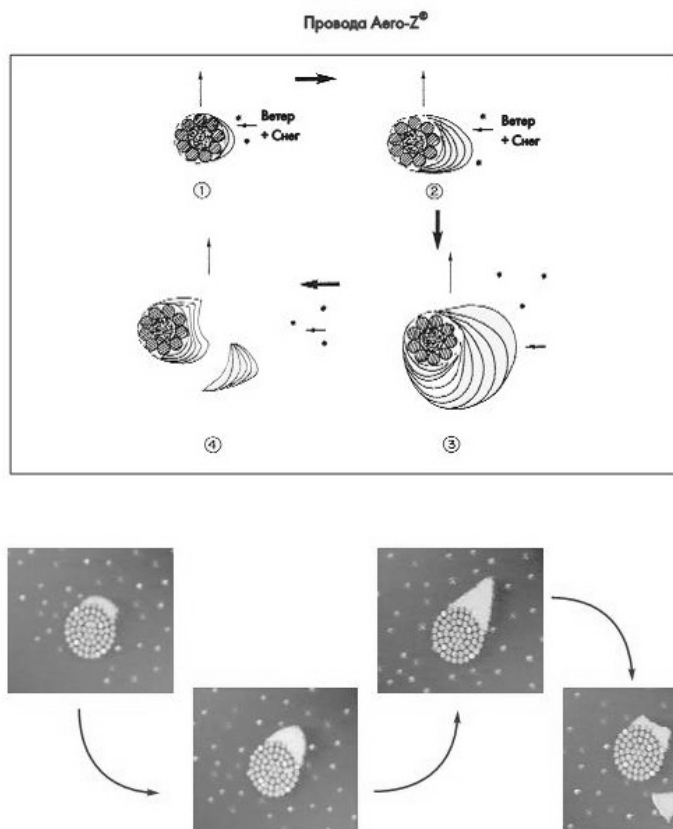


Рис. 2. Решение проблемы гололеда на проводах Aero-Z

В 2015 году на острове Сахалин была запущена в эксплуатацию воздушная линия 110 кВ, соединившая подстанции (ПС) «Хомутово-2» и «Корсаковская». Протяженность линии ПС «Хомутово-2» — ПС «Корсаковская» составила 38 км, для нее было возведено 177 опор и проложено 117 км провода Aero-Z. На ту же линию

той же протяженности при использовании провода АС потребуется 195 опор, что ведет за собой увеличение числа изоляторов и стоимости строительства линии.

Также провода АААС были использованы при реконструкциях ВЛ 110 кВ Тюменская ТЭЦ-2 — ПС «Ожогово», ВЛ 110 кВ ПС «Южно-Сахалинская» — Промузел — ПС «Центр» и строительстве ВЛ 110 кВ Эгвекинотская ГРЭС — ПС «Иультин».

По статистике, приведенной заводом-изготовителем провода АААС-Z, капитальные вложения в линии Аеро-Z выше на 25%, чем в линии с использованием АС. Это связано с более высокой ценой на провод нового поколения. Издержки на амортизацию и обслуживание линий Аеро-Z в 2 раза меньше, чем на линии с АС, а ущерб от недоотпуска электроэнергии в 5,7 раза ниже. Такое значительное различие обусловлено повышенной надежностью провода нового поколения и меньшим требуемым количеством опор, что в свою очередь снижает затраты на ремонт, техническое обслуживание и прочие траты при эксплуатации. В результате приведенные затраты на Аеро-Z в 3 раза меньше затрат на линию той же протяженности с использованием привычного провода марки АС.

Таким образом, при выборе между проводами Аеро-Z и АС в районах Крайнего Севера следует отдать предпочтение проводам Аеро-Z. Их преимущества в виде низкого уровня коррозии, меньших тепловых потерь, легкости, высокой механической прочности и меньших затрат на обслуживание делают провода нового поколения более надежными и эффективными для использования в суровых климатических условиях. Эти факторы обеспечивают долговечность и надежность ЛЭП, что особенно критично в условиях частых и сильных морозов и высокой вероятности образования гололеда. Благодаря конструктивным особенностям провода Аеро-Z можно назвать лучшим выбором для электрических сетей в условиях Крайнего Севера.

Список использованной литературы

1. Z-провода для высоковольтных линий электропередач / А. К. Каченков [и др.] // Материалы VI Международной молодежной научно-практической конференции — 2023. — URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energос/2023/energstart/pages/Articles/208.pdf>
2. Модернизация элементов энергосистемы путем внедрения инновационных технологий / А. А. Власов [и др.] // Актуальные проблемы энергетики. Материалы 73-й научно-технической конференции студентов и аспирантов — 2017. — URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/37676/Modernizaciya_ehlementov_ehnergосistemy_putem_vnedreniya_innovacionnyh_tekhnologij.pdf?sequence=1
3. Провода для высоковольтных воздушных линий электропередачи компактированные типа Z марки AAAC-Z / ООО «Ламифил» // Каталог компактированных проводов типа Z марки AAAC-Z — URL: <https://ламифил.рф/image/data/file/AAAC-Z.pdf?ysclid=makwamlqnu128594807>
4. Провода Aero-Z / И. З. Фазылов [и др.] // Международный научный журнал «Наука через призму времени» — 2020. — № 3 (36) — URL: <https://naupri.ru/journal/2441.php>
5. Инновационные высокоэффективные провода для линий электропередачи / В. Н. Курьянов [и др.] // Энергия единой сети. — 2016 — № 4 (27) — С. 70–78.
6. Компактные провода AERO-Z для высоковольтных линий электропередач / J. Lamcoul // Nexans. — URL: <https://prokabel.pro/public/Neizolirovannye%20provoda%20Aero-Z.pdf>
7. О применении на высоковольтных воздушных линиях проводов нового поколения АСк2у и AERO-Z / Л. И. Кулеева [и др.] // Сборник материалов II Международной научно-технической конференции «Автоматизация, энерго — и ресурсосбережение в промышленном производстве.» — 2017 — С. 40–41 — URL: <https://str.rusoil.net/files/nauka/konf/2017/sbornik2017.pdf>

УДК 621.311

Л. В. Владимиров, А. Я. Бигун, П. А. Вырва

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ГРОВОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повреждаемости электроэнергетических систем при возникновении грозовых перенапряжений, их моделирования и защиты от них с помощью нелинейных ограничителей и мультикамерных разрядников. Представлено сравнение результатов моделирования прямого удара молнии в линию с помощью современных программных комплексов. Показано, что значительное влияние на грозоупорность линий оказывает выбор способа защиты от грозового воздействия и уровень сопротивления заземляющего устройства опор.

Ключевые слова: *повреждения линий, грозовые перенапряжения, грозоупорность, моделирование, нелинейные ограничители перенапряжений, разрядники.*

L. V. Vladimirov, A. Ya. Bigun, P. A. Vyrvva

Surgut State University

DETERMINING THE LEVEL OF LIGHTNING OVERVOLTAGES IN ELECTRIC POWER SYSTEMS AND PROTECTION FROM THEM

Surgut

Abstract. The article considers the issues of damageability of electric power systems during lightning overvoltages, their modeling and protection against them using nonlinear limiters and multi-chamber arresters. A comparison of the results of modeling a direct lightning strike to a line using

modern software packages is presented. It is shown that the choice of the method of protection against lightning impact and the resistance level of the grounding device of supports have a significant impact on the lightning resistance of lines.

Keywords: *line damage, lightning overvoltages, lightning resistance, modeling, nonlinear surge arresters, arresters.*

Энергетические системы подвержены воздействию грозовых и внутренних перенапряжений. Основными элементами являются линии, подстанции и электрические станции. Наиболее повреждаемым элементом при воздействии грозовых перенапряжений являются линии электропередачи, распределительные устройства подстанций и электростанций [1]. На рис. 1 представлена статистика повреждаемости линий электропередач номинальным напряжением 35–220 кВ. Видно, что значительная часть повреждений вызвана атмосферными или грозовыми перенапряжениями.

При моделировании грозовых перенапряжений важную роль играют параметры грозового разряда, в частности длительность фронта и импульса. Согласно требованиям НТД принимают стандартные значения 1,2 мкс и 50 мкс.

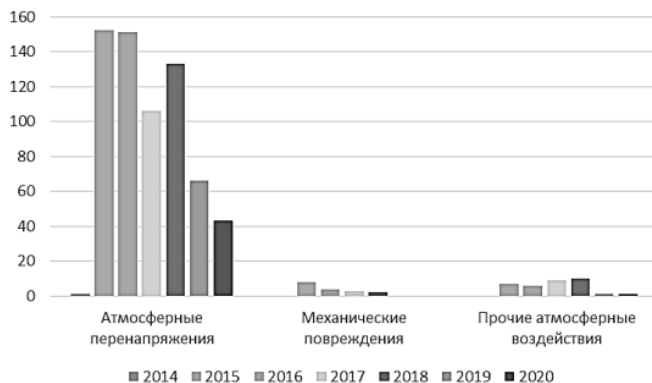


Рис. 1. Статистика повреждаемости линий электропередач номинальным напряжением 35–220 кВ

Линии электропередачи обладают значительной протяженностью. Например, согласно статистическим данным, суммарная протяженность ВЛ 110 кВ составляет порядка 250 тыс. км.; ВЛ 35 кВ — до 200 тыс. км.; ВЛ 6–10 кВ — 1200 км. Согласно данным ПАО «Россети», доля повреждений линий 110 кВ, вызванных грозовыми воздействиями, составляет почти половину от общего числа повреждений (рис. 2).

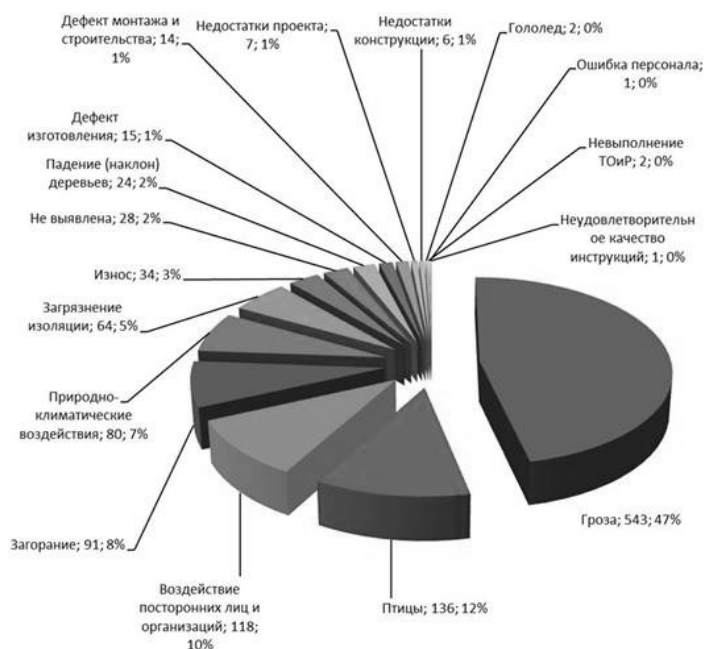


Рис. 2. Статистика ПАО «Россети» по причинам повреждения воздушных линий электропередачи 110 кВ

Грозовые воздействия по характеру можно разделить на индуктированные и прямой удар молнии в линии. В первом случае перенапряжения возникают в линиях в результате удара молнии вблизи. Наиболее опасен данный вид перенапряжений для линий

среднего класса напряжения, поскольку они зачастую экранированы другими объектами и не подвержены прямым ударам.

Прямой удар молнии в линии характерен для линейных объектов напряжением свыше 35 кВ, характеризуется высоким уровнем импульсного перенапряжения, опасного для изоляции линии и оборудования подстанций.

При анализе грозовых перенапряжений и разработке имитационных моделей зачастую рассматриваются три основных, характерных случая удара молнии (рис. 3):

- 1) в грозозащитный трос;
- 2) непосредственно в опору линии;
- 3) в фазный провод в середине пролета.

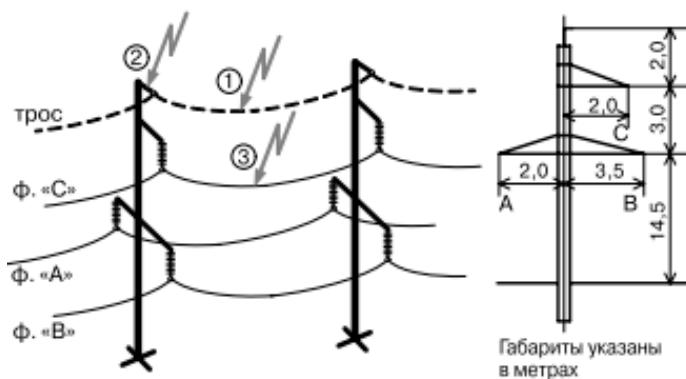


Рис. 3. Расчетные случаи прямого удара молнии в линию

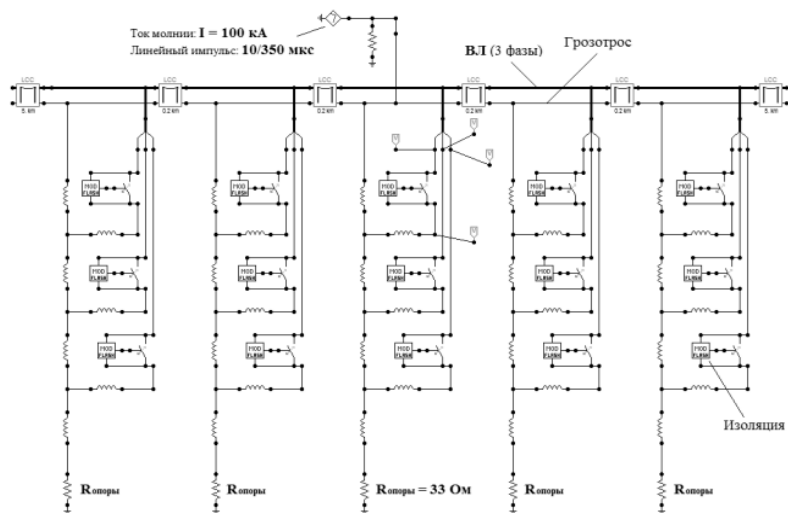
Согласно требованиям ПУЭ, линии 110 кВ и выше должны быть защищены с помощью троса по всей длине. Следует отметить, что эффективность применения тросовых молниеотводов во многом зависит от величины сопротивления заземляющего устройства опор линии и с ростом сопротивления наблюдается рост повреждаемости линий. Увеличение сопротивления зачастую вызвано высоким удельным сопротивлением грунта, что характерно для песчаных,

скалистых грунтов и регионов с вечной мерзлотой. Это еще один фактор, который следует учитывать при разработке моделей и выборе мероприятий по молниезащите [2].

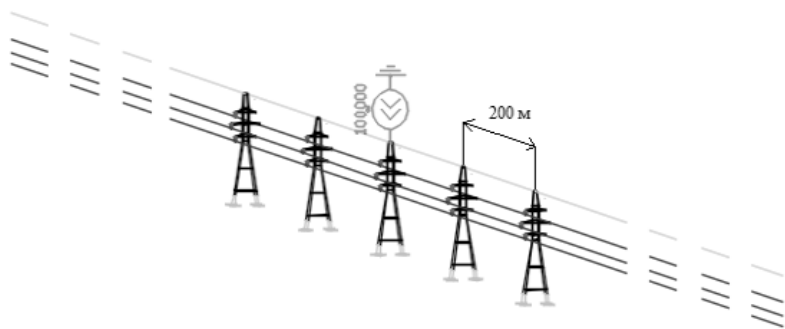
Поскольку задача моделирования грозовых перенапряжений требует учета множества факторов, то для ее решения эффективно применение специализированных вычислительных комплексов [3, 4]. В результате анализа установлено, что преимущественно задача имитационного моделирования решается с помощью американско-канадского программного комплекса ЕМТР-АТР (Рис. 4, а). Данный продукт содержит библиотеки основных элементов и позволяет собрать достаточно сложные модели. Также стоит выделить еще один отечественный программный продукт — ЗУМ (рис. 4, б). Преимуществом его является возможность использования в качестве надстройки для САД программ и учет реальных геометрических параметров объекта. Оба комплекса также могут быть использованы при разработке мероприятий по молниезащите линии и подстанций.

На рис. 5 представлены диаграммы в случае ПУМ в вершину опоры линии 110 кВ. В случае если сопротивление заземления опоры не превышает 100 Ом, перекрытия изоляции фаз не происходит. При высокоомном сопротивлении эффективность молниезащиты снижается, возникает обратное перекрытие гирлянды изоляторов нижней фазы и последующее перекрытие изоляции верхней фазы.

На рис. 6 представлены результаты моделирования случая ПУМ в линию при отсутствии грозозащитного троса с помощью ЗУМ и ЕМТР. Видно, что результаты моделирования практически идентичны, что говорит об адекватности моделей и алгоритмов.



а)



б)

Рис. 4. Внешний вид имитационных моделей для линии 110 кВ
в программном комплексе а) ЕМТР б) ЗУМ

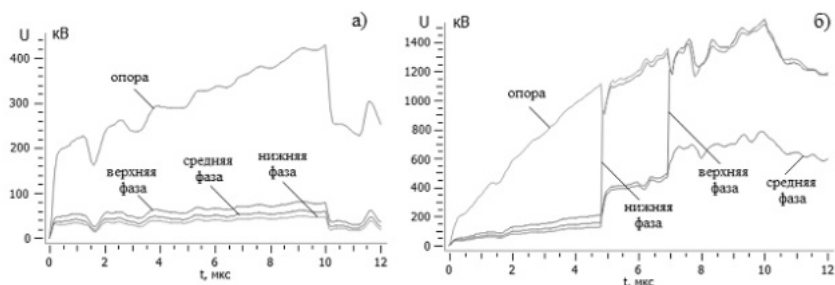


Рис. 5. Потенциалы проводов и опоры ВЛ при ударе молнии с током 100 кА в вершину опоры: а) $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; б) $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Как ранее было отмечено, эффективность применения тросовых молниеотводов может быть ограничена. В ряде случаев трос может быть вообще не предусмотрен. Отсюда возникает необходимость поиска эффективных решений по молниезащите линии и защите подстанций от набегающих с линии волн. На рис. 7 представлена имитационная модель участка линии 110 кВ, представленного пятью одноцепными опорами.

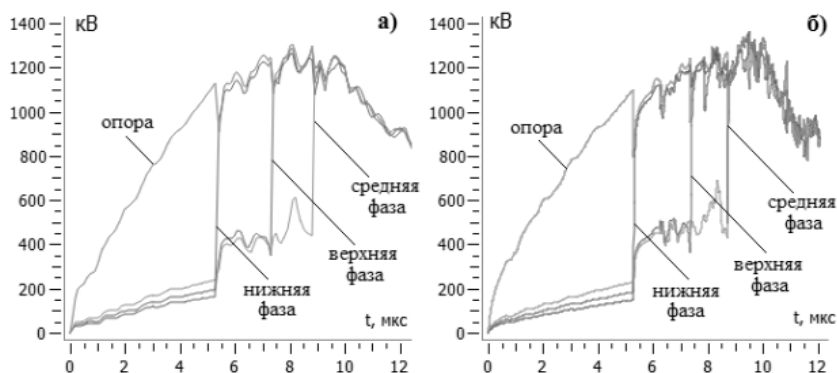


Рис. 6. Сравнение результатов моделирования ВЛ 110 кВ в двух ПО:
а) ЗУМ; б) ЕМТР

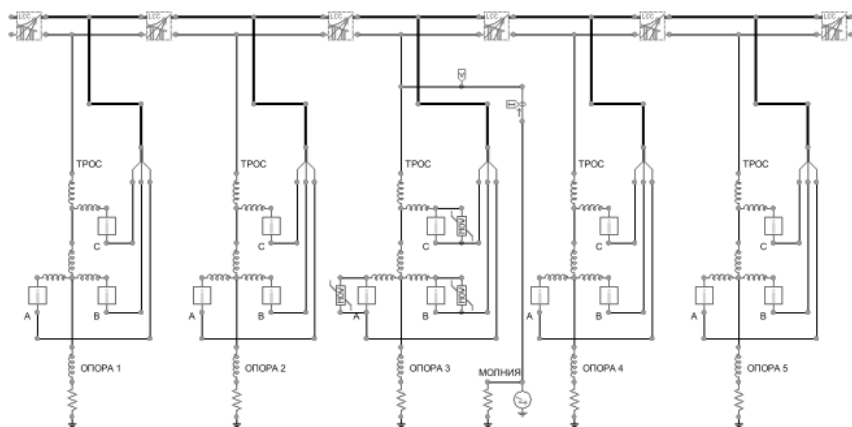


Рис. 7. Расчетная модель линии в EMTP

Показано, что применение ОПН для защиты линии совместно с тросом и без него повышает грозоупорность линии, в том числе при высоком сопротивлении заземляющего устройства (рис. 8, 9).

Следует отметить, что важным фактором является выбор места установки ОПН. В каждой фазе или выборочно, через опору и т. д. К сожалению, в нормативной документации не отражены основные вопросы выбора параметров ОПН и места их установки, что требует более детального анализа и проработки [5]. Предложены варианты размещения ОПН при различном исполнении опор и расположении фаз (таблица 1). Дана оценка надежности защиты для каждого из вариантов. Наряду с нелинейными ограничителями перенапряжений, для защиты ЛЭП применяются специальные линейные разрядники [6]. Их характеристики обеспечивают защиту ЛЭП от грозовых перенапряжений — при меньшей стоимости.

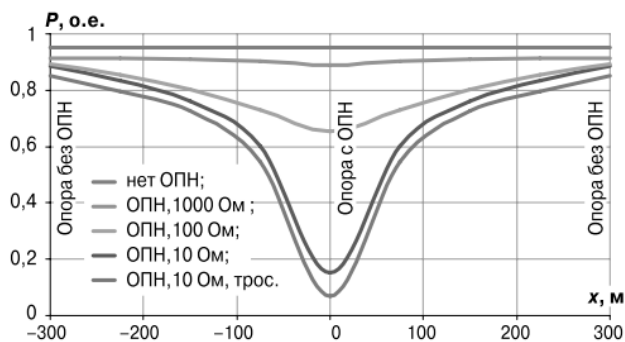
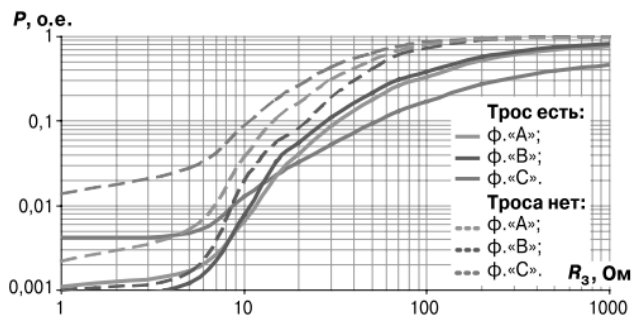


Таблица 1. — Схемы установки ОПН для защиты ВЛ

Тип опоры	Одноствоечная опора с треугольным расположением проводов			Портальная опора с горизонтальным расположением проводов		Одноствоечная двухцепная опора с вертикальным расположением проводов		
Схема защиты								
Надежность защиты	>0,999	>0,95	>0,8	>0,999	>0,85	>0,999	>0,99	>0,9
Номер варианта	T1	T2	T3	Г1	Г2	В1	В2	В3

○ – фазный провод без ОПН; ● – фазный провод с установленным ОПН.

В заключение стоит отметить, что задача оценки воздействия разрядов молнии на оборудование электроэнергетических систем важна и требуется совершенствование методик расчета, моделирования и защиты воздушных линий электропередачи, особенно в условиях высокоомных грунтов.

Список использованной литературы

1. Карпова, Н. А. Особенности оценки надежности воздушных линий 110 кВ при грозовых перенапряжениях / Н. А. Карпова, А. А. Стародубцев, Д. А. Долматов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. — 2016. — Т. 1. — С. 37–41. — EDN XEAZOD.

2. Костанда, Л. И. Технические решения по повышению грозоупорности подстанций 35–110 кВ в условиях грунтов с низкой проводимостью / Л. И. Костанда, Д. А. Голдобин // *Ceteris Paribus*. — 2015. — № 1. — С. 22–26. — EDN UOSXGN.

3. Шишигин, Д. С. Моделирование грозовых перенапряжений воздушных линий / Д. С. Шишигин // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. — 2022. — № 1(15). — С. 14–17. — EDN HVULGV.

4. Шишигин, С. Л. Расчет числа грозовых отключений воздушной линии 110 кВ / С. Л. Шишигин, Д. С. Шишигин, И. Н. Смирнов // *Электричество*. — 2023. — № 9. — С. 22–30. — DOI 10.24160/0013-5380-2023-9-22-30. — EDN BJBQYF.

5. Кемпонен, М. Э. Молниезащита оборудования ПС 110–220 кВ с помощью ОПН от набегающих волн перенапряжений с линий электропередачи при демонтаже грозозащитного троса на подходе к подстанциям / М. Э. Кемпонен, А. В. Колычев, А. М. Гулов // *Электроэнергия. Передача и распределение*. — 2024. — № 2 (83). — С. 62–65. — EDN JQOЕНО.

6. Гульков, Ю. В. Снижение влияния грозовых перенапряжений на электрическую изоляцию воздушных линий электропередач

6(10) КВ / Ю. В. Гульков, А. В. Турышева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2021. — № 5. — С. 452–458. — DOI 10.24412/2071-6168-2021-5-452-458. — EDN LGJNQB.

УДК 621.31

Л. В. Садовская, Н. Е. Вантензин

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА
RastrWin3 ДЛЯ РАСЧЕТА БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

г. Сургут

Аннотация. Применение программного комплекса «RastrWin3» для моделирования и анализа режимов электроэнергетических систем.

Ключевые слова: Программный комплекс, RastrWin3, электроэнергетическая система, моделирование режимов электрических сетей, автоматизация расчетов.

L. V. Sadovskaya, N. E. Vantenzin

FSBI HE «SSUWT», Novosibirsk

POWER BALANCE ANALYSIS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS
USING RASTRWIN 3 SOFTWARE

Surgut

Abstract. Application of the RastrWin3 software package for modeling and analyzing modes of electric power systems.

Keywords: Software package, RastrWin3, electric power system, modeling of electric grid modes, automation of calculations.

Современные инновационные технологические решения по развитию в Российской Федерации электроэнергетической отрасли в части создания цифровых активно-адаптивных сетей Smart Grid включают в себя мероприятия по внедрению искусственного интеллекта в управление сетями и повышение надежности системы, кроме того, направлены на снижение затрат на эксплуатацию электрооборудования и совершенствование экологических характеристик производственных процессов.

Из этой области инновационных технологий можно выделить следующие направления, которые сформулированы в Программе инновационного развития ПАО «Россети» [3]:

- внедрение элементов искусственного интеллекта в системы автоматизации и сетевую автоматику;
- развитие распределенной генерации и ее интеграция в крупные энергообъединения, в том числе солнечные электростанции и возобновляемые источники энергии (ВИЭ);
- проектирование, цифровизация и создание инженерных экосистем для строительства цифровых подстанций на стандартах МЭК 61850;
- перевод на новый уровень с использованием искусственного интеллекта технологии компенсации реактивной мощности в энергосистемах;
- переход систем учета электроэнергии на интеллектуальные (ИСУЭЭ) и повышение качества обслуживания потребителей;
- совершенствование систем сетевого накопления энергии и современной инфраструктуры для зарядки электрических автомобилей.

Надежность и высокая энергоэффективность современных цифровых активно-адаптивных сетей электроэнергетических комплексов предусматривает необходимость планирования и управления режимами электрических систем. В настоящее время задачи

управления режимами электроэнергетических систем сложны и имеют высокую размерность и их относят к большим системам кибернетического типа, поэтому необходимо использовать компьютерные технологии.

Большинство предприятий электроэнергетического комплекса нашей страны для расчета и управления режимами использует различные программные комплексы (ПК), таких как ПК RastrWin3, ПК «КОСМОС», ПК RuStab, ПК EuroStag. Широкое распространение получил ПК для расчета, оптимизации и анализа установившихся, аварийных и переходных режимов энергосистем RastrWin3. Данная программа используется в более чем 200 российских компаниях, таких как АО ДРСК, МЭС Сибири, Алтайское РДУ и др. Комплекс имеет широкий функционал, который позволяет проводить расчеты всех возможных режимов работы электрической сети. Расчеты можно проводить для систем любых классов напряжения, при этом программа позволяет смоделировать до 32 тыс. узлов.

Для любого расчета установившегося режима создается информационная модель, элементы которой приведены на рис. 1. К составляющим такой модели относятся [1]:

- для обеспечения допустимого совпадения результатов расчетов с параметрами фактических электроэнергетических режимов разрабатывается расчетная модель и описываются принципы моделирования;
- возможность моделирования аварийных возмущений и последующих послеаварийных режимов обеспечивается объемом и структурой расчетной модели;
- расчетная модель содержит справочник для автоматизированной оценки допустимости режима.

Программа основывается на математических моделях электроэнергетических систем [2]. Система нелинейных уравнений описывает установившиеся и переходные процессы в сети.

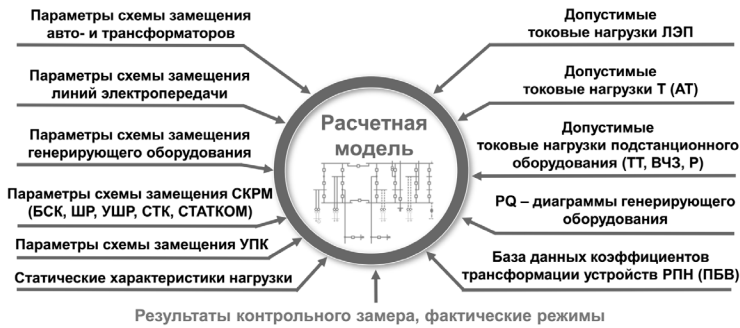


Рис. 1. Информационная основа модели электроэнергетической системы [1]

Установившиеся режимы в RastrWin3 описываются методом узловых напряжений. Он является основным алгоритмом для расчета и описания установившихся режимов. Математически метод основывается на *первом законе Кирхгофа*. Для каждого узла формируется система уравнений токов и напряжений. Важно заметить, что для базового узла уравнения не формируются.

$$I_i = \sum_{j=1}^N Y_{ij} \cdot U_j$$

где: I_i — ток в узле i ; Y_{ij} — элементы матрицы проводимостей; U_j — напряжение в узлах.

Мощность узла из этой системы будет рассчитываться как произведение тока в узле i и напряжения в этом узле i :

$$S_i = U_i \cdot \left(\sum_{j=1}^N Y_{ij} \cdot U_j \right)$$

Решение систем уравнения выполняется с использованием итерационного *метода Ньютона*. Он позволяет за несколько итераций, например за 3–5 итераций, добиться сходимости уравнений, поэтому метод довольно эффективный.

В ходе расчета режима определяются только напряжения узлов, а непосредственно перед отображением вычисляются

остальные расчетные величины, такие как потоки мощности, токи и др. Для этого используются следующие формулы для линий электропередачи и силовых трансформаторов.

Модели силовых трансформаторов представлены разновидностью Т-образной схемы замещения — Г-образной схемой (рис. 2).

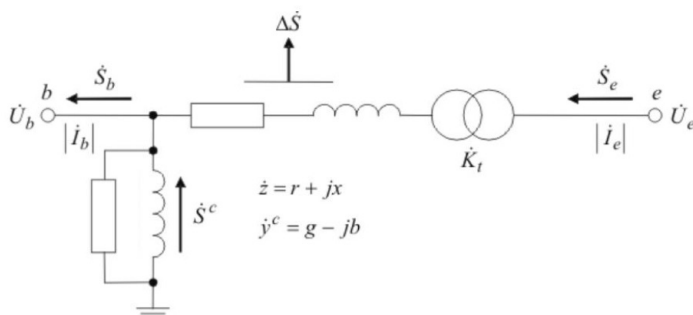


Рис. 2. Силовой двухобмоточный трансформатор.
Г-образная схема замещения [2]

В модели для Г-образной схемы определяются параметры:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U} &= \frac{\dot{U}_e}{K_t} - \dot{U}_b & \dot{I} &= \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{z}} \\ \dot{I}_b^c &= \dot{U}_b y^c & |I| &= \sqrt{I'^2 + I''^2} \\ \dot{I}_b &= \dot{I} - \dot{I}_b^c & \dot{I}_e &= \frac{\dot{I}}{K_k^*} \\ |\dot{I}_b| &= \frac{\sqrt{I_b'^2 + I_b''^2}}{\sqrt{3}} & |\dot{I}_e| &= \frac{\sqrt{I_e'^2 + I_e''^2}}{\sqrt{3}} \\ \dot{S}_b &= \dot{U}_b \dot{I}_b^* & \dot{S}_e &= \dot{U}_e \dot{I}_e^* \\ \dot{S}_b^c &= \dot{U}_b \dot{I}_b^{*c} & \Delta \dot{S} &= |I|^2 \dot{z} \end{aligned}$$

Линия электропередачи (ЛЭП) — это второй элемент, который представлен стандартной П-образной схемой замещения (рис. 3).

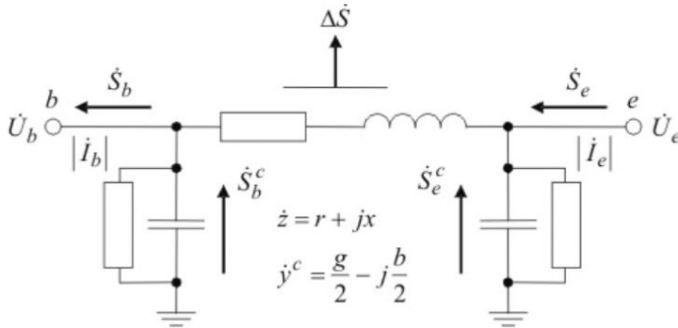


Рис. 3. Линии электропередачи. П-образная схема замещения [2]

Для такой схемы в модели также определяются следующие параметры:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U} &= \dot{U}_e - \dot{U}_b & i &= \frac{\Delta \dot{U}}{z} \\ |I| &= \sqrt{I'^2 + I''^2} & \dot{I}_e^c &= \dot{U}_e y^c \\ \dot{I}_b^c &= \dot{U}_b y^c & \dot{I}_e &= \dot{I} + \dot{I}_e^c \\ \dot{I}_b &= \dot{I} - \dot{I}_b^c & |\dot{I}_e| &= \frac{\sqrt{I_e'^2 + I_e''^2}}{\sqrt{3}} \\ |\dot{I}_b| &= \frac{\sqrt{I_b'^2 + I_b''^2}}{\sqrt{3}} & \dot{S}_b &= \dot{U}_b I_b^* \\ \dot{S}_b^c &= \dot{U}_b I_b^{*c} & \dot{S}_e &= \dot{U}_e I_e^* \\ \dot{S}^c &= \dot{S}_b^c + \dot{S}_e^c & \dot{S}_e^c &= \dot{U}_e I_e^{*c} \\ \Delta \dot{S} &= |I|^2 z & \Delta \dot{S} &= |I|^2 z \end{aligned}$$

Но если для описания силового трансформатора в таблице параметров достаточно задать коэффициент трансформации, то для описания линии электропередачи требуется значительно больше параметров (рис. 4) с учетом расположения проводов воздушных линий электропередачи на опорах (рис. 5, 6).

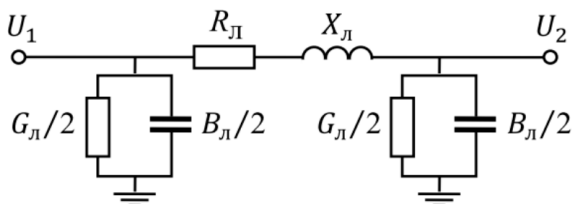


Рис. 4. Π -образная схема замещения ЛЭП для расчета параметров линии [1]

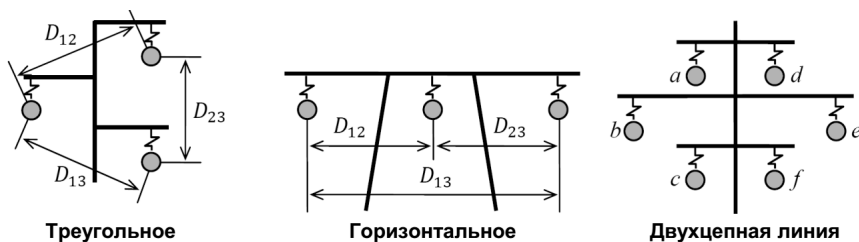


Рис. 5. Расположения проводов ЛЭП на опорах [1]

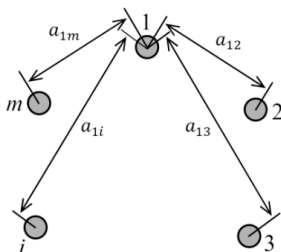


Рис. 6. Расположения проводов при расщеплении фазы ЛЭП [1]

Параметры линии электропередачи в модели определяются по следующим формулам.

Зависимость R_0 от температуры: X_0 с учетом расположения фаз на опорах:

$$R_{0,t} = R_{0,20^\circ} [1 + 0,004(t - 20^\circ)]$$

$$X_0 = 0,1445 \lg \frac{D_{cp}}{r_3} + \frac{0,0157}{m}$$

где

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{12} D_{13} D_{23}};$$

$$r_3 = \sqrt[m]{r \prod_{i=2}^m a_{1i}}$$

Проводимость проводов с учетом потерь на короны (активная): Проводимость ЛЭП с учетом токов смещения ЭСП (емкостная):

$$G_0 = \frac{\Delta P_{к.о}}{U_{ном}^2}$$

$$B_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{D_{cp}}{r_3}} \cdot 10^{-6}$$

Активное сопротивление линии: Индуктивное сопротивление линии:

$$R_{\lambda} = R_0 \cdot \frac{1}{n}$$

$$X_{\lambda} = X_0 \cdot \frac{1}{n}$$

Активная проводимость линии: Емкостная проводимость линии:

$$B_{\lambda} = B_0 \cdot l \cdot n$$

$$G_{\lambda} = G_0 \cdot l \cdot n$$

В программном комплексе задаются узлы генерации и нагрузки, так называемые *PU* и *PQ*-узлы соответственно. Для узлов генерации задается активная мощность и напряжение узла, для нагрузки — активная и реактивная мощность узла. Физическая достоверность моделирования и расчета режима обеспечивается *балансирующим узлом*, который позволит системе компенсировать небаланс мощностей, потери в линиях, трансформаторах. Этот узел необходим

	O	S	Тип	Номер	U_ном	N...	Район	P_н	Q_н	P_г	Q_г
1	☐		База	201	242		1			433,9	566,6
2	☐		Нагр	202	242		1				
3	☐		Нагр	203	242		1	80,4	60,4		

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	R	X	B	Kт/р
1	☐		ЛЭП	201	202	3,10	13,50	333,0	
2	☐		ЛЭП	201	203	2,20	12,20	313,0	
3	☐		ЛЭП	202	203	7,40	32,20	198,0	
4	☐		ЛЭП	203	204	2,10	12,00	308,0	
5	☐		ЛЭП	112	115	7,98	26,73	184,0	
6	☐		ЛЭП	112	114	8,10	20,70	138,0	

Рис. 8. Таблица узлов и ветвей в RastrWin3

	O	S	Тип	N_нач	N_кон	R	X	B	Kт/р	P_нач	Q_нач	I max
1	☐		ЛЭП	201	202	3,10	13,50	333,0		-203	-266	798
2	☐		ЛЭП	201	203	2,20	12,20	313,0		-231	-301	905
3	☐		ЛЭП	202	203	7,40	32,20	198,0		-6	-3	24
4	☐		ЛЭП	203	204	2,10	12,00	308,0		-151	-188	617
5	☐		ЛЭП	112	115	7,98	26,73	184,0		-29	-29	242
6	☐		ЛЭП	112	114	8,10	20,70	138,0		-9	-8	68
7	☐		Тр-р	202	112	0,50	29,60		0,500	-191	-220	747
8	☐		Тр-р	204	114	0,50	29,60		0,500	-148	-160	587

Рис. 9. Результат расчета небаланса мощностей

Список использованной литературы

1. Дьячков, В. А. Технологии расчета электрических режимов. Формирование расчетных моделей, расчет и анализ перспективных, текущих и аварийных электроэнергетических режимов / В. А. Дьячков // Конференция по ознакомлению субъектов электроэнергетики с технологической деятельностью АО «СО ЕЭС» 19 июля 2018 г. — Москва, 2018. — 38 с.
2. Неуймин, В. Программный комплекс «RastrWin3». Руководство пользователя / В. Неуймин, Е. В. Машалов, А. С. Александров, А. А. Багрянцев. — 2019. — 324 с.

3. Программа инновационного развития ПАО «Россети» на период 2016–2020 гг. с перспективой до 2025 г. — Москва, 2016. — 341 с.

УДК 621.316

С. М. Слободчиков¹, В. А. Мансуров¹, А. А. Востриков²

¹ НГДУ «Сургутнефть», г. Сургут

² «СургутНИПИнефть», г. Сургут

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается, какие проблемы управления режимами имеют ЭЭС в настоящее время. Предложены решения, которые улучшат управление режимами ЭЭС на основе современных технологий. Решения представлены на основе современных технологий.

Ключевые слова: *проблемы управления режимами ЭЭС, система Smart Grid, накопители электроэнергии.*

S. M. Slobodchikov¹, V. A. Mansurov¹, A. A. Vostrikov²

¹ NGDU «Surgutneft», Surgut

² «SurgutNIPIneft», Surgut

PROBLEMS OF MANAGING THE MODES OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

Surgut

Abstract. The article examines the current problems of EES regime management. Proposed solutions that will improve the management of EES

modes based on modern technologies. Solutions are proposed based on modern technologies.

Keywords: *problems of management of EES modes, Smart Grid system, electric power storage.*

Электроэнергетическая система — основа обеспечения электроснабжения страны или региона. Электроэнергетические системы обеспечивают стабильное и бесперебойное электроснабжение потребителя. Современные условия вынуждают ЭЭС сталкиваться со сложными задачами. Одна из самых ярко выраженных проблем — это проблема управления режимами работы электроэнергетической системы.

Введение в управление режимами ЭЭС. Управление режимами работы энергетической электрической системой подразумевает контроль за состоянием аппаратуры с целью поддержания равновесия между выработкой и потреблением энергии, а также обеспечения качества электрической энергии. Важнейшими параметрами, влияющими на режим работы ЭЭС, являются напряжение, частота и мощность. Ключевыми задачами управления режимами являются:

1. Поддержание оптимальной частоты в пределах 50 Гц.
2. Поддержание потоков мощности в объектах электрической сети в допустимых пределах.
3. Выполнение диспетчерских графиков мощности отдельных электростанций.

Управление электроэнергетической системой в режимах работы. В нормальных режимах — обеспечение всех потребителей энергией при соблюдении нормативов по качеству и надежности с наибольшей экономичностью. В аварийном режиме — минимизация потерь от ограничения электропотребления и повреждения электрооборудования за счет своевременной мобилизации ресурса воздействий и их оптимального использования. В послеаварийном режиме — предотвращение развития аварии с помощью воздействий, отвечающих минимуму ущерба электрической системы и потребителей.

Правильность управления режимами работы электроэнергетических систем позволяет достичь эффективной эксплуатации, а также надежности. В процессе работы возникают проблемы, которые требуют решений.

Проблемы управления режимами работы ЭЭС. Несмотря на текущий прогресс управлением режимами электроэнергетических систем, существуют несколько проблем, на которые нужно обращать внимание.

1) Нехватка мощности в пиковые часы.

ЭЭС должны иметь возможность быстро наращивать мощности в пиковые часы, когда потребление достигает максимума. Для этого необходимо наличие резервных источников энергии, а также возможность оперативного включения резервных мощностей, таких как газовые турбины или использование накопителей энергии. В ряде случаев нехватка мощности может привести к дефициту энергии и снижению надежности электроснабжения, что влечет за собой угрозу для экономической стабильности и качества жизни.

2) Устаревшее оборудование и технические проблемы.

В настоящее время в электроэнергетических системах еще эксплуатируется оборудование, которое было введено десятки лет назад, а то и более. Это, в свою очередь, влечет за собой возникновение технических неисправностей. Возникает проблема в стабильной работе системы. Это затрудняет эффективное управление режимами работы системы. Также старое оборудование требует затраты на обслуживание и не позволяет внедрять современные технологии.

Современные подходы к решению проблем управления режимами ЭЭС. Для решения вышеупомянутых проблем ученые и инженеры предлагают различные подходы и технологии.

1. Использование системы Smart Grid.

Система подразумевает установку модулей, которые выполняют обработку информации. Информация передается на сервер компьютерам, а далее — на исполнительные элементы.

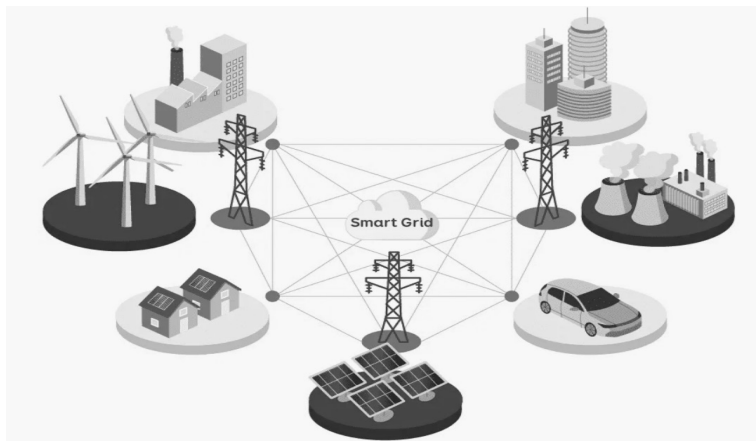


Рис. 1. Схема системы Smart Grid

В качестве модулей используются счетчики с процессором. Принцип работы заключается в производстве расчетов, накоплении информации и передачи ее по сети. Это позволит просматривать состояние системы, делать прогноз потребности в энергии и в то же время производить изменения.

Представлен один из видов таких микропроцессорных счетчиков. Счетчик СЕ308-С36, а также схема его монтажа на опору ВЛ.



Рис. 2. Счетчик СЕ308-С36

Технические параметры счетчика приведены в таблице 1.

Таблица 1. — Технические параметры CE308-C36

Показатели	Величины
Класс точности по активной/реактивной энергии	0,2/0,2
Номинальное напряжение, В	3х230/400
Базовый (максимальный) ток, А	5 (100)
Стартовый ток (чувствительность), мА	10
Частота измерительной сети, Гц	50±2,5
Число тарифов	4
Время усреднения профилей нагрузки, мин	1, 3, 5, 10, 15, 30, 60
Глубина хранения профиля (при времени усреднения 60 мин.), сутки	360
Количество датчиков тока, шт	3
Диапазон рабочих температур, °С	от - 40 до +70

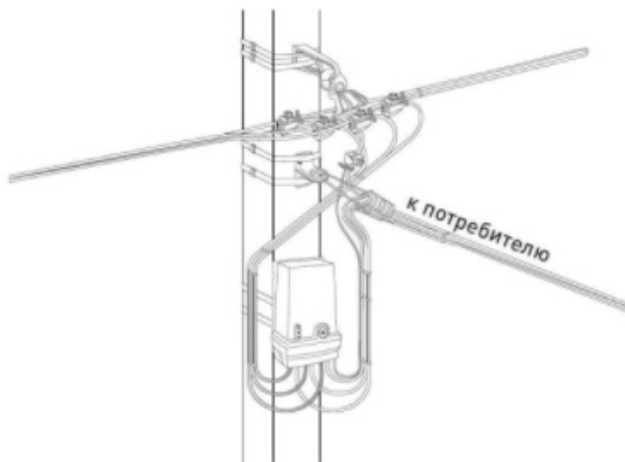


Рис. 3. Схема монтажа к опоре ВЛ

Внедрение таких умных сетей позволит легко адаптировать ЭЭС и улучшить управление режимами.

Также решением поставленных проблем может быть внедрение систем накопления электроэнергии (СНЭ) — это инновационная

система в электроэнергетике. Эта система выполняет функции накопления, хранения и передачи электроэнергии потребителям, главная цель такой системы — это предоставление требуемого качества электроэнергии и поддержание необходимых режимов работы энергосистемы.

У СНЭ присутствует принципиальное отличие от традиционных источников бесперебойного питания, которое заключается в параллельном, а не последовательном подключении к сети. В СНЭ реализованы две ключевые возможности: накопление электроэнергии от сети и передача электроэнергии в сеть.



Рис. 4. Внешний вид накопителя энергии

Внедрение СНЭ в систему регулирования суточными нагрузками потребителей на объекте городского микрорайона с установленной мощностью порядка 8,5 МВт. График без применения и с применением СНЭ представлен на рис. 5.

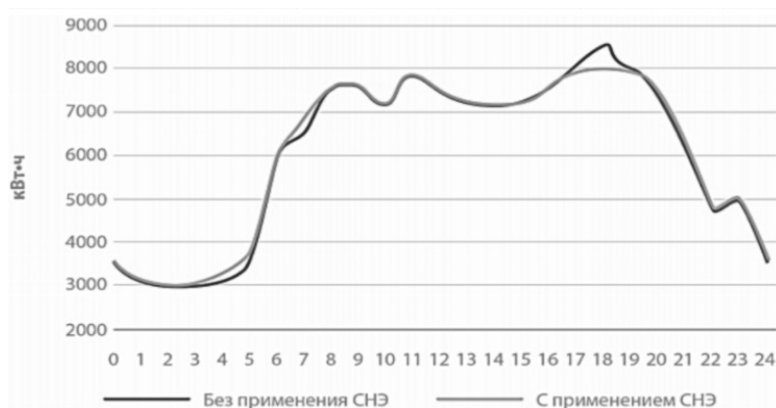


*Рис. 5. Возможности СНЭ для управления почасовым профилем потребления электроэнергии в жилом микрорайоне (кВт*ч)*

Заключение. Управление режимами работы ЭЭС является сложной задачей, которая требует учета таких факторов, как потребление энергии, технического состояния оборудования и других. Несмотря на современные технологии, проблема обеспечения стабильной и надежной работы ЭЭС остается актуальной по сей день. Использование представленных решений позволит решать проблемы и повысить эффективность работы энергосистемы.

Список использованной литературы

1. Егоров, В. Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе / В. Егоров, С. Кужеков // Энерго-Рынок. — 2010. — № 6.
2. Сетевые накопители энергии (СНЭ) с использованием литийионных аккумуляторов (ЛИА) / Электронный доступ: http://www.tensy.ru/sne_lia (дата обращения: 13.10.2018).
3. Совалов, С. А. Противоаварийное управление в энергосистемах / С. А. Совалов, В. А. Семенов. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 256 с.

4. Воропай, Н. И. Совершенствование системы мониторинга и управления электрическими сетями мегаполисов / Н. И. Воропай, В. Г. Курбацкий, Н. В. Тomin, Д. А. Панасецкий // Энергетик. — 2016. — № 8. — С. 12–16.

5. Воропай, Н. И. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы / Н. И. Воропай, В. А. Стенников // Известия РАН. Энергетика. — 2014. — № 1. — С. 62–72.

6. Бушуев, В. В. Энергетика как инфраструктурная «система систем» / В. В. Бушуев, А. С. Каменев, Б. Б. Кобец // Энергетическая политика. — 2012. — Вып. 5. — С. 21–25.

7. The Smart Grid Reliability Bulletin. — ABB White Paper, North American Corporate Headquarters. — 2009. — 14 p.

8. Zhang X.-P., Rehtanz Ch., Pal B. Flexible AC transmission systems: Modelling and control. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. — 336 с.

УДК 621.316

С. И. Наумова, А. Х. Сабитов

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ НАГРУЗОК

г. Сургут

Аннотация. Статья посвящена исследованию работы распределительных устройств (РУ) в условиях повышенных нагрузок, которые возникают вследствие роста энергопотребления, пиковых режимов работы или аварийных ситуаций. Рассмотрены основные проблемы, связанные с перегревом оборудования, ухудшением изоляции и повреждением коммутационной аппаратуры. Предложены методы повышения устойчивости

РУ, включая использование оборудования с повышенной нагрузочной способностью, систем активного охлаждения и автоматизации. Особое внимание уделено роли мониторинга и прогнозирования для предотвращения аварий и обеспечения надежности энергосистем.

Ключевые слова: *распределительные устройства, повышенные нагрузки, перегрев оборудования, изоляция, системы охлаждения, мониторинг.*

S. I. Naumova, A. H. Sabitov

FSEI HPE «KSPEU», Kazan

SWITCHGEAR IN HIGH-LOAD CONDITIONS

Surgut

Abstract. The article is devoted to the study of the operation of switchgears in conditions of increased loads that arise due to increased energy consumption, peak operating conditions or emergency situations. The main problems related to overheating of equipment, deterioration of insulation and damage to switching equipment are considered. Methods of increasing the stability of the control room are proposed, including the use of equipment with increased load capacity, active cooling and automation systems. Special attention is paid to the role of monitoring and forecasting to prevent accidents and ensure the reliability of power systems.

Keywords: *switchgear, increased loads, overheating of equipment, insulation, cooling systems, monitoring.*

Современные энергетические системы сталкиваются с растущими требованиями к надежности и эффективности работы распределительных устройств (РУ). Эти устройства играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной передачи и распределения электроэнергии, особенно в условиях повышенных нагрузок. Такие нагрузки могут возникать вследствие увеличения потребления

энергии, пиковых режимов работы промышленных предприятий или аварийных ситуаций в сети. В данной статье рассматриваются особенности работы распределительных устройств в условиях повышенных нагрузок, а также методы повышения их устойчивости и эффективности.

Распределительные устройства предназначены для приема, распределения и передачи электроэнергии между потребителями. В нормальных условиях они работают в рамках проектных параметров, однако при увеличении нагрузки могут возникать перегрузки, приводящие к перегреву оборудования, снижению изоляционных свойств и в конечном итоге к авариям. Повышенные нагрузки могут быть как кратковременными, так и длительными. В первом случае это может быть связано с пусковыми токами двигателей или включением мощного оборудования, во втором — с ростом энергопотребления в целом.

При повышенных нагрузках увеличивается ток, протекающий через элементы распределительного устройства, что приводит к выделению большого количества тепла. Это особенно критично для таких компонентов, как шины, выключатели, разъединители и трансформаторы. Перегрев может вызвать деформацию материалов, ухудшение контактных соединений и даже возгорание. Кроме того, повышенные нагрузки могут привести к снижению напряжения в сети, что негативно сказывается на работе потребителей.

Одним из наиболее уязвимых элементов распределительных устройств в условиях повышенных нагрузок является изоляция. Изоляционные материалы, используемые в РУ, рассчитаны на определенные температурные режимы. При превышении допустимых значений температуры происходит ускоренное старение изоляции, что снижает ее диэлектрическую прочность. Это может привести к пробоям и коротким замыканиям, которые не только выводят оборудование из строя, но и создают угрозу для персонала.



Рис. 1. Измерение сопротивления изоляции ОРУ

Коммутационная аппаратура, такая как выключатели и разъединители, также подвержена негативному влиянию повышенных нагрузок. При увеличении тока возрастает механическая и термическая нагрузка на контакты, что может привести к их подгоранию и разрушению. Особенно опасны ситуации, когда выключатель не способен отключить ток короткого замыкания из-за перегрузки. Это может вызвать дуговые разряды, которые способны повредить не только само устройство, но и окружающее оборудование.

Для обеспечения надежной работы распределительных устройств в условиях повышенных нагрузок необходимо применять комплекс мер, направленных на повышение их устойчивости. Одним из ключевых подходов является использование оборудования с повышенной токовой нагрузочной способностью. Современные производители предлагают шины, выключатели и другие компоненты, рассчитанные на работу в более тяжелых условиях. Такое оборудование изготавливается из материалов с улучшенными теплопроводными и механическими свойствами, что позволяет снизить риск перегрева и повреждений [1].

Важным аспектом является также применение систем активного охлаждения. В условиях повышенных нагрузок традиционное воздушное охлаждение может оказаться недостаточным. В таких случаях используются жидкостные системы охлаждения или принудительная вентиляция, которые позволяют эффективно отводить тепло от наиболее нагруженных элементов. Кроме того, для контроля температуры и предотвращения перегрева могут устанавливаться датчики, которые в реальном времени отслеживают состояние оборудования и подают сигналы при превышении допустимых значений [2].

Современные распределительные устройства все чаще оснащаются системами автоматизации и мониторинга, которые играют важную роль в повышении их надежности. Такие системы позволяют оперативно выявлять перегрузки и принимать меры для их устранения. Например, при обнаружении повышенного тока автоматика может перераспределить нагрузку между несколькими линиями или отключить второстепенные потребители. Это помогает избежать аварий и сохранить работоспособность оборудования.

Кроме того, системы мониторинга позволяют собирать данные о работе распределительных устройств в различных режимах, что дает возможность анализировать их поведение при повышенных нагрузках и разрабатывать более эффективные решения для повышения устойчивости. Например, на основе данных о температуре и токе можно прогнозировать износ оборудования и своевременно проводить техническое обслуживание.

Распределительные устройства в условиях повышенных нагрузок требуют особого внимания как при проектировании, так и в процессе эксплуатации. Повышенные нагрузки создают дополнительные риски для оборудования, включая перегрев, ухудшение изоляции и повреждение коммутационной аппаратуры. Однако применение современных технологий, таких как оборудование с повышенной нагрузочной способностью, системы активного охлаждения

и автоматизация, позволяет значительно повысить устойчивость РУ к таким условиям. Важную роль также играет мониторинг состояния оборудования, который помогает своевременно выявлять и устранять потенциальные проблемы. В условиях растущего спроса на электроэнергию и увеличения нагрузок на сети эти меры становятся необходимыми для обеспечения надежности и безопасности энергосистем.

Список использованной литературы

1. Конструкции РУ и ПС. — URL: <https://book.ggpek.by/estation/uchebnik/tem-04> (дата обращения: 22.03.2025).
2. Система охлаждения электрического шкафа. — URL: <https://oshav.ru/blog/sistema-okhlazhdeniya-elektricheskogo-shkafa-polnoe-rukovodstvo-po-chasto-zadavaemym-voprosam/?ysclid=m8kaid8hvz137420320> (дата обращения: 22.03.2025).

УДК 621.316.1

***П. П. Дворцов¹, В. Г. Сальников², Т. В. Шитик¹, М. В. Рыжаков²,
М. Е. Переладов¹***

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

² БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОКА ЗАМЫКАНИЯ ФАЗЫ НА ЗЕМЛЮ
В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕГИОНАХ СЕВЕРА
г. Сургут

Аннотация. Рассматриваются особенности работы электрических сетей среднего напряжения (6–35 кВ) месторождений углеводородов

в Ханты-Мансийском автономном округе. Специфика использования автономных систем электроснабжения на Севере обуславливает актуальную необходимость в разработке мер по оптимизации тока замыкания на землю для соответствия с ГОСТ 32144-2013.

Ключевые слова: *изолированная нейтраль, сети среднего напряжения, ток замыкания на землю, показатели качества электрической энергии.*

**P. P. Dvortsov¹, V. G. Salnikov², T. V. Shitik¹, M. V. Ryzhakov²,
M. E. Perelandov¹**

¹ FSFEI HE «SSUWT», 33, Shchetinkina, Novosibirsk, 630099

² Surgut State University

OPTIMIZATION OF EARTH FAULT CURRENT IN MEDIUM-VOLTAGE ELECTRIC NETWORKS OF HYDROCARBON DEPOSITS IN THE REGIONS OF THE NORTHERN

Surgut

Abstract. The article examines the specific features of the operation of medium-voltage electric networks (6–35 kV) of hydrocarbon deposits in the Khanty-Mansi Autonomous District. The specifics of using autonomous power supply systems in the North determine the urgent need to develop measures to optimize the earth fault current to comply with State Standard 32144-2013.

Keywords: *isolated neutral, medium voltage networks, the current of the earth, indicators of electrical energy quality.*

Электрические сети среднего напряжения 6–35 кВ месторождений нефти и газа в Ханты-Мансийском автономном округе работают с изолированной нейтралью [1]. Если при нормальных режимах работа ток замыкания в электрических сетях с изолированной 6–20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры воздушных линий, и во всех сетях 35 кВ — менее 10 А; в сетях,

не имеющих железобетонных и металлических опор на воздушных линиях, при напряжении 6 кВ — менее 30 А, при 10 кВ — менее 20 А, при 15–20 кВ — менее 15 А, то их работа допускается [2].

По оценке Института систем энергетики имени Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, показатели качества электрической энергии в этих сетях не соответствуют в полной мере требованиям ГОСТ 32144-2013 [4]. На рисунке 1 представлена карта показателей качества электрической энергии Ханты-Мансийского автономного округа (Уральский федеральный округ). Выделяется несинусоидальность напряжения в системах электроснабжения отдельных объектов региона и отклонение напряжения.

Автономные источники электрической энергии широко используются на месторождениях углеводородов. Их внедрение обосновано независимостью от энергоснабжающих организаций, развитием интеллектуальных сетей [5, 6] удаленность от магистральных электрических сетей делает подключение электрических сетей нефтегазодобывающих и нефтегазотранспортных систем невозможным или экономически нецелесообразным действием, повышение требований к качеству и надежности электроснабжения. Этот факт приводит к целесообразности использования автономных источников электроснабжения на месторождениях углеводородов [7, 8].

«К источникам автономного электроснабжения относятся: электростанции собственных нужд, выполненные на базе газопоршневых, газотурбинных и дизельных электростанций; источники автономного электроснабжения малой мощности на базе микротурбин» [5, 7].

Величина тока замыкания на землю является интегральной характеристикой замкнутой электрической сети. Характер тока замыкания на землю обусловлен зависимостью этого тока от общей длины линий электропередачи электрической сети, класса рабочего напряжения сети, типа исполнения конструкций опор линий электропередач и особенности ландшафта вдоль трассы.



Рис. 1. Карта качества электрической энергии Ханты-Мансийского автономного округа Уральского федерального округа:

△ — несимметрия напряжения по обратной последовательности не зафиксировано;

⊗ — отклонение напряжения на отдельных объектах региона;

⊠ — несинусоидальность напряжения на отдельных объектах региона

Ток замыкания на землю имеет следующее влияние в электрической сети:

1. Увеличивается емкостной ток. Емкостной ток возникает в электрических сетях из-за емкости между проводами и землей. В случае повреждения происходит замыкания на землю. В месте повреждения начнет протекать емкостной ток, зависящий от емкостей неповрежденных фаз.

2. Возникает повышение уровня напряжения на неповрежденных фазах. В случае однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) в сетях с изолированной нейтралью ток ОЗЗ замыкается через емкости неповрежденных фаз. Так как этот ток невелик, электрическую сеть

можно продолжить эксплуатировать, не выводя поврежденную фазу из работы незамедлительно. В неповрежденных фазах резко возрастает значение величины напряжения. Рост уровня напряжения может привести к нарушению изоляции оборудования на других участках, пробое изоляции оборудования и может вызвать выход из строя трансформаторов на подстанциях или вызвать новые замыкания емкостные или гальванические.

3. Увеличивается содержание высших гармонических в сети. Высшие гармоники содержатся в токе нулевой последовательности поврежденной линии, который во много раз превышает величину тока токах нулевой последовательности неповрежденных линий.

«Несинусоидальность формы кривой напряжения в части высших гармоник напряжения оценивается коэффициентами гармонических составляющих, которые регламентируются стандартом ГОСТ 32144-2013 [4, пп 4.1, 4.2]. Для корректных заключений требуется выполнять анализ целого ряда показателей качества электроэнергии в течение одной недели на каждом участке электрической сети. Традиционными мерами подавления высших гармоник в питающем напряжении в штатных эксплуатационных режимах являются устройства компенсации реактивной мощности, узкополосные резонансные фильтры, настроенные обычно на подавление 5, 7, 11, 13, 23 и 25-й гармоник, фильтро-компенсирующие устройства, активные фильтры гармоник и их комбинации» [9, 10, 11].

В определенных случаях токи высших гармоник при замыкании фазы на землю и несинусоидальном напряжении могут составлять значительную долю от общего тока ОЗЗ при нормальном режиме работы. Осциллограмма тока ОЗЗ в электрической сети 6 кВ [11] представлена на рисунке 2. Столб-диаграмма гармонического состава этого тока замыкания приведена на рисунке 3. Выделяется гармонические составляющие тока на частоте 29-й и 35-й гармоники. Значения этих гармоник не согласуются с требованием ГОСТ 32144-2013 [4, пп 4.1, 4.2].

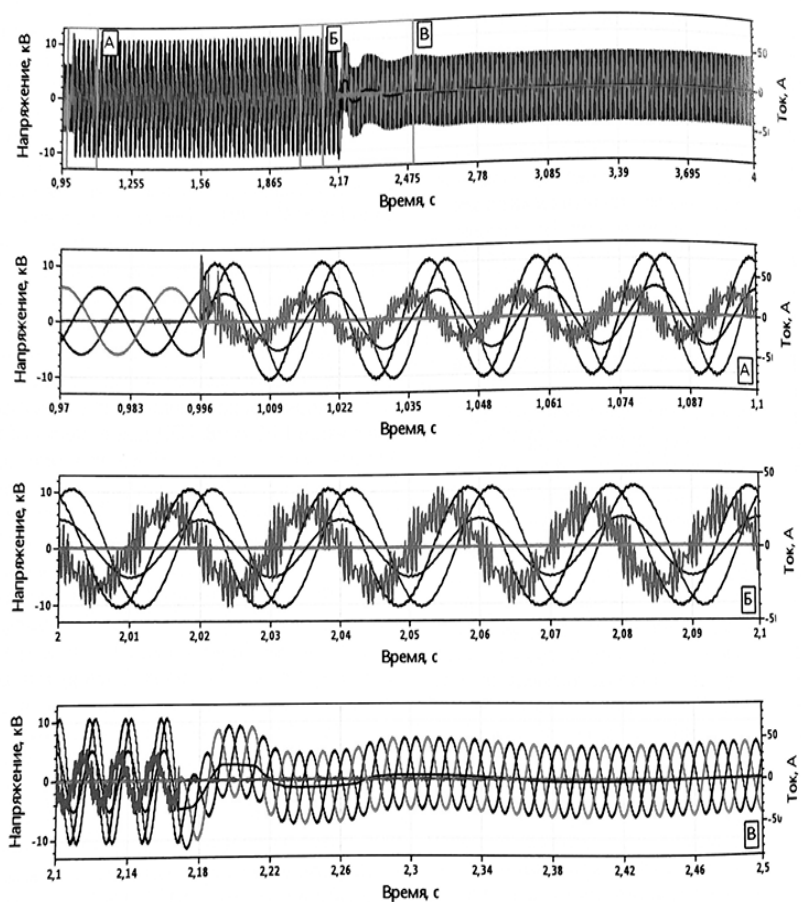


Рис. 2. Осциллограмма тока однофазного замыкания на землю и фазных напряжений 6 кВ на шинах КРУ. (ОЗЗ — сиреневый цвет; фаза А — синий цвет; фаза В — зеленый цвет; фаза С — красный цвет; напряжение в нейтрали — черный цвет) [11]

Для ограничения тока высших гармонических составляющих рекомендуется использовать следующее положение, основанное на математическом моделировании процесса замыкания на землю.

«Емкостной тока замыкания на землю I_c (А) при синусоидальном напряжении определяется по формуле» [2]

$$I_c = 3\omega C_\phi U_\phi,$$

где « U_ϕ — фазное напряжение, В;

ω — угловая частота наяржения, $\omega = 2\pi f$, с⁻¹;

f — частота сети, Гц;

C_ϕ — емкость фазы сети, Ф» [2].

«В случае искажения формы кривой фазного наяржения емкостной ток на землю рекомендуется определять по формуле» [2]

$$I_{CH} = 3\omega C_\phi U_1 + \sum_{n=2}^{\infty} U_n 3C_\phi n\omega,$$

где « U_1 , U_n — действующие значения 1-й и n-й гармоник фазного наяржения соответственно, В; n — номер гармонической составляющей наяржения» [2].

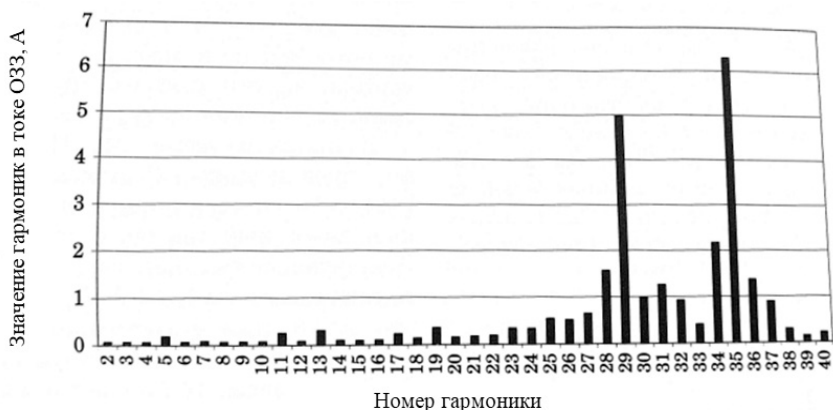


Рис. 3. Столб-диаграмма состава гармоник в токе замыкания на землю в электрической сети 6 кВ [11]

«Математическая модель зависимости тока замыкания на землю от коэффициента n -й гармонической составляющей напряжения $\delta K_{U(n)}$ имеет вид» [12]

$$I_n = I_c \delta K_{U(n)} \left(n - \frac{1}{n} \right).$$

Заключение. Применяя изложенные выше положения необходимо учитывать весь спектр высших гармоник напряжения и следует стремиться к уменьшению емкостного тока при нормальном режиме работы, определению тока замыкания фазы на землю [2], составлению мер по ограничению тока замыкания, оптимизации распределения энергии между секциями распределительных устройств, увеличению мощности трехфазного короткого замыкания, выравниванию нагрузки по фазам и сопротивлению фаз.

Список использованной литературы

1. Коверников, Л. И. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л. И. Коверникова, В. В. Суднова, Р. Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н. И. Воропай. — Новосибирск: Наука, 2017. — 219 с. — ISBN 978-5-02-038705-8.
2. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / [Текст] / Е. В. Иванова/ под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. — Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. — 432 с. — ISBN 5-8119-0201-0.
3. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л. И. Коверникова, В. В. Суднова, Р. Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н. И. Воропай. — Новосибирск: Наука, 2017. — 219 с. — ISBN 978-5-02-038705-8.
4. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. Романов, М. Н. Обеспечение качественного функционирования Электрических сетей среднего напряжения с распределенной

Генерацией как рецепторов в регионах с суровым климатом: дис. ... канд. техн. наук: 2.4.3 / Романов Марк Николаевич — Новосибирск, 2024. — 205 с. — Режим доступа: [https://www.ssuwt.ru/images/files/diss/data/romanov2/Диссертация%20\(29.02.2024\).pdf](https://www.ssuwt.ru/images/files/diss/data/romanov2/Диссертация%20(29.02.2024).pdf)

6. Токарев, И. С. Моделирование и исследование параллельной работы энергоагрегатов электростанций собственных нужд газокomppressorных станций: дис. канд. тех. наук: 05.14.02 / Токарев Иван Сергеевич. — Томск. — 2016. — 155 с

7. Выбор схем электроснабжения автономных объектов от электростанций собственных нужд. СТО Газпром 2 — 6.2 — 208 — 2008. М.: Газпром ВНИИГАЗ. — 2008. — 35 с.

8. Голубовский, А. В. Оптимизация режимов работы СД в узлах нагрузки систем электроснабжения КС магистральных газопроводов: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.14.02 / Голубовский А. В. // Самара. — 2008. — 28 с.

9. Данник, Т. А. Эффективность различных мероприятий по повышению качества электрической энергии / Т. А. Данник, В. А. Дубровская // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2022. — № S1 (24). — С. 42–48.

10. Замула, К. В. Активный фильтр гармоник как средство повышения качества электрической энергии / К. В. Замула, Ю. В. Соколов, А. В. Карманов // Энергия единой сети. — 2018. — № 2 (37). — С. 22–32.

11. Ширковец, А. И. Гармонические искажения сигналов тока и напряжения при замыканиях на землю в электрической сети 6–10 кВ / А. И. Ширковец // Промышленная энергетика. — 2023. — № 10. — С. 34–44. — DOI 10.34831/EP.2023.50.44.005. — EDN DMICIP.

12. Данилов, Г. А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников ; под. ред. В. П. Горелов, В. Г. Сальников. Новосибирск : Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013 — 559 с. — ISBN 978-8119-0539-0.

УДК 621.316

С. В. Чернявский, Р. А. Кудряшов

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ
ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ В ГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются применяемые на промыслах электроприводные газоперекачивающие агрегаты (ГПА), которые играют ключевую роль в транспортировке природного газа по магистральному газопроводу. Описание охватывает принцип работы и тенденции в их развитии в Тюменской области. В результате проведенного анализа выясняется, что электроприводные агрегаты обладают высоким потенциалом для оптимизации процессов газодобычи и транспортировки, что в свою очередь способствует устойчивому развитию энергетического сектора.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат; электропривод.

S. V. Chernyavsky, R. A. Kudryashov

Tyumen Industrial University, Tyumen

APPLICATION OF ELECTRIC-DRIVEN GAS COMPRESSOR
UNITS IN THE GAS INDUSTRY

Surgut

Abstract. The article discusses electric-driven gas compressor units (GCU) used in gas fields, which play a key role in the transportation of natural gas through main pipelines. The description covers the operating principles and trends in their development in the Tyumen region. The analysis reveals that electric-driven units have significant potential for optimizing gas production and

transportation processes, thereby contributing to the sustainable development of the energy sector.

Keywords: *gas compressor unit; electric drive.*

Введение

Газовая промышленность Тюменской области является важным источником энергоресурсов. В условиях растущих требований к энергоэффективности и экологии особенно актуально использование электроприводных газоперекачивающих агрегатов, которые допускают повышенную производительность и значительно снижают экологическое воздействие.

Цель исследования — анализ эффективности и надежности этих агрегатов в газовой промышленности региона. Задачей исследования является изучение принципов работы электроприводов, изучение типов и характеристик, а также преимуществ и недостатков в сравнении с газотурбинными и газопоршневыми газоперекачивающими агрегатами.

Принципы работы электроприводных агрегатов. Как известно, электроприводные газоперекачивающие агрегаты преобразуют электрическую энергию в механическую. Этот процесс осуществляется путем применения для привода компрессора электродвигателя. Магнитное поле статора, при взаимодействии с индуцируемым током на роторе, создает электродвижущую силу (ЭДС). ЭДС, в свою очередь, наводит электромагнитную силу, которая создает механический момент и вращает вал электродвигателя. Вращение вала электропривода передается на компрессор. Газ поступает в патрубок компрессора, где захватывается вращающимися лопатками рабочего колеса. Центробежная сила способствует сжатию газа и перемещению его к выходному патрубку. Компримированный газ попадает в газопровод под определенным давлением. Давление газа поддерживается на уровне, необходимом для преодоления сопротивления трубопровода и обеспечения транспортировки на большие

расстояния. Регулирование производительности агрегата происходит через систему управления, с помощью которой изменяют частоту вращения электродвигателя или положение направляющих аппаратов компрессора.

Типы электроприводов и их характеристики. Электроприводы в газовой промышленности применяются, как правило, на основе двигателей переменного тока (асинхронные и синхронные). Асинхронные приводы просты, надежны и недороги, работают на принципе электромагнитной индукции и имеют высокий коэффициент полезного действия, достигающий 95%. Синхронные приводы обеспечивают стабильную скорость и подходят для переменной нагрузки, что делает их предпочтительными для специфических технологических задач. Для повышения эффективности работы электроприводов используются методы оптимизации управления, что повышает надежность систем.

При выборе электропривода необходимо брать во внимание следующие характеристики: КПД, мощность и скорость вращения. Асинхронные двигатели широко используются в стандартных компрессорных установках, а синхронные — в системах, требующих высокой точности.

Преимущества и недостатки электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА). Преимущества электроприводных газоперекачивающих агрегатов:

- Высокий КПД электродвигателей (до 95–98%) и частотных преобразователей. Данный параметр во всем диапазоне регулирования скорости остается неизменным [8].
- Высокая надежность [8].
- Частота проведения технического обслуживания реже, чем в случае с газотурбинными ГПА [8].
- Возможность определения и отработки с наиболее высокой точностью технологических режимов магистральных газопроводов в режиме реального времени [8].

- Экологичность. Отсутствие выбросов продуктов горения в окружающую среду [8].

Недостатки:

- Высокие расходы, которые формируются по причине повышенной стоимости электроэнергии в сравнении со стоимостью природного газа.
- Необходимость в бесперебойном электроснабжении от внешней сети, вследствие чего невозможно построение автономной системы питания газоперекачивающих агрегатов.

Заключение. Для газовой отрасли Тюменской области (включая ХМАО и ЯНАО) имеет важное значение применение электроприводных газоперекачивающих агрегатов. Современные инженерные разработки, применяемые в газоперекачивающих агрегатах (ГПА) с электрическим приводом, открывают возможности для создания высокоэффективных, долговечных и экологически безопасных установок. Регулируемый электропривод в таких системах способен управлять одним или несколькими нагнетателями, функционирующими в параллельных ветках трубопроводной сети.

Использование ГПА с регулируемым электроприводом способствует значительной оптимизации энергопотребления, поскольку электричество заменяет природный газ в качестве основного источника энергии. Это не только снижает эксплуатационные расходы, но и устраняет вредные выбросы, характерные для газотурбинных установок, таких как углекислый газ, оксиды азота и серы. В результате минимизируется негативное воздействие на экологию, что соответствует современным стандартам устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Список использованной литературы

1. Васильев, Б. Ю. Исследование эффективности современных электроприводных газоперекачивающих агрегатов / Б. Ю. Васильев

// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2012. — № 4. — С. 104–105.

2. Гузельбаев, Я. З. Газодинамическая нестационарность процессов в центробежных компрессорах. Помпаж и способы его обнаружения: дис. ... канд. техн. наук. — Казань, 2000. — 144 с.

3. Иванов, В. Б. Анализ преимуществ использования электроприводных газоперекачивающих агрегатов / В. Б. Иванов // Технологический аудит и резервы производства. — 2016. — Т. 2, № 2/1 (28). — С. 9–12.

4. Игнатова, Т. В. Оценка надежности газоперекачивающих агрегатов, отработавших назначенный ресурс / Т. В. Игнатова, Б. Л. Житомирский // РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина. — Москва, Россия. — 2022. — С. 18–20.

5. Крюков, О. В. Прикладные задачи теории планирования эксперимента для инвариантных объектов газотранспортных систем / О. В. Крюков // Труды IX Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '12. — Москва, 2012. — С. 222–236.

6. Крюков, О. В. Энергоэффективные электроприводы газоперекачивающих агрегатов газопроводов на базе интеллектуальных систем управления и мониторинга: дис. ... д-ра техн. наук. — Нижний Новгород, 2015. — С. 312.

7. Назипова, Л. Р. Недостатки применения частотного управления на типовых асинхронных электродвигателях / Л. Р. Назипова // Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». — 2017. — С. 326–329.

8. Хлынин, А. С. Повышение энергоэффективности электроприводов газоперекачивающих агрегатов с использованием инвариантных систем управления: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. — Нижний Новгород, 2021. — 158 с.

УДК 621.315

Е. В. Иванова, М. Н. Иванов

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

РЕЗОНАНС НА ЧАСТОТЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

г. Сургут

Аннотация. Выполнен анализ причин резонанса токов на подстанции с установленными конденсаторными батареями для компенсации реактивной мощности; анализ влияния резонанса на источники бесперебойного питания.

Ключевые слова: *резонанс, высшие гармоники, качество напряжения, компенсации реактивной мощности, резонансная частота.*

E. V. Ivanova, M. N. Ivanov

Siberian state University of water transport (SSUWT), Novosibirsk

RESONANCE AT THE FREQUENCY OF HIGHER HARMONICS

Surgut

Abstract. The analysis of the causes of resonance currents at substations with installed capacitor banks to compensate for reactive power; analysis of the effect of resonance on uninterruptible power supplies.

Keywords: *resonance, higher harmonics, voltage quality, reactive power compensation, resonant frequency.*

В настоящее время повышение качества функционирования электрических сетей и систем электроснабжения является одним из ключевых направлений совершенствования энергосистем и их элементов. Это неизменно связано с качеством электрической

энергии (КЭ). Высшие гармоники тока и напряжения всегда ведут к нарушению качества электроэнергии, что сказывается на энергоэффективности систем электроснабжения. Автоматизация производственных процессов и использование искусственного интеллекта ведут к увеличению количества нелинейных электроприемников в системах электроснабжения. Одним из последствий появления токов высших гармоник является возникновение резонансных явлений.

Резонансы возникают при наличии нелинейных нагрузок. Но условием возникновения резонанса на подстанции предприятия является наличие колебательного контура, который включает в себя индуктивность и емкость. В качестве индуктивности можно рассматривать трансформаторы, установленные на подстанции. В качестве емкости — компенсирующие устройства: конденсаторные установки, служащие для компенсации реактивной мощности. Это основные составляющие резонансного контура. Значит, изменяя параметры электрической цепи, можно добиться возникновения резонанса, в том числе на одной из частот высших гармоник. Так как одновременная установка трансформаторов и устройств компенсации реактивной мощности (УКРМ) осуществляется на огромном количестве подстанций, то появляется высокая вероятность возникновения резонанса тока. Следовательно, трансформатор, точнее его индуктивность (L), и конденсаторные установки, то есть их емкость (C), определяют частоту, на которой может возникнуть резонанс [2].

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Так как резонанс возникает на подстанции, то на шинах низкого напряжения нарушаются показатели КЭ. Это ведет к сбоям и повреждениям электрооборудования не только у потребителей, но и на подстанции.

Для обеспечения надежного и качественного электроснабжения на подстанции устанавливают источники бесперебойного

питания (ИБП). Они позволяют мгновенно переключить питание и обеспечивают защиту от скачков напряжения и частоты, несимметрии фаз. Но и сами ИБП подвержены гармоническому воздействию. С одной стороны, ИБП являются источником высших гармоник, так как в структуре ИБП присутствуют нелинейные элементы (выпрямитель, инвертор). Управление ИБ осуществляется с помощью микропроцессора, то есть система управления является чувствительной к искажениям КЭ, что может привести к неправильной работе ИБП.

Другой отличительной чертой ИБП является то, что они потребляют реактивную мощность, то есть их можно рассматривать как индуктивность. Значит, при возникновении резонанса ИБП входят в резонансный контур и подвергаются воздействию. Это неизменно ведет к искажению показателей КЭ, что отражается на работе потребителей, подключенных к этой секции шин [1–3].

Снижение КЭ вызывает увеличение потерь активной и реактивной мощности; сокращение срока службы электроустановок; нарушение условий нормального функционирования электроустановок потребителей, что приводит к снижению качества производимой продукции и к увеличению энергозатрат на производстве.

Для трансформаторной подстанции, выполненной по схеме «Одна секционированная система шин» осуществили моделирование нормального режима работы. На подстанции установлено два силовых трансформатора. К двум секциям шин низкого напряжения 0,4 кВ подключена однотипная силовая нагрузка $S_1 = S_2$, кВА; устройства компенсации реактивной мощности — конденсаторные батареи; источники бесперебойного питания. К первой секции шин также подключена двигательная нагрузка. Структурная схема соединений подстанции представлена на рис. 1.

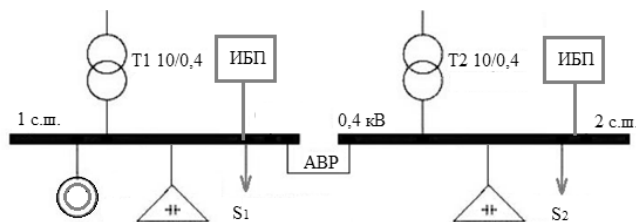


Рис. 1. Структурная схема подстанции

Моделирование осуществлялось для различных параметров электрической цепи при включенных ИБП:

- включена вся нагрузка, УКРМ отключены;
- включена вся нагрузка, УКРМ включены;
- включена вся нагрузка на второй секции шин, выключена двигательная нагрузка на первой секции шин; УКРМ включены.

Моделирование первого эксперимента показало низкий уровень напряжения на шинах низкого напряжения подстанции, также высокое потребление реактивной мощности. Таким образом, установка УКРМ обязательна.

Во втором эксперименте на частоте седьмой гармоники (350 Гц) при включенных УКРМ возник резонанс токов на второй секции шин. Такой вывод сделан по результатам моделирования, так как ток седьмой гармоники на второй секции шин превышает аналогичный ток на первой секции шин почти в два раза. Значит, при работе конденсаторных установок на второй секции шин возникает резонанс между УКРМ и трансформатором T2.

На первой секции шин отсутствие резонанса тока объясняется дополнительной индуктивностью, которой является двигательная нагрузка.

При отключении дополнительной индуктивности в третьем эксперименте на первой секции шин также возник резонанс, поскольку параметры системы стали идентичны второй секции шин.

Резонансные токи, протекающие по контуру подстанции, вызывают дополнительный нагрев трансформатора и УКРМ. Допустимая перегрузка конденсаторных батарей по току составляет 30%, которые легко могут превысить резонансные токи.

Появление высших гармоник тока в контуре подстанции является в том числе следствием работы ИБП, подключенных к шинам трансформатора. Токи высоких частот вызывают в трансформаторах дополнительный нагрев и, как следствие, дополнительные потери. Поэтому условия работы трансформаторов на подстанции должны рассматриваться с точки зрения теплового режима.

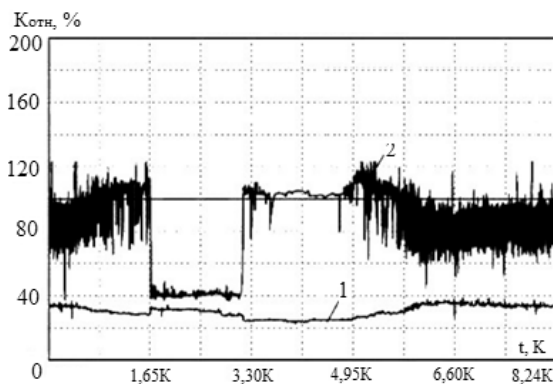


Рис. 2. Тепловой режим трансформатора при резонансе

Тепловой баланс трансформатора для двух экспериментов представлен на рис. 2. Кривая 1 моделирует тепловое воздействие на трансформатор Т2 без учета высших гармоник тока, кривая 2 учитывает высшие гармоники тока. Из графика видно, что трансформатор Т2 подвергается перегреву, а значит, сокращается срок службы, вероятны отключения и перерывы в электроснабжении.

Поэтому при установке УКРМ необходимо оценивать вероятность возникновения резонанса на подстанции. А в отдельных случаях предусматривать установку фильтро-компенсирующих устройств.

Список использованной литературы

1. Воздействие токов высших гармоник на электрические сети 0,4 кв / Е. В. Иванова [и др.] // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2009. — № 1 — С. 327–330.
2. Петухов, В. С. Резонансные явления в электроустановках зданий как фактор снижения качества электроэнергии / В. С. Петухов, И. В. Красилов // Новости электротехники. — 2003. — № 1 (19). — С. 32–35.
3. Способы ограничения гармонического воздействия на работу установок по компенсации реактивной мощности / Е. В. Иванова [и др.] // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: Труды 3-й международной научно-технической конференции, Омск, 05–08 июня 2007 г. — Омск, 2007. — Ч. 2. — С. 104–106.

УДК 621.311

М. С. Кондранин¹, Е. Ю. Кислицин²

¹ ООО «РН-Юганскнефтегаз», г. Пыть-Ях

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

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы при оптимизации параметров электрических систем месторождений. Описываются существующие сложности, характерные для северных месторождений, и то, какое влияние они оказывают на существующие параметры и режимы сети.

Ключевые слова: *электрические системы, электроснабжение месторождений, качество электроэнергии.*

M. S. Kondranin¹, E. Yu. Kislitsyn²

¹ «RN-Yuganskneftegaz», Pyt-Yakh

² «Surgut State University», Surgut

THE PROBLEMS OF OPTIMIZING THE PARAMETERS OF THE ELECTRICAL SYSTEMS OF THE NORTHERN FIELDS

Surgut

Abstract. The article discusses the problems in optimizing the parameters of electric field systems. The existing difficulties typical of the northern fields are described, and what impact they have on the existing network parameters and modes.

Keywords: *electrical systems, energy supply of deposits, quality of electricity.*

Расширение роли топливно-энергетического комплекса, увеличение осваиваемых территорий и количества извлекаемых из недр земли углеводородов на месторождениях северных районов Западной Сибири обуславливают их интенсивную электрификацию и, как следствие, развитие и укрупнение электрических систем. Все это приводит к росту количества потребителей, распределительных пунктов, подстанций, воздушных и кабельных линий, а следовательно, к изменению параметров и показателей электроэнергии существующих электрических систем, а также ее схемы.

Развитие электрических систем приводит к необходимости их оптимизации с целью повышения эффективности существующих схем и учета ввода нового оборудования.

Процесс оптимизации включает в себя:

1. *Минимизация потерь электроэнергии.* Расчет потерь электроэнергии в элементах электрической сети и последующее определение способов их снижения.
2. *Повышение надежности системы электроснабжения.* Расчет различных сценариев нормальных, аварийных и послеаварийных

режимов, определение наиболее подверженных авариям участков цепи и выбор электрической схемы, обеспечивающей наибольшую надежность.

3. *Выбор оптимальной конфигурации электрических сетей.* Определение количества элементов в системе, топологии электрической сети и местоположения электрооборудования, что позволит минимизировать потери электроэнергии и повысить стабильность напряжения.

4. *Распределение нагрузки.* Правильное распределение мощности между источниками электроэнергии (генераторами, возобновляемыми источниками энергии и системами хранения энергии). Данный пункт позволяет поддерживать баланс мощности в системе, обеспечить защиту от перегрузки оборудования распределительных сетей и надежное электроснабжение потребителей.

5. *Рационализация использования энергоресурсов.* Сокращение потерь, повышение энергоэффективности и устойчивости системы энергоснабжения достигается за счет точного анализа режимов работы трансформаторов, линий электропередач, компенсирующих и генерирующих устройств, а также применения специализированных алгоритмов для их оптимизации.

6. *Определение оптимальной стратегии развития.* Выбор наиболее подходящего сочетания технологий производства электроэнергии для удовлетворения конкретных требований системы с учетом будущих потребностей и возможностей реконструкции и модернизации существующих сетей.

Северные месторождения обладают отличительными особенностями, которые необходимо учитывать в процессе оптимизации: большая разрозненность потребителей, их удаление от энергетических центров, применение распределительных сетей среднего класса напряжения, преобладание двигательной нагрузки (рис. 1).

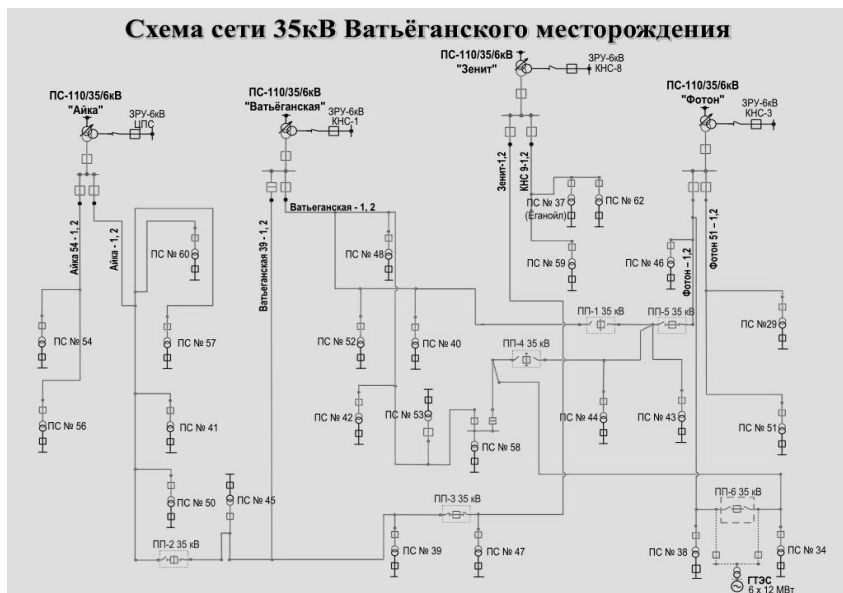


Рис. 1. Пример схемы электроснабжения месторождения

Проблематика оптимизации параметров и схем электрических систем северных месторождений обусловлена необходимостью включения в расчеты следующих факторов:

1. *Суровые климатические условия.* Низкие температуры накладывают определенные ограничения на работу электрооборудования, увеличивают потери электроэнергии из-за обледенения и ветровых нагрузок, повышают вероятность аварийных ситуаций и трудность их устранения. Под воздействием холодной температуры изменяется не только сопротивление линий передач, но также передаваемая мощность и потери. При этом в летнее время идет обратный процесс роста температуры, увеличения сопротивления и потерь в линиях.

2. *Способ электроснабжения.* Северные месторождения часто имеют децентрализованное электроснабжение, имеющее ограничение

по вырабатываемой мощности. Совмещение централизованной и децентрализованных систем электроснабжения усложняют процесс контроля перетоков активной и реактивной мощности, создавая необходимость в согласовании передачи мощностей, контроля и поддержания стабильности частоты и напряжения в сети, установки дополнительной противоаварийной автоматики.

3. *Нестабильность нагрузки.* Большие скачки мощности при включении и отключении мощного оборудования. В аварийных ситуациях возможно отключение целой группы мощных потребителей, что влияет на баланс мощностей и последующее изменение параметров сети, в результате чего возможно возникновение аварийной ситуации. Также стоит отметить увеличение нагрузок в зимнее время, обусловленное увеличением количества электроприемников, таких как осветительные приборы и электрообогреватели.

4. *Развитие электрической системы.* Увеличение протяженности и количества линий снижает надежность электрических схем, повышает потери напряжения, требует учета генерации зарядной мощности и потерь реактивной мощности в элементах сети, а также создает необходимость в повышении напряжения в узловых пунктах системы.

Можно сделать вывод: для оптимизации параметров электрических систем северных месторождений недостаточно применять классические методы. Необходимо учитывать все дополнительные особенности данных объектов, состоящих из типа нагрузки, климатических условий, разрозненности потребителей, топологии линий электропередач, имеющихся электростанций собственных нужд и вводимых новых потребителей. Для этого требуется разработка новых методов и способов оптимизации.

Список использованной литературы

1. Севастьянова, А. В. Разработка алгоритма для анализа схемно-режимных особенностей энергосистем / А. В. Севастьянова. —

Текст: электронный // CYBERLINKA : научная электронная библиотека. — URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-algoritma-dlya-analiza-shemno-rezhimnyh-osobennostey-energосistem> (дата обращения: 14.04.2025).

2. Тимофеев, Г. С. Комплексный учет схемно-структурных и режимно-атмосферных факторов при расчете потерь электроэнергии в распределительных сетях энергосистем: специальность 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тимофеев Геннадий Сергеевич; Сибирский федеральный университет. — Красноярск, 2011. — 150 с.

3. Севастьянова, А. В. Анализ схемно-режимных особенностей электроэнергетических систем на основе структурного подхода: специальность 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Севастьянова Анна Вячеславовна; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. — Санкт-Петербург, 2012. — 158 с.

4. Назаров, А. А. Методика и алгоритм оценки схемно-режимной значимости элементов энергосистем / А. А. Назаров, В. П. Кавченков // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. — 2021. — № 2. — С. 291–299. — Текст: непосредственный.

5. Варганова, А. В. О методах оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и сетей / А. В. Варганова — Текст: электронный // CYBERLINKA : научная электронная библиотека. — URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-metodah-optimizatsii-rezhimov-raboty-elektroenergeticheskikh-sistem-i-setey> (дата обращения: 10.04.2025).

УДК 621.315.1

В. З. Манусов¹, А. В. Белосветов²

¹ ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»,
г. Ханты-Мансийск

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

ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА СЕВЕРЕ РОССИИ

г. Сургут

Аннотация. В статье приведены особенности электрических сетей Севера России, влияющие на качество электрической энергии в результате содержания в них высших гармоник.

Ключевые слова: *высшие гармоники, качество электрической энергии, линии электропередачи, энергоэффективность, скин-эффект.*

V. Z. Manusov¹, A. V. Belosvetov²

¹ Yugra State University, Khanty-Mansiysk

² Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk

HIGHER HARMONICS IN POWER TRANSMISSION LINES IN THE NORTH OF RUSSIA

Surgut

Abstract. The paper presents the peculiarities of the electrical networks of the North of Russia, affecting the quality of electrical energy as a result of the content of higher harmonics in them.

Keywords: *higher harmonics, power quality, transmission lines, energy efficiency, skin effect.*

В современных условиях обеспечение надежного и качественного электроснабжения является ключевой задачей энергетики. Это актуально и применительно к «северным районам» России, для которых характерны сложные климатические условия: экстремально низкие температуры; сильные ветры; повышенные механические нагрузки, вызванные гололедом на проводах. Высшие гармоники (ВГ), возникающие в таких погодных условиях, оказывают более значимое влияние на качество электрической энергии в сравнении с районами Юга России. Как следствие, это обстоятельство обуславливает повышенную вероятность отказов оборудования, в частности воздушных линий электропередачи (ВЛ), со снижением их срока службы.

ВГ представляют собой синусоидальные компоненты электрического сигнала, частота которых кратна основной частоте сети. Иначе говоря, в сети с частотой 50 Гц содержатся гармоники, частоты которых 100 Гц, 150 Гц и так далее. Эти компоненты возникают в результате нелинейных процессов в электрических системах, таких как работа преобразователей частоты, несимметричных нагрузок или других нелинейных элементов. Природа высших гармоник связана с отклонением формы напряжения или тока от идеальной синусоидальной, что приводит к появлению дополнительных частотных составляющих, в результате чего снижается качество электрической энергии.

Качество электроэнергии на Севере России определяется множеством факторов, связанных с суровыми климатическими условиями региона. В этих районах наблюдаются экстремально низкие температуры, которые могут опускаться ниже -50°C , что существенно влияет на параметры электрических сетей. В условиях низких температур, характерных для районов Севера России, влияние гармонических искажений на электрооборудование проявляется с определенными особенностями. При понижении температуры сопротивление проводников уменьшается, что может приводить к увеличению токов гармоник в сети.

Низкие температуры значительно влияют на электрические параметры и характеристики оборудования воздушных линий электропередачи. Снижение температуры изменяет сопротивление проводников: для меди это изменение составляет примерно 0,4% на каждые 10°C. Такие колебания могут существенно сказаться на параметрах передачи электроэнергии, включая уровень потерь и эффективность. Поэтому необходимо корректировать расчетные модели и подходы к проектированию сетей, чтобы обеспечить их надежную работу в условиях низких температур. Это подчеркивает важность оптимизации структуры, параметров и схем электрических сетей [5].

Отдельно следует упомянуть о проявлении скин-эффекта в проводах линий электропередачи (ЛЭП) при наличии ВГ, которое приводит к увеличению активного сопротивления проводника на отдельно рассматриваемой гармонике по отношению к омическому сопротивлению. Данный эффект проявляется сильнее при понижении температуры проводника за счет увеличения его удельной проводимости [2], что особенно свойственно районам Севера России.

Для районов Крайнего Севера характерно наличие множества рассредоточенных потребителей, электроснабжение которых осуществляется изолированными энергосистемами с протяженными ЛЭП. В таких изолированных энергосистемах, как правило, нет резервов генерирующих мощностей, что делает их уязвимыми к воздействию геоиндуцированных токов (ГИТ) [1]. ЛЭП являются гигантскими антенными системами, улавливающими электромагнитные волны на большой территории [4].

По результатам исследований [1, 4] уровень гармонических искажений в таких электросетях может достигать 15% от номинального напряжения, что существенно превышает значения, нормируемые по ГОСТ 32144-2013. Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости разработки и внедрения эффективных методов снижения гармонических искажений, учитывающих специфику климатических и эксплуатационных условий.

Общеизвестно, что энергетический баланс России характеризуется высокой степенью зависимости от добычи и использования природных ресурсов. По данным BP Statistical Review of World Energy за 2022 год, Россия занимает первое место в мире по добыче природного газа, обеспечивая около 18% мирового производства. Однако, по заявлениям Минприроды РФ, легкодоступные месторождения в России почти исчерпаны, что порождает необходимость освоения Арктики и труднодоступных регионов Дальнего Востока и Сибири, где в настоящее время сосредоточена большая часть ресурсов нефти [3]. Вместе с тем в связи с исчерпанием запасов нефти традиционных районов добычи возникает необходимость освоения новых территорий, таких как ЯНАО и Восточная Сибирь. Таким образом, увеличение добычи нефти и газа в удаленных регионах потребует модернизации существующих энергетических объектов, а также строительства новых подстанций и ЛЭП.

Например, в Ямало-Ненецком автономном округе, где в 2021 году было открыто несколько крупных месторождений газа, возникла необходимость расширения энергетической инфраструктуры. Это связано с тем, что добыча и переработка углеводородов являются энергоемкими процессами, требующими надежного и бесперебойного электроснабжения. Таким образом, открытие новых месторождений нефти и газа требует значительных энергетических ресурсов для их освоения и эксплуатации. В 2022 году в России было открыто 13 новых месторождений, что значительно увеличило потребность в электроэнергии в соответствующих регионах.

Подводя итог вышесказанному, отметим, что открытие и освоение новых месторождений в России оказывает значительное влияние на энергетическую инфраструктуру страны. Рост спроса на электроэнергию в связи с увеличением объемов добычи полезных ископаемых потребует модернизации существующих линий электропередач и строительства новых мощностей.

Поскольку в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности наиболее широкое применение находят преобразователи частоты [6] в составе: электроприводов конвейеров, дозаторов, лифтов, дробилок, кранов, прессов, центрифуг, металлообрабатывающих станков, буровых машин и т. д., следовательно, нелинейные процессы наиболее характерны для электрических систем, включающих в себя добывающие и перерабатывающие предприятия, сконцентрированные в основном в северных регионах России, что в очередной раз подчеркивает актуальность исследований гармонических искажений в электросетях Севера России.

Одной из ключевых задач, стоящих перед энергетиками северных регионов России, является снижение уровня гармонических искажений в электросетях в условиях низких температур и сложного климата. Согласно исследованию, проведенному в 2020 году, применение активных фильтров позволило снизить уровень гармонических искажений в электросетях на 35%, что свидетельствует о значительном прогрессе в этой области [4]. Эти устройства, благодаря своей способности адаптивно компенсировать гармонические составляющие тока и напряжения, продемонстрировали высокую эффективность даже при экстремальных температурных условиях, что делает их одним из наиболее перспективных решений.

Также на основе проанализированных данных рекомендуется продолжить разработку и внедрение технических решений, направленных на минимизацию гармонических искажений, таких как активные и пассивные фильтры, адаптированные к условиям Севера России. Важным направлением является проведение дополнительных исследований, направленных на изучение влияния экстремальных климатических факторов на параметры электросетей и разработку новых материалов и конструкций, способных эффективно противостоять этим воздействиям. Перспективы дальнейших исследований включают в себя анализ энергоэффективности систем с учетом гармонических искажений и разработку комплексных решений

для повышения надежности электросетей в суровых климатических условиях.

Список использованной литературы

1. Белаховский, В. Б. Влияние геомагнитной бури на низкочастотные поля линий электропередачи / В. Б. Белаховский, В. А. Пилипенко, Я. А. Сахаров, В. В. Вахнина, В. Н. Селиванов // Наука и технологические разработки. — 2024. — Т. 103, № 1. — С. 36–51. <https://doi.org/10.21455/std2024.1-3>.
2. Белосветов, А. В. Анализ влияния скин-эффекта на активное сопротивление в проводах линий электропередачи / А. В. Белосветов, В. З. Манусов // iPolytech Journal. — 2025;29(1):33–50. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2025-1-33-50>
3. Российское информационное агенство. Легкодоступные месторождения в России почти исчерпаны, заявили в Минприроды // РИА Новости : сетевой журнал (электр. журн.). — 2007. — URL: <https://ria.ru/20240911/minprirody-1972131144.html> (дата обращения: 23.03.2025).
4. Селиванов, В. Н. База данных геоиндуцированных токов в магистральной электрической сети «Северный транзит» / В. Н. Селиванов, Т. В. Аксенович, В. А. Билин, В. В. Колобов, Я. А. Сахаров // Солнечно-земная физика. — 2023. — Т. 9. — № 3. — С. 100–101. — DOI: 10.12737/szf-93202311.
5. Ткаченко, В. А. Разработка методов и алгоритмов оптимизации схемно-режимных параметров электрических систем, включая минигрид: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Ханты-Мансийск, 2023. — [б. с.].
6. Тукшаитов, Р. Анализ результатов одного компьютерного моделирования системы ПЧ-АД и уровня эмиссии им высших гармоник в электросеть / Р. Тукшаитов, А. Сидоров // Силовая электроника. — 2021. — № 6. — С. 6–7.

УДК 621.3

К. П. Горбунов¹, В. А. Дмитриев²

¹ АО «Россети Тюмень», Сургутские электрические сети

² ПАО «Сургутнефтегаз», трест «Сургутремстрой»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ С ЭФФЕКТИВНОЙ СЕТЕВОЙ АВТОМАТИКОЙ

г. Сургут

Аннотация. В представленной статье рассматривается проблема повышения надежности электроснабжения удаленных нефтегазовых объектов на примере Мыльджинского газоконденсатного месторождения. Объектом исследования являются воздушные линии 10 кВ, питающие кусты добычи, а предметом — количественные показатели отказов (SAIFI, SAIDI, ENS) до и после внедрения децентрализованной сетевой автоматики на базе реклоузеров. В работе проанализированы особенности существующих схем электроснабжения (радиальные, магистральные и смешанные), нормативно-правовая база и международные стандарты надежности. Методика включает расчет оптимального числа и мест установки реклоузеров с учетом показателей RNRE и ARAE, а также технико-экономическое обоснование (годовой недоотпуск электроэнергии, значение экономического ущерба и издержек, срок окупаемости). Результаты исследования показали, что применение одного реклоузера на каждом фидере позволяет сократить годовой недоотпуск ЭЭ в среднем в 4–5 раз и снизить суммарный ущерб на 70–85%, обеспечивая срок окупаемости в диапазоне 2,8–6,9 лет. Предложенные решения могут быть масштабированы на аналогичные объекты нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: автоматизация децентрализованной сети; реклоузер; надежность электроснабжения; SAIFI; SAIDI; RNRE; годовой недоотпуск электроэнергии.

K. P. Gorbunov¹, V. A. Dmitriev²

¹ JSC Rosseti Tyumen, Surgut Electric Networks

² PJSC Surgutneftegaz, Trust Surgutremstroy

DESIGN OF POWER SUPPLY FOR HYDROCARBON DEPOSIT WITH EFFICIENT NETWORK AUTOMATION

Surgut

Abstract. The presented article discusses the problem of increasing the reliability of power supply to remote oil and gas facilities using the example of the Myldzhinsky gas condensate field. The object of the study is 10 kV overhead lines feeding mining bushes, and the subject is quantitative failure rates (SAIFI, SAIDI, ENS) before and after the introduction of decentralized network automation based on reclosers. The paper analyzes the features of existing power supply schemes (radial, main and mixed), the regulatory framework and international standards of reliability. The methodology includes the calculation of the optimal number and locations of reclosers, taking into account RNRE and ARAE indicators, as well as a feasibility study (annual undersupply of electricity, the value of economic damage and costs, payback period). The results of the study showed that the use of one recloser on each feeder can reduce the annual EE underflow by an average of 4–5 times and reduce total damage by 70–85%, providing a payback period in the range of 2.8–6.9 years. The proposed solutions can be scaled to similar facilities in the oil and gas industry. **Keywords:** automation of a decentralized network; recloser; reliability of power supply; SAIFI; SAIDI; RNRE; annual undersupply of electricity.



Keywords: decentralized network automation; recloser; power supply reliability; SAIFI; SAIDI; RNRE; annual undersupply of electricity.

В условиях сурового климата и значительной удаленности от магистральных энергетических сетей нефтегазовые месторождения требуют особо надежных решений для обеспечения непрерывного электроснабжения технологического оборудования. На примере Мыльдзинского газоконденсатного месторождения в Томской

области показано, что традиционные радиальные схемы 10 кВ подвержены длительным аварийным отключениям, приводящим к недоотпуску электрической энергии, простоям добычных «кустов» и существенным экономическим потерям. Актуальность исследования заключается в разработке и обосновании оптимального проектирования воздушных линий электропередачи с применением современных реклоузеров, позволяющих автоматизировать секционирование сети, сократить время поиска и устранения неисправностей, а также повысить ключевые показатели надежности (SAIFI, SAIDI, ENS). В статье представлены методики выбора числа и мест установки реклоузеров, а также технико-экономическая модель оценки их эффективности, что делает предложенные решения применимыми для аналогичных объектов отрасли.

Объект исследования — Мыльджинское газоконденсатное месторождение (Каргасокский р-н Томской обл., в 470 км северо-западнее Томска), залежи в юрских пластах (глубины 2,3–2,4 км, толщина конденсата — 85 м, газовых толщ — 6–19 м). Конденсат: уд. вес 0,7019, вязкость 0,67, мол. вес 107; содержание серы $\approx 0\%$. Электроснабжение организовано от ПС 35/10 кВ «Мыльджино» по одноцепной ВЛ 10 кВ на 13 кустов (№ 1–12, 14), объединенных в четыре радиальных фидера:

- № 5–12–11: длина — 8,589 км, 17 потребителей, суммарная трансформаторная мощность — 1 660 кВА;
- № 2–6–14: длина — 10,896 км, 16 потребителей, 900 кВА;
- № 10–3: длина — 11,683 км, 7 потребителей, 2 000 кВА;
- № 4–1–8–9–7: длина — 16,601 км, 22 потребителя, 2 450 кВА.

В соответствии с Методическими указаниями Минэнерго РФ:

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum_j N_j}{N_{\max}}, \quad \text{SAIDI} = \frac{\sum_j t_j}{N_{\max}}, \quad \text{ENS} = \sum_j P_j t_j,$$

где N_j — число прерываний, t_j — время восстановления, P_j — мощность отключенных присоединений, $N_{\max}$ — число точек поставки.

Допустимое время годового отключения для 3-й категории — не более 72 ч/год при перерыве ≤ 24 ч подряд. Фактическая длительность аварий в сетях 6–10 кВ на месторождении — 70–100 ч/год (70% аварий — на ВЛ 6–10 кВ).

В стандартах IEEE:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}, \quad ASIDI = \frac{\sum_i S_i t_i}{\sum_i S_i}, \quad ASIFI = \frac{\sum_i S_i n_i}{\sum_i S_i},$$

где S_i — подключенная мощность кВ·А, n_i — число отключений.

Для оценки эффективности реконструкции вводят:

$$RNRE = 1 - \frac{SAIFI_{\text{после}}}{SAIFI_{\text{до}}}, \quad ARAE = \frac{\sum_k (SAIFI_{0,k} - SAIFI_k)}{R},$$

где $SAIFI_{0,k}$, $SAIFI_k$ — до и после реконструкции на k-м фидере; R — число реклоузеров.

Таблица 1. — Значения индексов для радиальных и кольцевых фидеров при двукратном АПВ

Тип фидера	Количество реклоузеров					
	1	2	3	4	5	6
ARAE (рад.)	0,25	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
ARAE (кольц.)	0,00	0,33	0,33	0,30	0,27	0,24
RNRE (рад.)	0,25	0,33	0,37	0,40	0,42	0,43
RNRE (кольц.)	0,00	0,33	0,50	0,60	0,67	0,75

Места установки определяются условием выравнивания произведений:

$$N_i \cdot L_i = \text{const},$$

где N_i — число потребителей, L_i — длина участка. После этого рекомендуют корректировку по доступности дорог, наличию связи и фактической плотности нагрузки.

Таблица 2. — Расчеты надежности и годового недоотпуска электроэнергии для каждого фидера

Фидер	Реклоузеров	SAIFI	SAIDI (ч)	ENS (кВт·ч/год)
5-12-11	без	3,600	22,30	14 804,5
	1	1,388	5,362	3 368,8
	2	1,212	4,720	3 128,0
2-6-14	без	4,000	23,81	8 572,8
	1	1,813	4,490	1 981,2
	2	1,550	5,440	1 446,3
10-3	без	4,000	25,32	20 256,0
	1	1,600	5,960	4 871,7
4-1-8-9-7	без	6,400	39,13	36 795,7
	1	2,655	9,960	7 322,2
	2	2,473	9,290	6 338,6
	3	2,400	9,060	5 252,4
	4	2,345	8,850	4 913,3

Для всех фидеров внедрение одного реклоузера позволяет снизить среднюю частоту отключений (SAIFI) в 2,3–3,5 раза, а продолжительность простоев (SAIDI) — в 4–5 раз. Годовой недоотпуск энергии (ENS) уменьшается в 3–5 раз. Второе устройство дает лишь незначительный дополнительный эффект, что указывает на преимущественную экономическую эффективность одного реклоузера на каждом фидере.

Стоимость одного реклоузера «под ключ» принята равной 1 200 000 руб. При банковской ставке 12,9% годовых нормативный срок окупаемости составляет 7,75 лет.

Таблица 3. — Расчет стоимости

Фидер	ENS после, кВт·ч/год	Годовые издержки и ущерб, руб.	Срок окупаемости, лет
5-12-11	3 368,8	54 534	6,9
2-6-14	1 981,2	39 804	11,5
10-3	4 871,7	77 581	5,2
4-1-8-9-7	7 322,2	129 291	2,8

На фидерах 5-12-11, 10-3 и 4-1-8-9-7 срок окупаемости внедрения одного реклоузера оказывается ниже нормативного и составляет от 2,8 до 6,9 лет. На фидере 2-6-14 экономическая отдача медленнее (11,5 лет), что требует либо снижения себестоимости оборудования и монтажа, либо поиска альтернативных мер повышения надежности.

В заключение отметим: проделанная работа показала, что секционирование воздушных линий 10 кВ с помощью современных вакуумных реклоузеров позволяет существенно повысить надежность электроснабжения Мыльджинского газоконденсатного месторождения. При внедрении одного реклоузера на каждом из четырех фидеров частота внеплановых отключений (SAIFI) сокращается в 2,3–3,5 раза, а суммарная продолжительность перерывов (SAIDI) — в 4–5 раз. Годовой недоотпуск энергии уменьшается в 3–5 раз, что обеспечивает значительную экономию до 90% расходов на компенсацию простоя и поиск мест повреждений.

Технико-экономический анализ подтвердил эффективность однотипного решения «один реклоузер на фидер» с учетом стоимости оборудования и монтажа (1,2 млн руб.) при банковской ставке 12,9%: на трех из четырех фидеров окупаемость инвестиций достигается за 2,8–6,9 лет, что укладывается в нормативный срок 7,75 лет. Фидеру 2–6–14, обладающему меньшим годовым недоотпуском, целесообразно либо оптимизировать расходы на установку, либо рассмотреть альтернативные меры повышения надежности.

Рекомендованная конфигурация электроснабжения — установка одного вакуумного реклоузера на конец каждого радиального фидера 10 кВ с интеграцией в систему диспетчерского контроля. В перспективе целесообразно дополнить решение средствами дистанционного мониторинга качества электроэнергии и анализа аварийных токов для дальнейшего снижения времени реагирования и оперативного обслуживания сети.

Список использованной литературы

1. Южно-Мыльджинское месторождение. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://mklogistic.ru/ujnomildjinskoe_mestorojdenie (дата обращения 25.11.2018).
2. Мыльджинское газоконденсатное месторождение. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Мыльджинское_газоконденсатное_месторождение (дата обращения 26.11.2018).
3. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 29 ноября 2016 г. № 1256 «Об утверждении методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг...»
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. — М.: Минэнерго РФ, 2002.
5. Хасанзянов, Б. Ф. О реклоузерах // Молодой ученый. — 2014. — № 7. — С. 188–190.
6. Попов, В. А. Современные технические решения для повышения надежности воздушных линий 6–10 кВ / В. А. Попов, В. В. Ткаченко, Ю. Д. Манойло // Промэлектро. — 2010. — № 6. — С. 28–36.
7. СТО 34.01-2.2-033.2-2017. Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ — секционирующие пункты (реклоузеры). Том 1.2.2. — М.: ПАО «Россети», 2017.
8. Карпов, В. К. Основы теории надежности систем электропитания / В. К. Карпов, В. К. Федоров, Д. С. Грунин, Д. С. Осипов. — Омск: ОмГТУ, 2003. — 72 с.
9. Хорольский, В. Я. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, Д. А. Петров. — Ростов-на-Дону: Терра Принт, 2014. — 132 с.
10. IEEE Std 1366-2012 — IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. — IEEE, 2012.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.396.962.21

А. И. Дёмко

БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
Сургут

АТЛАС ФАЗОМОДУЛИРОВАННЫХ РАДИОИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

г. Сургут

Аннотация. Использование в радиолокации и электрической связи сложных сигналов ограничивается достаточностью разносторонней подробной информации о них, что определяет актуальность создания сборника справочных материалов. Целью статьи является обоснование и представление атласа фазомодулированных радиоимпульсных сигналов. Атлас содержит временные, спектральные и корреляционные характеристики радиоимпульсных сигналов на основе *M*-последовательностей, кодов Баркера, Фрэнка, Чу и Задова-Чу для последовательностей длиной от 2 до 52 элементов. Полученные результаты могут быть использованы в радиолокации и электрической связи.

Ключевые слова: автокорреляционная функция, уровень боковых лепестков, спектр, сигнальное созвездие, гистограмма.

Anatoly I. Dyomko

Surgut State University, Surgut

ATLAS OF PHASE-MODULATED RADIO PULSE SIGNALS

Surgut

Abstract. The use of complex signals in radar and electrical communications is limited by the sufficiency of comprehensive information about them, which determines the relevance of creating a collection of reference materials. The purpose of the article is to substantiate and present an atlas of phase-modulated radio pulse signals. The atlas contains temporal, spectral, and correlation characteristics of radio pulse signals based on *M*-sequences, Barker, Frank, Chu, and Zadov-Chu codes for sequences from 2 to 52 elements long. The results obtained can be used in electrical communication and radar.

Keywords: *autocorrelation function, side lobe level, spectrum, signal constellation, histogram.*

Развитие теории сигналов исторически тесно взаимосвязано с техникой их формирования и обработки. В последнее время важным фактором становится вычислительная составляющая, включающая в себя алгоритмы и возможности цифровых устройств. В связи с этим наблюдается взрывной рост появления новых дискретно-кодированных сигналов. Отдельные радиоимпульсные дискретно-кодированные сигналы имеют хорошие корреляционные свойства, определяемые структурой автокорреляционной функцией (АКФ) при реализуемых высокостабильных схемах формирования и оптимальной обработки. Несмотря на многочисленные публикации в области сложных сигналов, дополнительные исследования в этой области имеют большое не только теоретическое, но и практическое значение.

На рис. 1 представлена классификация некоторых видов фазомодулированных (ФМ) радиоимпульсных (РИ) сигналов. Среди

представленных сигналов особое место имеют сигналы на основе кодов Баркера [1] — как в многофазных, так и бинарных вариантах ($0/180^\circ$). Коды Баркера имеют уровень боковых лепестков (УБЛ) АКФ постоянной величины. Такие сигналы позиционируются как сигналы с идеальными корреляционными свойствами, для которых УБЛ АКФ совпадает с коэффициентом оценки уровня боковых лепестков при нулевом значении коэффициента оптимальности [2].

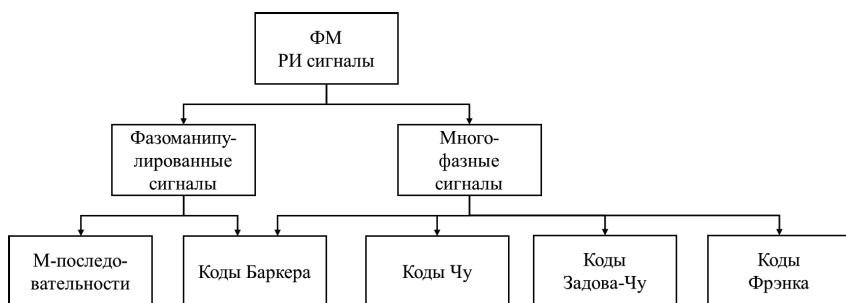


Рис. 1. Классификация фазомодулированных радиоимпульсных сигналов

Первоначально были предложены бинарные коды Баркера для последовательностей из 2, 3, 4, 5, 7, 11 и 13 элементов, причем для 2 и 4 элементов существуют по два варианта последовательностей. В дальнейшем разработаны многофазные коды Баркера из 6, 8, 9, 10, 12 и от 14 до 52 элементов [3; 4], причем число различных последовательностей при фиксированном числе элементов достигает нескольких тысяч.

Среди фазомодулированных сигналов особое значение занимают фазоманипулированные сигналы, кодовые последовательности которых являются псевдослучайными последовательностями максимальной длины, или *М*-последовательностями [5]. *М*-последовательности принадлежат к разряду двоичных линейных рекуррентных последовательностей и представляют собой набор *N* периодически повторяющихся двоичных символов, причем каждый текущий

символ d_j образуется в результате сложения по модулю «2» m предыдущих символов, одни из которых умножаются на единицу (присутствуют в сумме), а другие умножаются на ноль (отсутствуют в сумме). Уровень боковых лепестков периодической АКФ имеет значение $1/N$, а УБЛ АКФ — $1/\sqrt{N}$.

Известны радиоимпульсные сигналы с нулевым УБЛ периодической АКФ на основе кодов Фрэнка [6; 7], кодов Чу [8] и кодов Задова-Чу [9]. Эти сигналы имеют достаточно низкий УБЛ АКФ, что важно для практического использования, так как в большинстве случаев на практике приходится иметь дело с сигналами и системами их обработки, в которых используется непериодическая (импульсная) АКФ.

Для разработчиков связанных и радиолокационных систем могут быть полезными временные, спектральные и корреляционные характеристики указанных радиоимпульсных сигналов в виде:

- закона изменения начальных фаз (аналитическое выражение, таблица, график);
- закона изменения квадратурных составляющих;
- амплитудно-частотного спектра;
- автокорреляционной функции;
- сигнального созвездия;
- гистограммы распределения фаз.

С учетом этого разрабатывается атлас РИ сигналов с числом радиоимпульсов от 2 до 52 (по максимальному значению элементов известных кодов Баркера). Атлас составляется для сигналов с прямоугольной огибающей радиоимпульсов, причем для возможности сравнения спектров также приводятся спектры пачки синфазных радиоимпульсов.

Для каждого из сигналов атласа проводится сравнение УБЛ с коэффициентом оценки уровня боковых лепестков [2] $kN-l$:

$$k_{N-1} = 20 \log_2 (N^{-1}), \quad (1)$$

В таблице 1 для примера приведены значения УБЛ для последовательностей с числом элементов от 2 до 20.

Таблица 1. — Корреляционные параметры радиоимпульсных сигналов

код \ N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M		-9,54				-10,92			
Баркер	-6,19	-9,89	-11,87 -12,21	-13,98		-16,90			-19,92 -19,69 -19,38
Фрэнк			-12,21					-19,08	
Чу	-6,11	-9,69	-12,01	-13,94	-15,52	-14,98	-15,24	-15,38	-15,87
Задов-Чу	-6,11	-9,69	-12,01	-13,94	-15,52	-14,98	-15,24	-15,38	-15,87
k_{N-1}	-6,02	-9,54	-12,04	-13,98	-15,56	-16,90	-18,06	-19,08	-20,00

Таблица 1. Продолжение

код \ N	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M					-11,57 -13,98					
Баркер	-20,48	-21,25	-22,28 -21,94	-22,63	-23,37	-23,94	-24,17	-25,10	-25,14	-26,02
Фрэнк						-21,07				
Чу	-16,37	-16,93	-17,40	-17,82	-18,32	-18,82	-18,99	-19,09	-19,25	-19,32
Задов-Чу	-16,37	-16,93	-17,40	-17,82	-18,32	-18,82	-18,99	-19,09	-19,25	-19,32
k_{N-1}	-20,83	-21,58	-22,28	-22,92	-23,52	-24,08	-24,61	-25,11	-25,58	-26,02

Незаполненные ячейки таблицы определяются тем, что M -последовательности в этом интервале существуют лишь для 3, 7 и 15 элементов, а коды Фрэнка — лишь для 4, 9 и 16 элементов. При этом некоторые сигналы имеют по несколько вариантов: два варианта реализации M -последовательностей для 15 элементов; два варианта реализации кодов Баркера для 4 и 13 элементов; три варианта реализации кодов Баркера для 10 элементов.

На рис. 2–8 для примера приведены характеристики радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов в последовательности.

Фаза n -го радиоимпульса сигнала на основе кода Чу определяется выражением:

$$\varphi_n = \begin{cases} \frac{\pi}{N} n^2, & N - \text{чётное}, \\ \frac{2\pi}{N} n^2, & N - \text{нечётное} \end{cases} \quad (2)$$

$$n = 0, 1, \dots, N-1,$$

где n — порядковый номер элемента, начиная с нулевого.

В таблице 2 приведен закон изменения фазы многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу (с учетом периодичности гармонических функций приведен к интервалу $0/360^\circ$).

Таблица 2. — Закон изменения фазы многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу

n	0	1	2	3	4	5	6
$\varphi_n, \text{град}$	0,00	13,85	55,38	124,62	221,54	346,15	138,46

Таблица 2. Продолжение

n	7	8	9	10	11	12
$\varphi_n, \text{град}$	318,46	166,15	41,54	304,62	235,38	193,85

На рис. 2 изображен закон изменения фазы многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу (приведен к интервалу $0/360^\circ$).

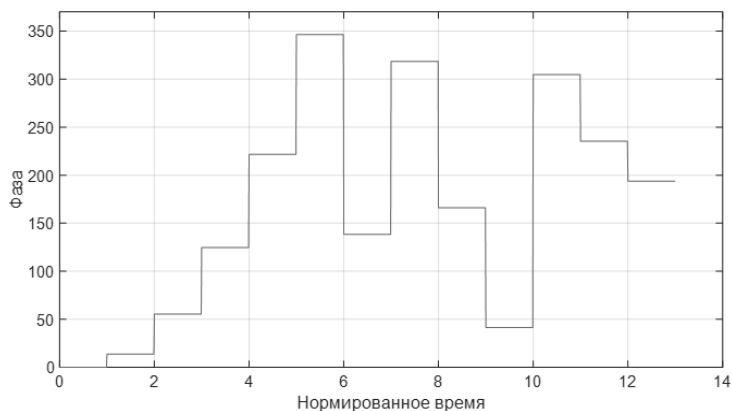


Рис. 2. Закон изменения фазы многофазного радиопульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов

Начальный участок закона изменения фазы демонстрирует квадратичный закон, который затем усложняется из-за вычитания из текущих значений фазы величин, кратных 360° .

На рис. 3 изображены законы изменения квадратурных составляющих многофазного радиопульсного сигнала на основе кода Чу.

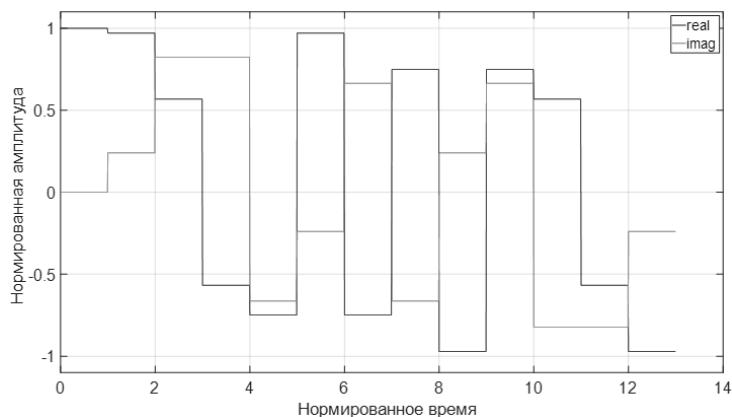


Рис. 3. Зависимость от порядкового номера квадратурных составляющих многофазного радиопульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов

Представленный закон изменения квадратурных компонент обеспечивает неизменность амплитуд радиоимпульсов.

На рис. 4 изображен нормированный амплитудный спектр многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу. Здесь же приведен нормированный амплитудный спектр одиночного радиоимпульса, имеющего такую же длину, как и каждый радиоимпульс последовательности кода Чу.

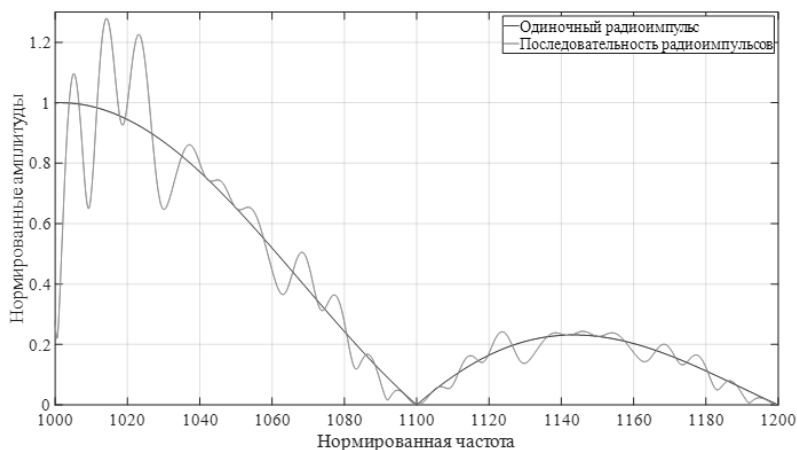


Рис. 4. Спектр многофазного радиоимпульсного сигнала (красный) на основе кода Чу из 13 элементов и одиночного радиоимпульса (синий)

При прямоугольной форме радиоимпульсов спектр очень широкий, на рис. 4 представлена только правая от несущего колебания часть спектра. На рис. 5 для сравнения изображен спектр пачки тринадцати синфазных радиоимпульсов. Здесь же приведен спектр одиночного радиоимпульса, имеющего такую же длину, как и каждый радиоимпульс последовательности синфазных радиоимпульсов.

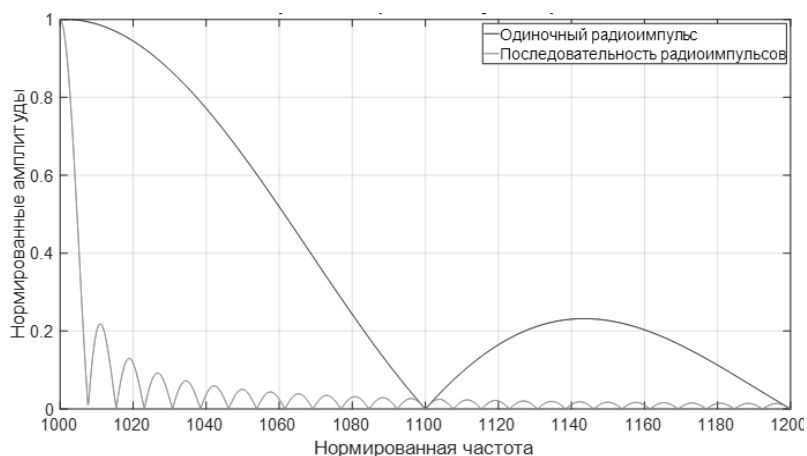


Рис. 5. Спектр одиночного радиоимпульса (синий) и пачки синфазных радиоимпульсов (красный) из 13 элементов

Увеличение числа синфазных радиоимпульсов сужает нормированный спектр по сравнению со спектром одиночного радиоимпульса, но введение квадратичного закона изменения фаз радиоимпульсов расширяет спектр, однако огибающая спектра становится более сложной по сравнению с огибающей вида $(\sin(x))/x$, характерной для одиночного радиоимпульса и пачки синфазных радиоимпульсов.

На рис. 6 изображена нормированная автокорреляционная функция многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу (УБЛ составляет 0,135 от главного максимума).

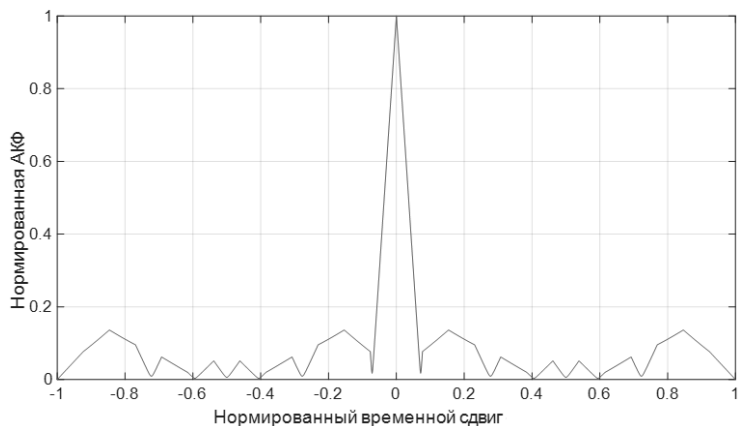


Рис. 6. Нормированная АКФ многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов

На рис. 7 изображена нормированная автокорреляционная функция многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу в логарифмическом масштабе (УБЛ составляет $-17,40$ дБ от главного максимума).

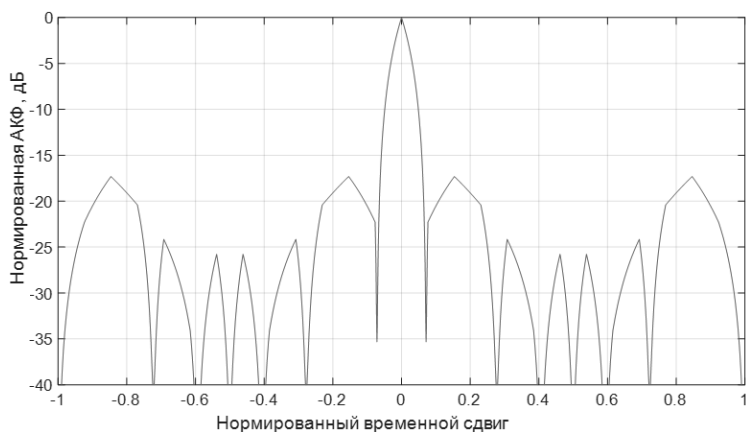


Рис. 7. Нормированная (в логарифмическом масштабе) АКФ многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов

АКФ имеет главный максимум при нулевом сдвиге и довольно сложные боковые лепестки при других значениях задержки. Следует отметить, что для 13 элементов в последовательности коэффициент оценки уровня боковых лепестков [2] k_{N-1} составляет $-22,28$ дБ, т. е. УБЛ кода Чу из 13 элементов отстает от потенциально достижимого значения на $4,88$ дБ.

На рис. 8 изображено сигнальное созвездие многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу.

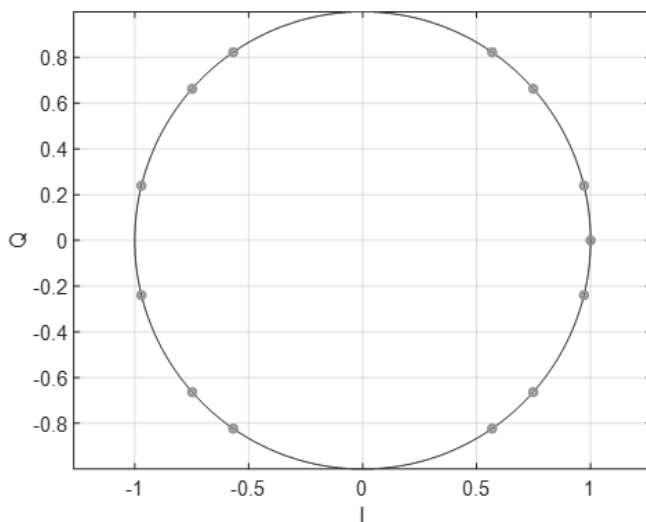


Рис. 8. Сигнальное созвездие многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов

Сигнальное созвездие демонстрирует попарную группировку значений фазы с разницей около 13° при явно выраженной симметрии относительно горизонтальной оси и частичной симметрии относительно вертикальной оси.

На рис. 9 изображена гистограмма распределения фаз многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу.

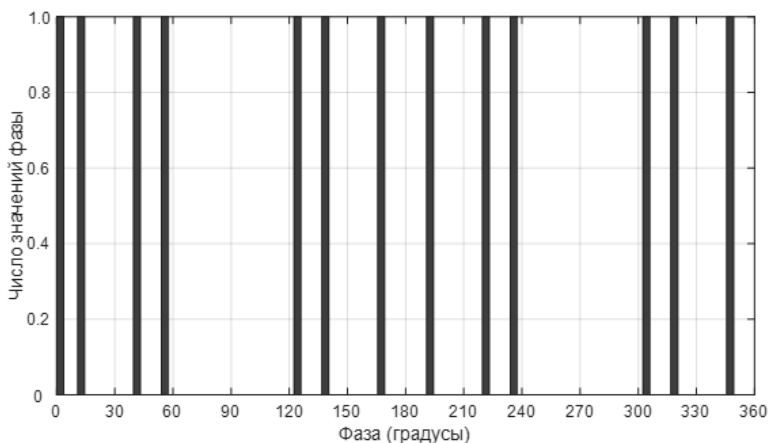


Рис. 9. Гистограмма распределения фаз многофазного радиоимпульсного сигнала на основе кода Чу из 13 элементов

Гистограмма, в отличие от сигнального созвездия показывает и повторяемость одинаковых значений фазы — для последовательно из 13 элементов каждое значение фазы встречается всего один раз.

Заключение

1. Сложные системы сигналов на основе фазомодулированных (фазоманипулированных и многофазных) радиоимпульсных сигналов имеют хорошие корреляционные свойства, что объясняет повышенный интерес к ним разработчиков радиолокационного и связного оборудования.

2. Разрабатываемый атлас фазомодулированных радиоимпульсных сигналов может быть востребован как разработчиками радиотехнических систем, так и учебным процессом вузов, готовящих инженерные кадры радиотехнических направлений.

3. Разрабатываемый атлас будет содержать материал по временным, спектральным и корреляционным характеристикам радиоимпульсных сигналов на основе M -последовательностей, кодов Баркера, Фрэнка, Чу и Задова-Чу:

- закона изменения начальных фаз (аналитическое выражение, таблица, график);
- закона изменения квадратурных составляющих;
- амплитудно-частотного спектра;
- автокорреляционной функции;
- сигнального созвездия;
- гистограммы распределения фаз.

4. Разрабатываемый атлас будет описывать радиоимпульсные сигналы с прямоугольной огибающей и числом радиоимпульсов от 2 до 52.

Список использованной литературы

1. Максимов, В. В. Новые композитные коды Баркера / В. В. Максимов, И. А. Храповицкий // *The Scientific Heritage*. — 2020. — № 49-1(49). — С. 28–35.

2. Алмазова, Е. Г. Оценка минимального достижимого уровня боковых лепестков функции неопределенности / Е. Г. Алмазова, А. И. Дёмко // *Вестник кибернетики*. — 2024. — Т. 23, № 3. — С. 96–102.

3. Brenner, A. R. Polyphase Barker sequences up to length 45 with small alphabets/ A.R. Brenner// *Electronics Letters*. — 1998. — Vol. 34 (16) — P. 1576–1577.

4. Леухин, А. Н. Многофазные импульсные последовательности с одноуровневой автокорреляцией / А. Н. Леухин, А. С. Шувалов, А. С. Петухов // *Вестник Мар. гос. тех. ун-та: серия радиотехнические и инфокоммуникационные системы*. — 2010. — № 2. — С. 77–90.

5. Варакин, Л. Е. Корреляционные свойства сегментов М-последовательностей / Л. Е. Варакин, Л. Н. Волков // *Радиотехника*. — 1973. — Т. 28, № 2.

6. Фрэнк, Р. Л. Многофазные коды с хорошими непериодическими корреляционными свойствами / Р. Л. Фрэнк // *Зарубежная радиоэлектроника*. — 1963. — Т. 17, № 12. — С. 39–44.

7. Кук, Ч. Радиолокационные сигналы. Теория и применение / Ч. Кук, М. Бернфельд; пер. с англ. под ред. В. С. Кельзона. — М.: Советское радио, 1971. — 568 с.

8. Чу, Д. К. Полифазные коды с хорошими периодическими корреляционными свойствами / Д. К. Чу // IEEE Trans. Инф. Теория. — 1972. — №18 (4). — С. 531–532.

9. Zhou Z., Helleseth T., Parampalli U. A family of polyphase sequences with asymptotically optimal correlation // IEEE Transact. on Information Theory. — 2018. Vol. 64, №4. — P. 2896–2900.

УДК 621.396.962.21

А. А. Асхадуллин, А. И. Дёмко

БУ ВО «Сургутский государственный университет», Сургут

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ И УСТОЙЧИВОСТИ К ПОГРЕШНОСТЯМ ФОРМИРОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЗАДОВА-ЧУ

г. Сургут

Аннотация. В работе рассматриваются сигналы на основе кодов Задова-Чу, имеющие нулевой уровень боковых лепестков периодической автокорреляционной функции и низкий уровень боковых лепестков автокорреляционной функции. Приведены результаты расчетов автокорреляционной функции при разных параметрах сигнала. Исследуется влияние неточностей формирования в виде дискретизации фазы сигналов на основе кодов Задова-Чу на структуру автокорреляционной функции и степень увеличения уровня боковых лепестков автокорреляционной функции. Полученные результаты могут быть использованы в радиолокации и электрической связи.

Ключевые слова: *многофазные последовательности, код Задова-Чу, погрешность формирования, автокорреляционная функция, уровень боковых лепестков.*

A. A. Askhadullin, A. I. Djomko

Surgut State University, Surgut, Russia

INVESTIGATION OF CORRELATION PROPERTIES
AND RESISTANCE TO ERRORS IN THE FORMATION
OF ZADOFF-CHU SEQUENCES

Surgut

Abstract. The paper considers signals based on Zadoff-Chu codes having a zero level of the side lobes of the periodic autocorrelation function and a low level of the side lobes of the autocorrelation function. The results of calculations of the autocorrelation function for different signal parameters are presented. The influence of inaccuracies in the formation of phase sampling of signals based on Assignment codes on the structure of the autocorrelation function and the degree of increase in the side lobes of the autocorrelation function is investigated. The results obtained can be used in radar and electrical communications.

Keywords: *multiphase sequences, Zadoff-Chu code, formation error, autocorrelation function, the level of the side lobes.*

С развитием технологий все более широко применяются сложные сигналы, теория которых достаточно хорошо разработана для применения в радиолокации и электрической связи. Использование в радиолокаторах сложных сигналов позволяет обеспечить одновременно высокую разрешающую способность по дальности и скорости, однако они имеют повышенные требования к точности формирования и боковые лепестки автокорреляционной функции. В электрической связи сложные сигналы позволяют увеличить пропускную способность каналов связи за счет передачи по одному каналу одновременно нескольких сообщений.

Сложные сигналы можно разделить на непрерывные и радиопульсные. В свою очередь радиопульсные сложные сигналы можно разбить на частотно-модулированные (ЧМ),

частотно-манипулированные (ЧМн), многочастотные (ЛЧМ), фазомодулированные (ФМ), фазоманипулированные (ФМн) (сигналы с кодовой фазовой модуляцией — КФМ-сигналы) и многофазные сигналы.

В работе рассмотрены многофазные радиоимпульсные сигналы на основе кодов Задова-Чу.

Единичный радиоимпульс последовательности Задова-Чу [1] определяется выражением (1):

$$S(t) = S_m \cdot \exp(j\omega_0 t + j\varphi_n) \quad (1)$$

где: φ_n — значения фазы, задаваемые формулой (2):

$$\varphi_m = \begin{cases} \frac{2\pi}{N} \cdot r \cdot \frac{m^2}{2}, & \text{если } N - \text{четное} \\ \frac{2\pi}{N} \cdot r \cdot \frac{m(m+1)}{2}, & \text{если } N - \text{нечетное} \end{cases} \quad (2)$$

где N — длина последовательности,

m — порядковый номер радиоимпульса, $m = 0, 1, 2, \dots, N-1$,

r — любое целое число, взаимно простое с N .

Последовательность Задова-Чу представляет собой последовательность комплексных чисел, модуль которых равен 1, а фаза изменяется по квадратичному закону.

В работе исследовано влияние неточностей формирования в виде дискретизации фазы сигналов на основе кодов Задова-Чу на структуру автокорреляционной функции (АКФ) и степень увеличения уровня боковых лепестков (БЛ) АКФ. Расчет автокорреляционной функции $A(\tau)$ выполняется по формуле (3):

$$A(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot s(t - \tau) dt \quad (3)$$

На рис. 1. изображены нормированные автокорреляционные функции сигналов на основе кодов Задова-Чу для последовательностей длиной в 16, 256 и 1024 элемента.

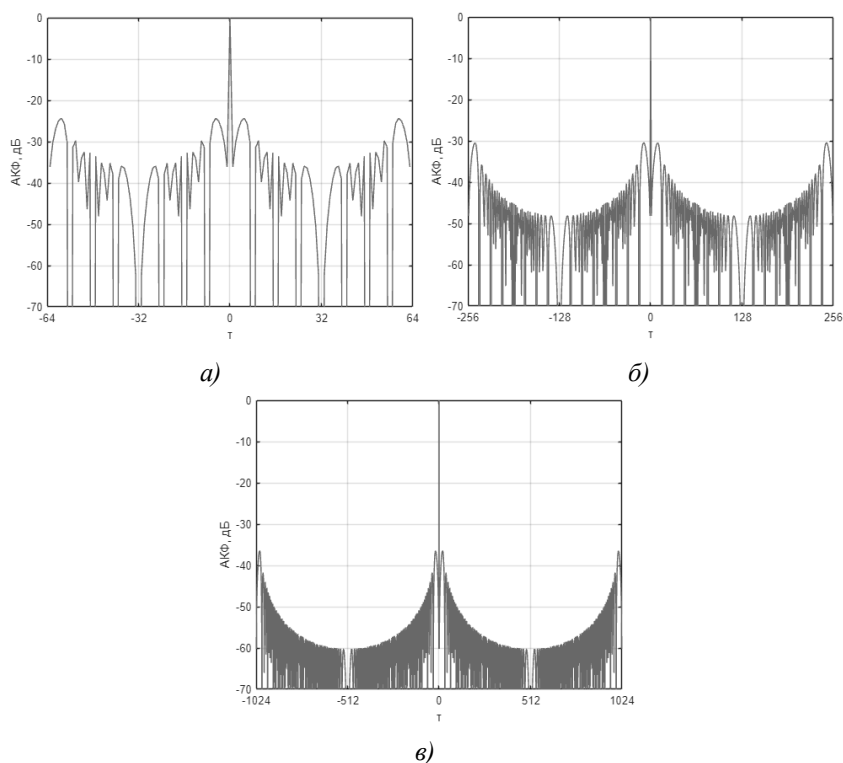


Рис. 1. Нормированные АКФ последовательности Задова-Чу:

а) $N = 64$; б) $N = 256$; в) $N = 1024$

При использовании для формирования сигнала дискретного фазовращателя [2, 3] возникает дискретизация фазы относительно исходных (2) значений. Дискретизация фазы осуществляется путем последовательного подключения группы отдельных дискретных фазовращателей, каждый из которых имеет вдвое меньший фазовый сдвиг по сравнению с предыдущим (рис. 2), причем при использовании всего одного фазовращателя на 180° многофазная последовательность преобразуется в фазоманипулированную.

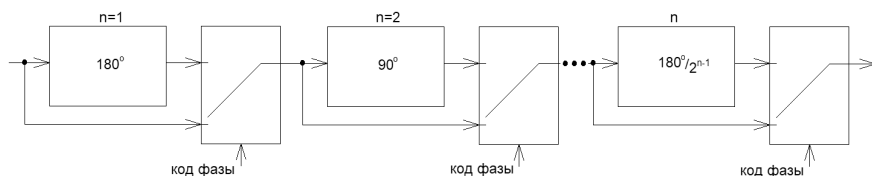


Рис. 2. Дискретный фазовращатель

В таблице 1 приведен пример дискретизации одного из фазовых сдвигов (2) $312,517^\circ$ при разном числе ступеней дискретного фазовращателя.

Таблица 1. — Пример формирования фазового сдвига с помощью дискретных фазовращателей

Число ФВ	Исходное значение фазового сдвига	фаза	погреш- ность
		$312,517^\circ$	
10	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ; 11,25^\circ; 5,625^\circ; 2,8125^\circ; 1,40625^\circ; 0,703125^\circ; 0,3515625^\circ$	$311,835^\circ$	$0,682^\circ$
9	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ; 11,25^\circ; 5,625^\circ; 2,8125^\circ; 1,40625^\circ; 0,703125^\circ$	$311,484^\circ$	$1,033^\circ$
8	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ; 11,25^\circ; 5,625^\circ; 2,8125^\circ; 1,40625^\circ$	$310,781^\circ$	$1,736^\circ$
7	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ; 11,25^\circ; 5,625^\circ; 2,8125^\circ$	$309,375^\circ$	$3,142^\circ$
6	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ; 11,25^\circ; 5,625^\circ$	$309,375^\circ$	$3,142^\circ$
5	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ; 11,25^\circ$	$303,750^\circ$	$8,767^\circ$
4	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ; 22,5^\circ$	$292,500^\circ$	$20,017^\circ$
3	$180^\circ; 90^\circ; 45^\circ$	270°	$42,517^\circ$
2	$180^\circ; 90^\circ$	270°	$42,517^\circ$
1	180°	180°	$132,517^\circ$

На рис. 3. представлены нормированные АКФ последовательности Задова-Чу длиной 1024 элемента, рассчитанные для разных дискретных значений фазовых сдвигов. Дискретизация фазы приводит к изменению структуры АКФ, причем главный максимум

не изменяется, но боковые лепестки становятся нерегулярно распределенными, и возрастает их уровень.

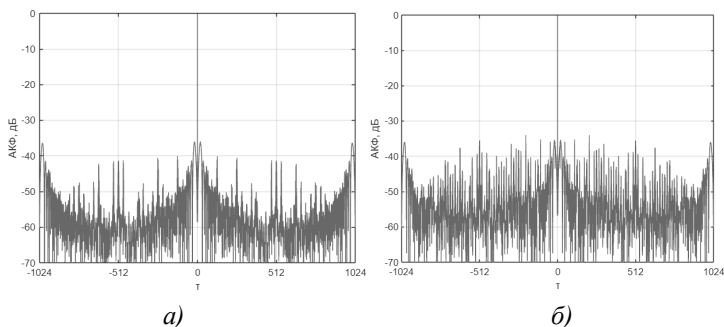


Рис. 3. АКФ последовательности Задова-Чу $N=1024$

а) при 5 дискретных фазовращателях; б) при 4 дискретных фазовращателях

При представлении сигнала на основе кода Задова-Чу в комплексном виде удобной наглядной формой, характеризующей структуру фазового распределения, является сигнальное созвездие. Примеры сигнального созвездия исходного сигнала и сигналов с дискретизацией фазы изображены на рис. 4. Дискретизация фазы приводит к уменьшению числа различных значений фазы и приведению структуры фазового распределения к более регулярной.

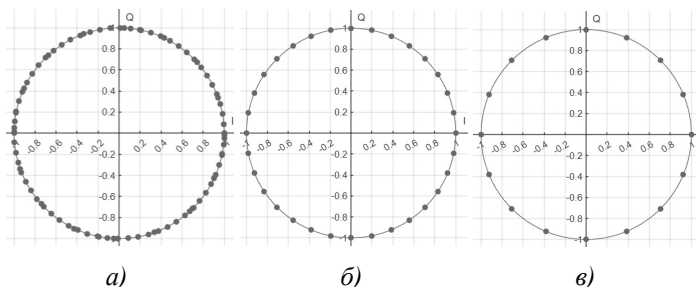
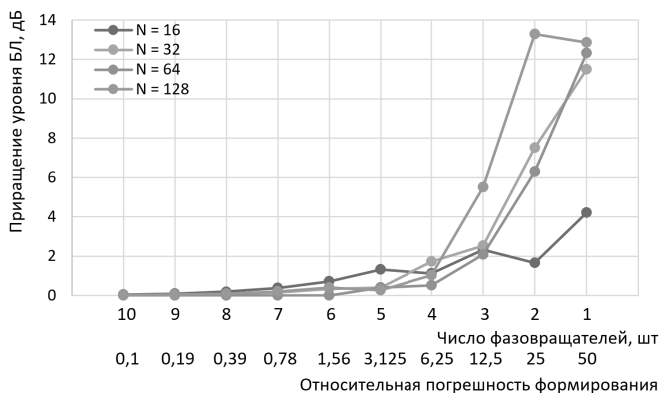


Рис. 4. Сигнальное созвездие последовательности Задова-Чу $N = 256$:

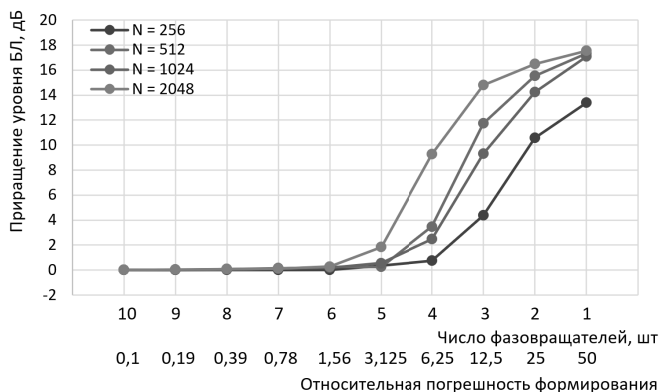
а) исходное; б) при 5 дискретных фазовращателях;

в) при 4 дискретных фазовращателях

На рис. 5. приведены зависимости степени увеличения уровня боковых лепестков сигналов на основе кодов Задова-Чу при формировании сигнала с помощью ограниченного числа дискретных фазовращателей.



а)



б)

Рис. 5. Приращение уровня БЛ АКФ последовательности Задова-Чу при дискретизации фазы для $N = 16, 32, 64, 128$ (а) и $256, 512, 1024, 2048$ (б)

На рис. 6. изображена зависимость приращения уровня боковых лепестков от числа элементов последовательности при использовании 4 дискретных фазовращателей.

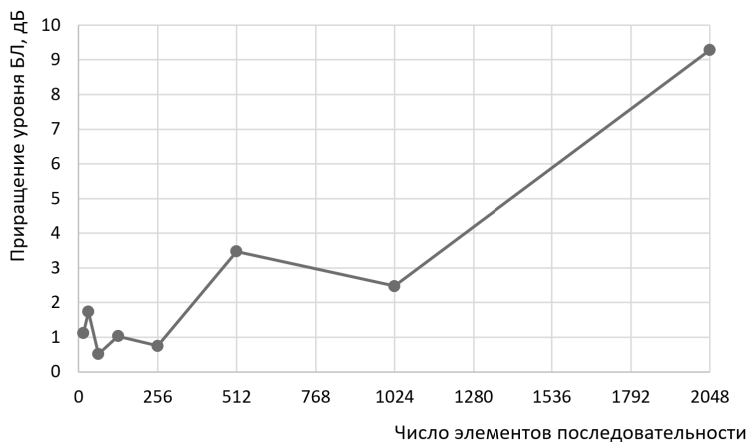


Рис. 6. Зависимость приращения уровня БЛ от числа элементов последовательности при использовании 4 дискретных фазовращателей

Анализ зависимости приращения уровня БЛ от числа элементов последовательности (рис. 6) при использовании 4 дискретных фазовращателей показывает, что для последовательностей длиной $N = 2^k$ с четным показателем степени k наблюдается меньшее увеличение уровня боковых лепестков, чем с нечетным.

Разработан нормативный документ, регламентирующий допустимый уровень боковых лепестков для радиолокаторов различного назначения (приказ Министерства транспорта РФ от 16.11.2023 г. № 381 «Об утверждении Федеральных авиационных правил»), в соответствии с пунктом 419 которого «Допустимый уровень боковых лепестков не должен превышать минус 25 дБ». Данный документ может быть основой для выбора числа элементов последовательности и допустимого уровня дискретизации фазы.

Выводы

1. Проведенные исследования расширяют возможности использования многофазных сигналов на основе кодов Задова-Чу за счет ослабления требований к используемым фазовращателям.

2. Отличие значений фазы от теоретических приводит к изменению структуры автокорреляционной функции и увеличению уровня боковых лепестков автокорреляционной функции.

3. Погрешность задания фазы из-за уменьшения числа дискретных фазовращателей приводит к увеличению уровня боковых лепестков автокорреляционной функции, причем по-разному в зависимости от числа элементов в последовательности.

4. Для последовательностей длиной 512 и 1024 элемента допустимо использование всего пяти дискретных фазовращателей (дискрет фазы $11,25^\circ$), при этом приращение боковых лепестков составляет не более 0,5 дБ.

5. Использование всего пяти дискретных фазовращателей допустимо и для длин последовательности в 24 и 2048 элемента, но уже с увеличением уровня боковых лепестков на 2,5 дБ и 1,8 дБ соответственно.

6. Для последовательностей длиной 16, 64, 128, 256 элемента увеличение уровня боковых лепестков составляет не более 1,1 дБ при использовании всего четырех дискретных фазовращателей (дискрет фазы $22,5^\circ$).

7. Использование всего четырех фазовращателей допустимо для длин в 32 и 48 элемента последовательности, но уже с увеличением уровня боковых лепестков на 2,1 дБ.

Список использованной литературы

1. Русанов, В. Э. Исследование свойств автокорреляционной функции одного периода последовательности Задова-Чу / В. Э. Русанов // Экономика и качество систем связи. — 2024. — № 1. — С. 53–59.

2. Алмазова, Е. Г. Цифровые формирователи многофазных сигналов / Е. Г. Алмазова, А. И. Дёмко // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России: сборник научных трудов III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Сургут, 21–22 апреля 2022 г. / под общ. ред. В. В. Рыжакова. — М.: Знание-М, 2022. — С. 414–419.

3. Патент № 225903 Российской Федерации на полезную модель, МПК H03H 11/00. Дискретный фазовращатель: №2023120369: заявл. 02.08.2023, опубл. 13.05.2024/ Дёмко А.И. — Бюл. № 14. — 4 с.

УДК 004.722:531.7

К. А. Батенков

ФГБОУ ВО «Московский технический университет связи и информатики»,
г. Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА СЕТИ FRAME RELAY НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОЭФФИЦИЕНТА ПОТЕРИ КАДРОВ И ВРЕМЕНИ ПЕРЕНОСА

г. Сургут

Аннотация. В статье представлен анализ статистических данных для определения класса сети Frame Relay. На основе данных о числе переданных и принятых кадров, а также времени их переноса вычислен коэффициент потери кадров. Коэффициент потери позволяет отнести сеть к любому из классов качества функционирования. Для более точной классификации рассчитаны квантили коэффициентов потери кадров и времени переноса. Результаты представлены в виде гистограммы функции распределения коэффициентов потери кадров.

Ключевые слова: *Frame Relay, коэффициент потери кадров, время переноса кадров, квантили и проценты, классификация сетей.*

K. A. Batenkov

Moscow Technical University of Communications and Informatics, Moscow

DETERMINATION OF FRAME RELAY NETWORK CLASS
BASED ON FRAME LOSS RATIO AND TRANSFER
TIME ANALYSIS

Surgut

Abstract. The article presents an analysis of statistical data to determine the class of the Frame Relay network. Based on the data on the number of transmitted and received frames, as well as the time of their transfer, the frame loss coefficient is calculated. The loss coefficient allows you to assign the network to any of the functional quality classes. For a more accurate classification, the quantiles of the coefficients of frame loss and transfer time are calculated. The results are presented as a histogram of the distribution function of the frame loss coefficients.

Keywords: *Frame Relay, frame loss coefficient, frame transfer time, quantiles and percentiles, network classification.*

Классификация сетей Frame Relay (FR) основывается на таких параметрах, как коэффициент потери кадров (FLR) и время переноса [1, 2]. В статье представлен подробный анализ статистических данных, позволяющий определить класс сети [3]. Использование квантилей и процентилей обеспечивает точность оценки качества функционирования сети [4, 5].

Измеренные статистические данные для исследуемой сети FR приведены в таблице 1 (предполагается, что все кадры являются нормальными). Определить, к какому классу сетей FR принадлежит рассматриваемая сеть.

Таблица 1. — Статистические данные исследуемой сети FR

Номер интервала измерений i	Число переданных кадров $n_i + n_{l,i}$	Число принятых кадров n_i	Минимальное время переноса кадров $\tau_{min,i}$	Среднее время переноса кадров τ_i	Максимальное время переноса кадров $\tau_{max,i}$
1	644152	644150	25	35	37
2	643000	642992	29	36	37
3	804662	804653	66	74	87
4	463592	463577	72	76	90
5	158870	158852	79	88	102
6	1173	1169	101	104	108
7	611479	611468	109	115	117
8	226127	226111	116	118	130
9	768006	767989	140	144	148
10	560487	560468	150	156	161
11	588092	588080	162	164	167
12	18	15	5080	5087	5089

Дано: $n_i + n_{l,i}, n_i, \tau_{min,i}, \tau_i, \tau_{max,i}, i = 1, 2, \dots, n_g = 12$.

Найти: класс сети FR.

Первоначально определим коэффициент потери кадров, основываясь на статистике таблицы 1 (второй и третий столбец). Поскольку статистика приведена в виде гистограммы, то общее число переданных кадров равно:

$$n + n_l = \sum_{i=1}^{n_g} (n_i + n_{l,i}) = 644152 + 643000 + 804662 + \\ + 463592 + 158870 + 1173 + 611479 + 226127 + 768006 + \\ + 560487 + 588092 + 18 = 5,46 \cdot 10^{-6}.$$

Число непринятых кадров вычисляется с учетом верхней границы времени задержки $T_{max} = 5 \text{ с} = 5000 \text{ мс}$:

$$n_l = \sum_{i=1}^{n_g-1} [(n_i + n_{l,i}) - n_i] + n_{n_g} = 644152 - 644150 + \\ + 643000 - 642992 + 804662 - 804653 + 463592 - \\ - 463577 + 158870 - 158852 + 1173 - 1169 + 611479 - \\ - 611468 + 226127 - 226111 + 768006 - 767989 + \\ + 560487 - 560468 + 588092 - 588080 + 18 = 149.$$

Соответствующий коэффициент потери кадров:

$$p_l = \frac{n_l}{n + n_l} = \frac{149}{5,46 \cdot 10^{-6}} = 2,724 \cdot 10^{-5}.$$

Исходя из данного показателя, сеть может принадлежать к любому классу.

Порядки квантилей (процентилей) определяются путем нормирования сумм числа принятых кадров, а сами квантили — как разности между соответствующими значениями показателей. При этом необходимо упорядочить полученные коэффициенты в порядке неубывания. С этой целью определяется сначала значение показателя для каждого интервала измерений, а только потом — значение квантилей. Так, коэффициенты потери кадров и соответствующие квантили вычисляются по формулам:

$$p_{l,i} = \frac{(n_i + n_{l,i}) - n_i}{n_i + n_{l,i}}, i = 1, 2, \dots, n_g - 1, p_{l,n_g} = 1.$$

$$h_{n_g} = 1, h_j = 1 - \frac{1}{n + n_l} \sum_{i=j+1}^{n_g} (n_i + n_{l,i}), j = 1, 2, \dots, n_g - 1,$$

а результаты расчетов приведены в таблице 2 (отметим, что после сортировки используются индекс j , а правило его сопоставления с индексом i указано в данной таблице).

Таблица 2. — Квантили коэффициентов потери кадров исследуемой сети FR

Номер интервала измерений i	Число переданных кадров $n_i + n_{i,i}$	Число принятых кадров n_i	Число потерянных кадров $n_{i,i}$	Номер в порядке убывания коэффициентов потери кадров j	Коэффициент потери кадров $p_{i,j}$	Квантиль h_j
1	644152	644150	2	1	$3,105 \cdot 10^{-6}$	0,118
3	804662	804653	9	2	$1,118 \cdot 10^{-5}$	0,265
2	643000	642992	8	3	$1,244 \cdot 10^{-5}$	0,382
7	611479	611468	11	4	$1,799 \cdot 10^{-5}$	0,494
11	588092	588080	12	5	$2,04 \cdot 10^{-5}$	0,602
9	768006	767989	17	6	$2,214 \cdot 10^{-5}$	0,742
4	463592	463577	15	7	$3,236 \cdot 10^{-5}$	0,827
10	560487	560468	19	8	$3,39 \cdot 10^{-5}$	0,929
8	226127	226111	16	9	$7,076 \cdot 10^{-5}$	0,971
5	158870	158852	18	10	$1,133 \cdot 10^{-4}$	0,999782
6	1173	1169	4	11	$3,41 \cdot 10^{-3}$	0,999997
12	18	15	18	12	1	1

Поскольку $h_8 < 0,95 < h_9$, то процентиль коэффициентов потери кадров $p_{0,95} = 7,076 \cdot 10^{-5}$ (рис. 1). Откуда ясно, что по этому показателю сеть также соответствует любому классу.

Время переноса кадров дано в качестве исходных данных в таблице 1, причем в ней интервалы измерения уже упорядочены в порядке невозрастания среднего времени переноса. Соответствующие квантили по аналогичным формулам, за исключением того, что размер выборки здесь соответствует только принятым кадрам и двенадцатый интервал измерения не рассматривается, так как он относится к недоставленным кадрам:

$$h_{n_g-1} = 1, h_j = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=j+1}^{n_g-1} n_i, j = 1, 2, \dots, n_g - 2.$$

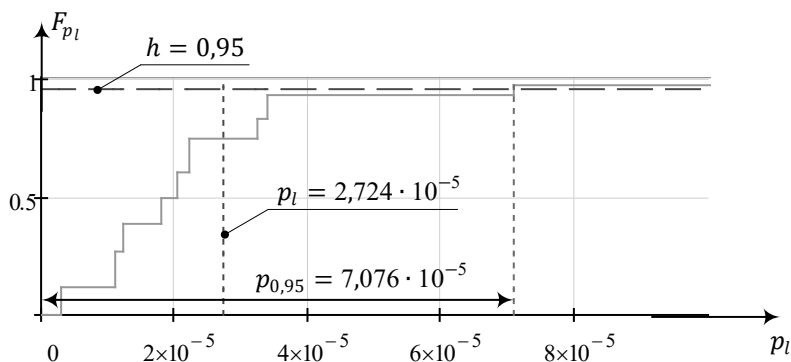


Рис. 1. Гистограмма функции распределения F_{p_l} коэффициентов потери кадров p_l

Анализ коэффициента потери кадров и времени переноса позволяет точно определить класс сети Frame Relay. На основе статистических данных и расчетов квантилей установлено, что исследуемая сеть соответствует любому классу качества функционирования. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию параметров сети и улучшение ее производительности.

Список использованной литературы

1. Rec. X.144. User information transfer performance parameters for public frame relay data networks. — 2003–10. — Geneva : ITU-T, 2004. — 36 p.
2. Rec. X.145. Connection establishment and disengagement performance parameters for public Frame Relay data networks providing SVC services. — 2003–10. — Geneva : ITU-T, 2004. — 24 p.
3. Rec. X.146. Performance objectives and quality of service classes applicable to frame relay. — 2000–10. — Geneva : ITU-T, 2001. — 20 p.

4. Батенков, А. А. Вероятность связности телекоммуникационной сети на основе приведения нескольких событий не-связности к объединению независимых событий / А. А. Батенков, К. А. Батенков, А. Б. Фокин // Информационно-управляющие системы. — 2021. — № 6 (115). — С. 53–63. — DOI 10.31799/1684-8853-2021-6-53-63. — EDN AOUANJ.

5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, К. Корн. — М. : 1970. — 720 с.

УДК 621

М. Е. Емельянова¹, В. В. Рыжаков²

¹ СургутНИПИнефть, г. Сургут

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

АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКГ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЕ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

г. Сургут

Аннотация. В работе проведен анализ спектральных характеристик сигналов электрокардиограммы (ЭКГ), полученных как от живых пациентов, так и сгенерированных эталонных сигналов. Исследование нацелено на изучение амплитудных и фазовых спектров ЭКГ-сигналов с разной частотой сердечных сокращений (ЧСС).

Ключевые слова: *спектральный анализ ЭКГ, амплитудный спектр, фазовый спектр, фильтрация сигналов, MatLab.*

M. E. Emelianova¹, V. V. Ryzhakov²

¹ SurgutNIPIneft, Surgut

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

ANALYSIS OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF ECG AT DIFFERENT HEART RATES

Surgut

Abstract. The paper analyzes the spectral characteristics of electrocardiogram (ECG) signals obtained from both living patients and generated reference signals. The study is aimed at studying the amplitude and phase spectra of ECG signals with different heart rates.

Keywords: *ECG spectral analysis, amplitude spectrum, phase spectrum, signal filtering, MatLab.*

Целью работы было провести анализ спектральных характеристик сигналов ЭКГ и на их основе выявить подходящие для фильтрации сигнала фильтры.

Проблему передачи данных также увеличивает рост количества устройств интернета вещей, что подтверждается в работах [1–2], а прогнозы аналитиков Transforma Insights к 2030 году указывают на увеличение этого количества в 3 раза, что приведет к более ускоренному росту объема передаваемой информации.

Одним из вариантов решения проблемы, связанной с передачей данных, может быть оптимизация процесса с помощью метода снижения количества отсчетов на передающей стороне и их последующее восстановление на приемной.

Проблема заключается в восстановлении сигнала, так как сигналу ЭКГ необходим комплексный подход, который требует последовательного применения нескольких типов фильтров, таких как фильтр высоких частот, фильтр низких частот, режекторный

фильтр, каждый из которых вносит собственные искажения в сигнал.

Для подбора необходимых фильтров были взяты спектральные характеристики с разной ЧСС сгенерированного ЭКГ-сигнала и взятого с пациента.

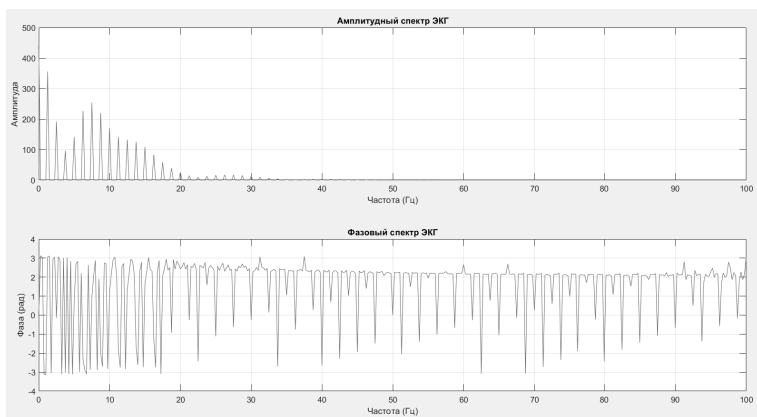


Рис. 1. Амплитудный и фазовый спектр сгенерированного ЭКГ-сигнала с ЧСС 75 уд/мин

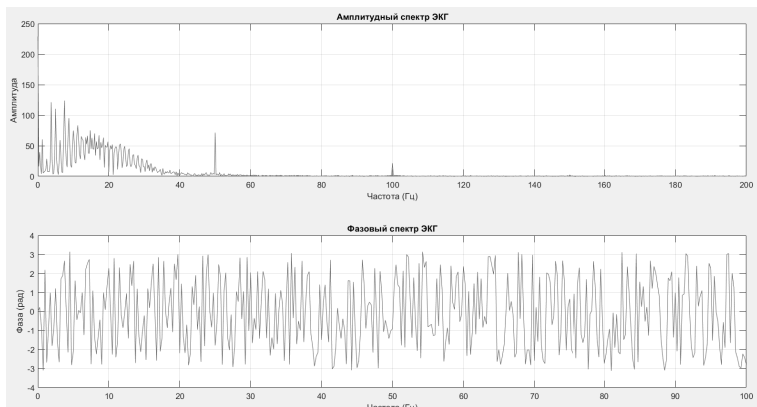


Рис. 2. Амплитудный и фазовый спектр снятого с пациента ЭКГ-сигнала с ЧСС 75 уд/мин

Получившиеся амплитудные спектральные характеристики, сгенерированные в MATLAB, демонстрируют четкие пики на гармониках, соответствующих ЧСС. Характеристики, получившиеся с ЭКГ-сигналов пациентов, имеют более сложный спектр с дополнительными гармониками и шумами.

Фазовые спектральные характеристики демонстрируют линейную зависимость фазы от частоты, что характерно для синтетических сигналов с минимальными искажениями, в то время как снятые с пациентов имеют нелинейные фазовые сдвиги, особенно в высокочастотной области, что связано с неидеальностью биологических систем и наличием артефактов.

Это также прослеживается в ЭКГ-сигналах с более высокой ЧСС.

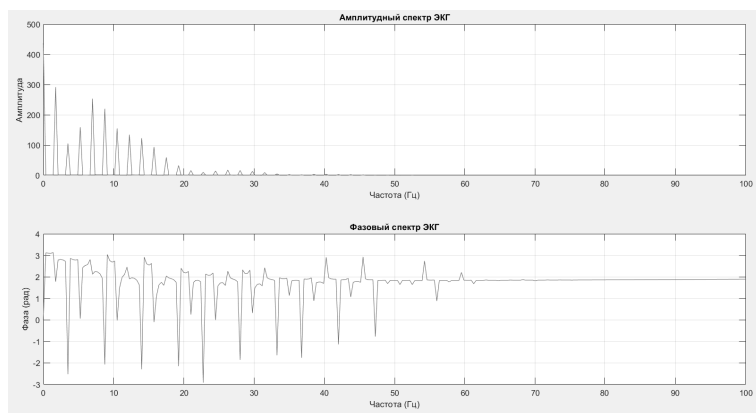


Рис. 3. Амплитудный и фазовый спектр сгенерированного ЭКГ-сигнала с ЧСС 105 уд/мин

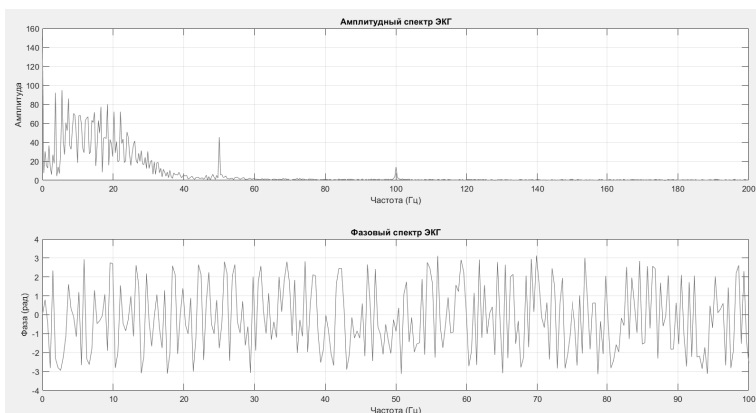


*Рис. 4. Амплитудный и фазовый спектр снятого с пациента ЭКГ-сигнала
с ЧСС 105 уд/мин*

Таким образом, сравнение подчеркивает важность в комплексном подходе подбора фильтров для ЭКГ-сигналов.

Список использованной литературы

1. Козинец, Н. В. Современные вызовы ИОТ (интернет вещей): общие вопросы и правовое регулирование / Н. В. Козинец. — Текст: электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48439768> (дата обращения: 13.05.2023).
2. уприянова, Т. В. О проблемах развития интернета вещей в России / Т. В. Куприянова, Д. И. Кислицын. — Текст: электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44431198> (дата обращения: 13.05.2023)
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. Morin, E. Comparison of the device lifetime in wireless networks for the internet of things / E. Morin, M. Maman, R. Guizzetti, and A. Duda // *IEEE Access*. — Vol. 5. — Pp. 7097–7114, 2017

УДК 621

В. В. Авдеев, А. Ю. Бабкин

БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры

«Сургутский государственный университет», г. Сургут

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФРАГМЕНТАЦИИ DISCOM-ФАЙЛОВ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ СЕТЕВОЙ ДОСТУПНОСТИ

г. Сургут

Аннотация. В данной работе рассматриваются методы повышения эффективности передачи данных телеУЗИ в условиях ограничений

существующих технологий связи, таких как сети EDGE и HSPA+. В качестве решения предложен метод фрагментации DICOM-файлов, направленный на снижение нагрузки на канал связи. Проведен эксперимент с использованием платы NodeMCU Lolin V3, в ходе которого сравнивались стандартный способ передачи данных и передача по частям. Результаты показали значительное снижение времени передачи в условиях EDGE.

Ключевые слова: телеУЗИ, телемедицина, EDGE, HSPA+, системы телеметрии.

V. V. Avdeev, A. Y. Babkin

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

ANALYSIS OF THE IMPACT OF DICOM FILE FRAGMENTATION ON TRANSFER SPEED IN CONDITIONS OF LIMITED NETWORK AVAILABILITY

Surgut

Abstract. This paper discusses methods for improving the efficiency of ultrasound data transmission under the constraints of existing communication technologies such as EDGE and HSPA+ networks. As a solution, a DICOM file fragmentation method is proposed, aimed at reducing the load on the communication channel. An experiment was conducted using the NodeMCU Lolin V3 card, during which the standard data transmission method and piecemeal transmission were compared. The results showed a significant reduction in transmission time under EDGE conditions.

Keywords: *tele ultrasound, EDGE, HSPA+, telemetry systems.*

Цель данного исследования состоит в поиске методов, направленных на повышение эффективности передачи данных телеультразвуковых исследований (далее — телеУЗИ) с учетом ограничений, характерных для существующих технологий связи, таких как сотовые сети 2G/3G.

Развитие телемедицинских технологий играет ключевую роль в обеспечении доступности квалифицированной медицинской помощи в удаленных и труднодоступных регионах. Одним из перспективных направлений телемедицины является телеУЗИ, позволяющее проводить удаленную оценку состояния пациентов в реальном времени. Однако эффективная передача ультразвуковых данных по каналам связи с низкой пропускной способностью, таким как 2G/EDGE и спутниковые каналы, остается серьезной технической проблемой.

В исследовании [1] было установлено, что стандартные методы передачи данных имеют недостаточную эффективность при работе с DICOM-файлами в условиях нестабильного сетевого соединения и ограниченной пропускной способности канала. Для решения данной проблемы предложен метод фрагментации передаваемых данных. Данный подход позволяет существенно повысить устойчивость процесса передачи и минимизировать количество повторных отправок в случае возникновения сбоев при передаче данных.

В рамках данной работы проведена проверка эффективности метода фрагментации DICOM-файла в реальной системе телеметрии. Структурная схема системы телеметрии, используемая в настоящее время, представлена на рис. 1.

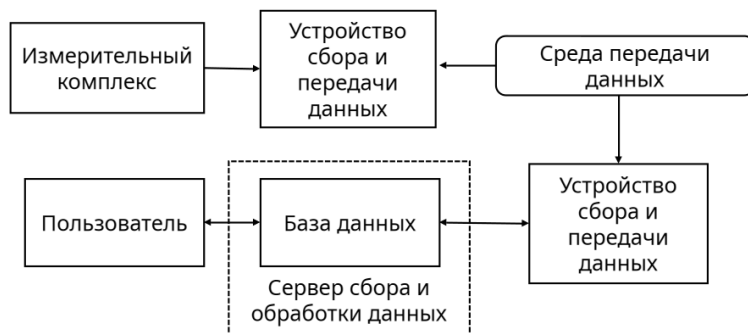


Рис. 1. Структурная схема системы телеметрии, используемой в настоящее время

Проверка проводилась в системе телеметрии, изображенной на рис. 2.

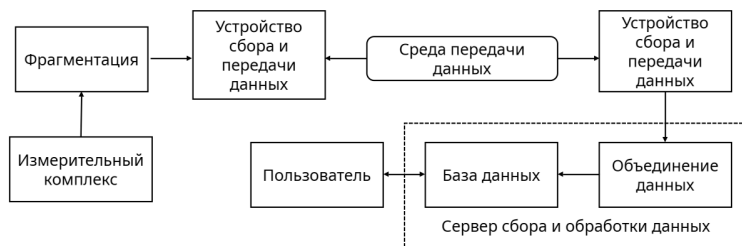


Рис. 2. Структурная схема оптимизированной системы телеметрии

В качестве среды передачи данных использовалась глобальная сеть Интернет. Для измерения и передачи файлов была задействована микроконтроллерная плата NodeMCU Lolin V3, подключенная к точке доступа, работающей в сетях EDGE и HSPA+ с использованием протокола Wi-Fi. В роли пользовательского и серверного оборудования использовались два персональных компьютера. На серверной стороне для хранения и отображения файлов в формате *.dcm применялась платформа с открытым исходным кодом Nextcloud, в которую был интегрирован «Acan.io Viewer» для просмотра медицинских изображений [2]. Интерфейс программного обеспечения представлен на рис. 3:



Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения

Структура исследуемой системы представлена на рис. 4.



Рис. 4. Исследуемая система

В рамках данной работы было рассмотрено два варианта передачи данных:

1) Система, описанная на рис. 1. DICOM-файл заранее записан на смартфон, и посредством мобильного приложения «Nextcloud» файл передавался на сервер через протоколы беспроводной передачи данных EDGE и HSPA+;

2) Вторая система, описанная на рис. 2 и 4. DICOM-файл заранее записан на плату NodeMCU Lolin V3. Перед отправкой данных файл фрагментируется на 60 частей. Такое значение частей обусловлено размером файла (1,6 Мбайт), пропускной способностью протокола EDGE и объемом оперативной памяти платы. Передача на сервер осуществляется посредством POST-запросов. На стороне сервера был запущен обработчик, написанный на языке Python, принимающий и обрабатывающий входящие запросы. После завершения передачи все части объединялись, файл восстанавливался и конвертировался обратно в формат *.dcm, становясь доступным для последующего просмотра и анализа.

Была проведена оценка времени передачи файла на сервер, результаты представлены в таблице 1. Замеры проводились три раза, в таблицу внесены усредненные значения.

Таблица 1. — Результаты измерений

Метод передачи	Время передачи по EDGE, с	Время передачи по HSPA+, с	Уровень сигнала, dBm
Стандартный	210	5	-23
С фрагментацией	73	48	-23

Как видно из результатов, при использовании EDGE время передачи уменьшилось почти в три раза с 210 до 73 секунд, что обусловлено более оптимальными параметрами передаваемых фрагментов. При этом для сети HSPA+ наблюдается обратная ситуация. Время передачи увеличилось с 5 до 48 секунд. Это может быть связано с дополнительными накладными расходами, возникающими при многократном установлении соединения и управлении большим количеством небольших пакетов в условиях высокоскоростного и более стабильного соединения.

В качестве заключения можно сделать вывод об эффективности применения фрагментации файлов биотелеметрии в условиях низкоскоростных соединений, таких как EDGE, где традиционный способ передачи оказывается крайне неэффективным. В случае более стабильных сетей, как HSPA+, данный подход требует дополнительной оптимизации и может быть менее предпочтительным. Полученные данные подтверждают жизнеспособность предложенного метода для критических условий, характерных для удаленных регионов с ограниченными возможностями подключения. В дальнейшем планируется проведение исследования с применением платы на микроконтроллере ESP32, обладающей большим объемом оперативной памяти по сравнению с NodeMCU на базе ESP8266. Эксперимент будет проводиться в условиях низкого уровня сигнала, что позволит более точно смоделировать реальные сценарии работы в удаленных регионах. Для повышения эффективности передачи данных потребуются доработка алгоритма фрагментации, с адаптацией размеров и количества фрагментов в соответствии с текущей пропускной способностью канала связи.

Список использованной литературы

1. Авдеев, В. В. Поиск методов повышения эффективности передачи данных ультразвуковых исследований / В. В. Авдеев, А. Ю. Бабкин // Развитие малой распределенной генерации в России : Сб. науч. трудов II Всероссийской с международным участием науч.-пр. конф., Сургут, 19–20 декабря 2024 года.

2. Власов Евгений. Перелом бедренной кости // Rentgenogram — архив DICOM. 2017. URL: <https://rentgenogram.com> (дата обращения: 20.03.2025).

УДК 621.311

Л. Л. Семенова

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

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается задача обеспечения эффективной передачи телеметрических данных от сенсорных узлов мониторинга магистральных газопроводов до центра обработки. Актуальность обусловлена критической значимостью своевременного обнаружения утечек и аварийных ситуаций. Предлагается формализация сети мониторинга в виде графа с использованием модели массового обслуживания М/М/п для оценки задержек. Разработан подход оптимизации маршрутов на основе линейного программирования с учетом ограничений пропускной способности каналов и приоритетов данных. Проведены имитационные эксперименты в MATLAB, демонстрирующие снижение задержек передачи за счет распределения нагрузки по альтернативным маршрутам и избегания перегрузки каналов.

Ключевые слова: *телеметрия, газопровод, маршрутизация, оптимизация, беспроводная сенсорная сеть.*

L. L. Semenova

Surgut State University, Surgut

OPTIMIZATION OF TELEMETRY DATA TRANSMISSION ROUTES IN MONITORING SYSTEMS

Surgut

Abstract. The article addresses the problem of ensuring efficient transmission of telemetry data from sensor nodes monitoring main gas pipelines to the processing center. The relevance is due to the critical importance of timely detection of leaks and emergency situations. The monitoring network is formalized as a graph using an M/M/n queueing model to assess delays. An approach to route optimization is developed based on linear programming, taking into account channel capacity constraints and data priorities. Simulation experiments in MATLAB demonstrate a reduction in transmission delays by redistributing load across alternative routes and avoiding channel overload.

Keywords: *telemetry, gas pipeline, routing, optimization, wireless sensor network.*

Системы мониторинга газопроводов предназначены для контроля параметров трубопроводной сети (давление, утечки, вибрации и др.) в реальном времени. Они играют ключевую роль в обеспечении безопасности и предотвращении аварий на магистральных газопроводах. Аварийные утечки газа могут приводить к серьезным экономическим и экологическим последствиям, поэтому своевременная передача данных от полевых датчиков критически важна. Развитие цифровых сетей и беспроводных сенсорных технологий позволяет выстраивать распределенные системы сбора данных вдоль трубопроводов [3, 4]. Однако для обеспечения надежного и быстрого

доведения информации до диспетчерского пункта требуется эффективная маршрутизация телеметрического трафика.

Целью данной работы является разработка модели и метода оптимизации маршрутов передачи телеметрических данных в системе мониторинга газопровода, обеспечивающих минимизацию задержек и предотвращение перегрузки каналов. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- 1) формализация сети мониторинга в виде ориентированного графа с заданными параметрами каналов;
- 2) применение модели массового обслуживания М/М/п для оценки характеристик очередей и задержек на маршрутах;
- 3) постановка оптимизационной задачи распределения потоков данных с учетом ограничений пропускной способности;
- 4) разработка алгоритма решения с использованием методов численной оптимизации;
- 5) имитационное исследование предложенного подхода на примерах.

Модель сети. Система передачи телеметрии представляется в виде ориентированного графа $G = (V, E)$, где множество узлов V включает в себя сенсорные узлы (датчики) S вдоль трубопровода, промежуточные узлы-ретрансляторы R и центральный узел сбора/обработки данных C , а ребра E соответствуют каналам связи между узлами и характеризуются максимальной пропускной способностью μ_{ij} на участке между узлами i и j .

Каждый сенсорный узел генерирует поток телеметрических данных с интенсивностью λ , направленный к центру обработки. Интенсивность потока данных задана в кбит/с. Потоки данных отличаются по приоритету $p_j \in \{0,1\}$: например, данные аварийного характера (об обнаружении утечки и т. д.) помечаются наивысшим приоритетом $p_k = 1$ и должны передаваться с минимальной задержкой (рис. 1).

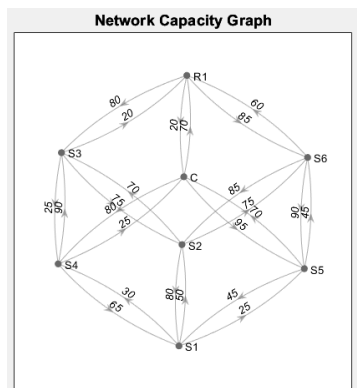


Рис. 1. Размеченный граф сети

Ограничения и критерии. Для обеспечения надежности связи вводятся ограничения на использование каналов: загрузка любого канала не должна превышать 80% от пропускной способности во избежание переполнения очереди и резкого возрастания задержки. Главным критерием оптимальности является минимизация суммарной ожидаемой длины очередей в системе, что эквивалентно минимизации средних задержек доставки телеметрических сообщений.

Формализация задачи. Оптимизация маршрутов передачи данных в сети формализуется как задача распределения потоков λ_k по доступным путям в графе G с целью минимизации общей функции задержки. Последняя может быть выражена через суммарную длину очередей на всех каналах, используемых в маршрутах.

В качестве модели задержки выбран аппарат теории массового обслуживания: для каждого канала связь между интенсивностью нагрузки и средней длиной очереди описывается моделью М/М/1 [1]. Эта модель предполагает пуассоновский поток поступления данных и экспоненциальное распределение времени обслуживания, что подходит для случайного характера поступления телеметрических пакетов и простоты каналов с одним обслуживающим

устройством. Согласно классической формуле М/М/1, при условии $p_k < 1$ ожидаемая длина очереди на канале определяется как:

$$Q_{ij}(p_{ij}) = p_{ij}^2 / (1 - p_{ij})$$

где $p_{ij} = \lambda_{ij} / \mu_{ij}$ — относительная загрузка канала i – j . Из этой формулы следует резкий рост Q_{ij} при приближении загрузки к единице (точке насыщения канала).

Целевая функция оптимизации задается как сумма

$$N(\lambda) = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^m \frac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}}}{1 - \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_{ij}}{\mu_{ij}}}$$

по всем каналам сети. Минимизация ее приводит к такому распределению потоков по путям, при котором ни один канал не испытывает непропорционально высокой нагрузки по сравнению с другими (балансировка нагрузки), особенно для критичных высокоприоритетных потоков.

Решение задачи. Переменными оптимизации в данной постановке выступают доли потоков, направляемые по тем или иным каналам. Для каждого потока сумма по всем исходящим из узла i каналам равна λ_k . В каждом узле баланс входящего и исходящего трафика поддерживается, кроме центра обработки, где трафик поглощается. Задача минимизации при указанных ограничениях является нелинейной. В рамках работы выбрано численное решение с использованием MATLAB Optimization Toolbox (функция *fmincon*), которая позволяет находить минимум нелинейной целевой функции при наличии линейных ограничений.

Основными компонентами модели выступают:

- Пропускная способность каналов связи: задается матрицей смежности.
- Потоки данных: заданные интенсивности потоков от сенсоров к центру обработки данных.

- Приоритеты потоков: критичные данные получают приоритетное размещение на менее загруженных каналах.

Метод оптимизации. Для решения задачи используется **линейное программирование** с ограничениями по пропускной способности каналов и очередям данных [2]. Оптимизация проводится с использованием стандартных методов численной оптимизации (например, *fmincon* в MATLAB).

Имитационные примеры

Разработанный алгоритм оптимизации маршрутов телеметрии был протестирован на ряде модельных сценариев, отражающих типичную структуру фрагмента сети мониторинга газопровода. В качестве примера рассмотрим сеть из восьми узлов (рис. 1). В начальной конфигурации видно, что некоторые каналы имеют загрузку более 80%. Применение оптимизационного алгоритма перераспределило потоки следующим образом:

- поток от узла 3 к узлу 5 после оптимизации перенаправляется через менее нагруженные ветви (рис. 2, а);
- поток от узла 6 к узлу 4 теперь проходит по более короткому и устойчивому маршруту, что позволяет снизить задержки (рис. 2, б);

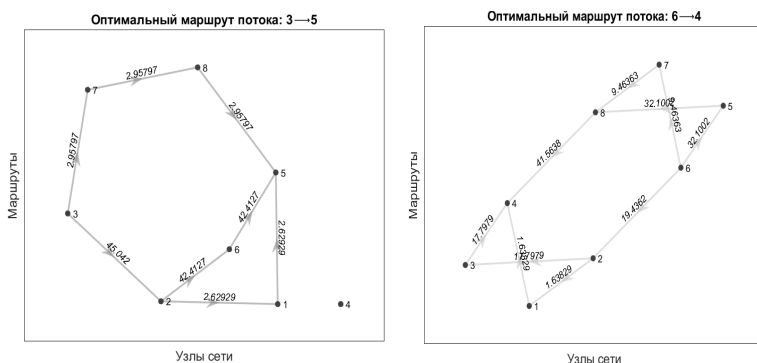


Рис. 2. Оптимизированные варианты маршрутов передачи трафика:
а) маршруты между узлами 3–5; б) маршруты между узлами 6–4

Результаты имитационных испытаний подтверждают, что оптимизация маршрутов передачи телеметрических данных позволяет существенно снизить средние задержки и избежать перегрузки каналов. Модель позволяет определить, какие каналы становятся «узким местом» при увеличении нагрузки. В частности, по результатам оптимизации вычисляются коэффициенты загрузки всех каналов. Анализ этих значений показывает, какие участки сети наиболее чувствительны к росту трафика. В общем случае предлагаемая методика маршрутизации интегрируется с задачей планирования развития сети: она не только оптимизирует текущие маршруты, но и может предоставить информацию о том, куда целесообразно вложить ресурсы для модернизации (например, установить дополнительную радиорелейную станцию или проложить дублирующую линию связи).

Заключение

В работе предложено решение задачи оптимального управления потоками телеметрических данных в системе мониторинга магистрального газопровода. Предложен метод оптимизации маршрутов передачи, основанный на модели М/М/1 для оценки задержек и использовании алгоритмов численной оптимизации (MATLAB *fmincon*). Модель учитывает ограничения пропускной способности каналов и приоритеты передаваемой информации. Показано, что соблюдение условия ограниченной загрузки каналов (не более 80%) и балансировка трафика по альтернативным путям позволяют избежать сильного роста очередей и обеспечить устойчивую работу сети. Имитационные эксперименты подтвердили снижение средних задержек доставки данных в результате оптимизации: перегрузка критических каналов устраняется, а суммарная длина очередей в системе минимизируется.

Список использованной литературы

1. Олейникова, С. А. Математическое моделирование и системы массового обслуживания / С. А. Олейникова; ФГБОУ ВО «Воронежский

государственный технический университет». — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. — 90 с.

2. Acosta, C. E., Gil-Castiñeira, F., Costa-Montenegro, E., Sá Silva, J. Reliable link level routing algorithm in pipeline monitoring using implicit acknowledgements // *Sensors*. — 2021. — Vol. 21, No. 3. — Article 968. — URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/3/968>

3. Sheltami, T.R., Bala, A., Shakshuki, E.M. Wireless sensor networks for leak detection in pipelines: a survey // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. — 2016. — Vol. 7, No. 3. — P. 347–356.

4. Sarfraz, M., Javed, M.Y., Anjum, M.A., Sohail, S. Routing optimization technique using M/M/1 queuing model & genetic algorithm // *International Journal of Computer Science and Information Security*. — 2010. — Vol. 8, No. 3. — P. 52–58. — URL: https://www.researchgate.net/publication/45197918_Routing_Optimization_Technique_Using_MM1_Queueing_Model_Genetic_Algorithm

УДК 621.396

М. Р. Конейка

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ПИТАНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

г. Сургут

Аннотация. Цель данной статьи — обозначить ключевые параметры, подлежащие учету при построении комплексной методики оценки эффективности систем электропитания базовых станций. Автор считает, что данная статья в первую очередь будет полезна студентам и стажерам, нацеленным на работу в сфере телекоммуникаций или в сфере энергетики.

Ключевые слова: радиорелейные линии связи, системы питания базовых станций, экономические затраты.

М. Р. Копейка

Surgut State University, Surgut

ECONOMIC EFFICIENCY POWER SUPPLY SYSTEMS FOR BASE STATIONS

Surgut

Abstract. The purpose of this article is to identify the key parameters to be taken into account when building a comprehensive methodology for evaluating the effectiveness of base station power supply systems. The author believes that this article will be primarily useful for students and interns who are aiming to work in the field of telecommunications or in the energy sector.

Keywords: *radio relay communication lines, power supply systems for base stations, economic costs.*

1. Введение

Надежное электропитание базовых станций (БС) — важное составляющее устойчивой работы современных инфокоммуникационных систем. Растущие требования к бесперебойности и качеству связи ставят задачу, выраженную в разработке комплексного подхода проектирования и эксплуатации систем энергоснабжения телекоммуникационной инфраструктуры.

При расчетах эффективности таких систем рассматривают математические модели, отражающие только техническую эффективность системы. Это может быть коэффициент полезного действия (КПД) оборудования, потери электроэнергии, стоимость компонентов установки и другие параметры. Однако подобный подход не позволяет в полной мере отразить все аспекты функционирования систем электропитания в реальных условиях.

Важную роль играют не только энергетические и технические характеристики, но и показатели надежности, трудоемкость технического обслуживания, устойчивость к отказам, возможность масштабирования и модернизации, а также эффективность работы в длительной перспективе. При всем этом требуется не просто учитывать эти параметры по отдельности, но иметь комплексную методику учета этих факторов. Таким образом формируется сложная инженерно-экономическая задача, требующая системного анализа.

2. Ключевые факторы проектирования и эксплуатации систем энергоснабжения телекоммуникационной инфраструктуры

Системы электропитания базовых станций представляют собой комплекс технических решений, эффективность которых невозможно оценить по одному универсальному критерию. На практике приходится учитывать множество разнородных факторов — от энергетических характеристик и надежности до эксплуатационных затрат, автоматизации и адаптивности к изменениям в инфраструктуре.

Каждый параметр оказывает влияние на итоговую эффективность системы. Эти параметры взаимосвязаны и требуют комплексного учета с выходом на компромиссное решение. Например, повышение надежности может потребовать дополнительных затрат, а автоматизация — повлиять на требования к квалификации обслуживающего персонала.

Рассмотрим ключевые параметры для комплексной оценки системы питания БС.

2.1. Энергетические параметры (КПД)

Энергетические параметры отражают, насколько эффективно используется электрическая энергия и рациональность распределения ресурсов в системе. Однако даже в рамках «энергетики» можно выделить несколько ключевых аспектов:

- Коэффициент полезного действия (КПД): является базовым показателем преобразовательных устройств (выпрямителей, инверторов и т. д.).

$$\text{КПД} = \frac{P_{\text{Выход}}}{P_{\text{Вход}}} \times 100\%$$

- Потери в элементах цепи: потери на сопротивлении кабелей; потери на переключающих устройствах, «паразитные потери».
- Нагрузочная характеристика — система питания должна эффективно работать как при полной нагрузке, так и в режиме частичной загрузки.
- Пульсации и качество напряжения — параметры, напрямую влияющие на чувствительное телекоммуникационное оборудование. Повышенные пульсации после выпрямителей или нестабильность напряжения на входе в оборудование могут привести к деградации его элементов и сокращению срока службы.
- Согласованность между источниками: несогласованность по фазе или по времени может привести к кратковременным просадкам или перенапряжению в системе. Особое значение имеет для АВР.

Данные параметры напрямую влияют на экономическую эффективность и термостабильность системы. Неэффективная система по этим параметрам, помимо очевидных потерь энергии, может приводить к перегреву оборудования и, как следствие, к ускоренной деградации.

2.2. Надежность

Надежность — способность всей установки сохранять работоспособность в течение заданного времени без сбоев и критических отказов. Система должна рассматриваться как N количество элементов, каждый из которых вносит вклад в общую интенсивность отказов.

Для оценки параметра надежности предлагаю использовать следующий подход:

а. Составляем таблицу отказов на уровне компонентов (по паспортным данным)

Наименование элемента	Кол-во	Интенсивность отказов (1 шт.)	Суммарная интенсивность отказов (СИО)

б. Определить среднее время наработки на отказ всей системы (MTBF)

$$MTBF = \frac{1}{\sum СИО_i}$$

с. Расчет вероятности безотказной работы (за заданный интервал времени t)

$$P_t = e^{-MTBF * t}$$

При этом стоит учитывать возможность использования систем резервирования.

Резервирование — выход из строя одного компонента обязательно влечет за собой отказ всей системы. Это усложняет расчеты, но добавляет надежности системе.

Таким образом, расчет надежности требует не только знания характеристик оборудования, но и структурной схемы, сценариев эксплуатации, а также понимания, какие элементы являются критичными, а какие могут быть временно недоступны без серьезных последствий.

2.3. Эксплуатационные и сервисные затраты

Помимо технических параметров, требуется учитывать затраты, связанные с обслуживанием и сопровождением оборудования на протяжении всего срока службы. Даже при высокой энергоэффективности и надежности система может оказаться экономически нецелесообразной из-за высокой ресурсоемкости в эксплуатации.

Основные статьи расходов на содержание систем питания базовых станций:

- Периодическое техническое обслуживание — как правило, это регламентированные плановые работы. Они включают в себя измерение приборов согласно техническому регламенту, протяжку болтовых соединений, чистку оборудования, обновление лицензионных ключей и другие параметры, которые фиксируются в виде экспертного заключения. Для этих работ требуется обученный персонал, соответствующее оборудование и инструменты, расходы на транспорт до базовой станции, информационная система для заполнения и хранения заключений ТО, человеко-часы.
- Ремонт и замена компонентов — для своевременного проведения аварийно-восстановительных работ требуется наличие компонентной базы на складах. Также стоит учитывать, что компонентная база может обладать сроком эксплуатации, который варьируется в зависимости от условий эксплуатации и режима работы.
- Мониторинг — для своевременного устранения аварийных событий требуется наличие контроля состояния базовых станций. Контроль осуществляется либо в автоматизированном состоянии, либо через выезд персонала.
- Человеко-часы — под проведение работ закладывается время персонала. Это не только время на обслуживание, но и составление отчетов, логистика, прохождение инструктажей, согласование работ и т. д.

Оценочный подсчет затрат на эксплуатационное обслуживание:

$$\text{Затраты}_{\text{экс.}} = \sum_{i=1}^n (t_{\text{человеко-час}} \times \text{стоимость}_{\text{человеко-час}} + \text{стоимость}_i)$$

стоимость_i — стоимость материалов и оборудования в операции i

n — число операций на все время эксплуатации.

2.4. Масштабируемость и модернизация

Системы электропитания базовых станций должны обладать потенциалом для наращивания мощности и адаптации под изменяющиеся требования. Рост трафика, установка нового оборудования или изменение стандартов связи требуют гибкости энергетической инфраструктуры.

Масштабируемость выражается в возможности добавления компонентов (например, выпрямителей или АКБ) без полной переделки системы. Модернизация — это замена устаревших или изношенных элементов на более эффективные аналоги, обновление ПО контроллеров, интеграция новых интерфейсов.

Отсутствие резерва по мощности или невозможность модернизации ведут к преждевременному моральному и техническому устареванию всей системы, что снижает ее общую эффективность и увеличивает расходы в будущем.

Вывод

Оценка эффективности системы электропитания базовых станций представляет собой многопараметрическую инженерно-экономическую задачу. Недостаточно учитывать только КПД оборудования или стоимость его установки. Для получения объективной картины необходимо анализировать надежность, эксплуатационные и сервисные затраты, уровень автоматизации, возможности масштабирования, а также срок службы компонентов и их деградацию.

Каждый из рассмотренных параметров оказывает влияние на итоговую эффективность, причем влияние это зачастую неоднозначное и требует поиска компромиссов. Повышение одного показателя может повлечь рост затрат или снижение гибкости системы.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации систем электропитания БС требуется системный подход, включающий как количественные методы анализа, так и инженерную оценку взаимосвязанных факторов. Разработка методик, учитывающих всю

совокупность таких параметров, является ключом к созданию надежной, эффективной и адаптивной энергетической инфраструктуры.

Список использованной литературы

1. Татарникова, А. Н. Экономика энергетики: учеб. пособие для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения / А. Н. Татарникова; Рубцовский индустриальный институт. — Рубцовск, 2017. — 131 с. URL: [https://edu.rubinst.ru/resources/books/Tatarnikova_A.N._Yekonomika_yenergetiki_\(UP\)2017.pdf](https://edu.rubinst.ru/resources/books/Tatarnikova_A.N._Yekonomika_yenergetiki_(UP)2017.pdf) (дата обращения: 20.02.2025).

2. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д. Л. Файбисовича. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : ЭНАС, 2012. — 376 с. : ил. (дата обращения: 28.11.2024).

3. Рогачёв В. Д. Энергоснабжение телекоммуникационных систем. Краткий иллюстрированный курс / В. Д. Рогачёв, В. Ю. Гумелёв, Н. Л. Пузевич, А. В. Писарчук, Ю. Н. Меркушов // Портал научных практических публикаций [Электронный ресурс]. — URL: <https://portalnp.snauka.ru/2014/04/8897> (дата обращения: 02.12.2024)

4. Экономика энергетики: учеб. пособие / А. В. Панова ; Владимир. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. — Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. — 87 с. — URL: <https://dspace.www1.vlsu.ru/bitstream/123456789/3229/1/01232.pdf> (дата обращения: 13.02.2025)

УДК 004.4

А. И. Гумерова, В. В. Рыжаков

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВИРТУАЛИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ

г. Сургут

Аннотация. Рассматриваются особенности организации обслуживания корпоративных сетей в условиях внедрения виртуализации. Представлена классификация ролей сотрудников в компании с привязкой к используемым серверам и сервисам, что позволяет более эффективно управлять ИТ-инфраструктурой. Также предложена упрощенная физическая архитектура сети и структурно-функциональная модель, отражающая потоки данных и распределение нагрузки на элементы сети. В рамках исследования проведен анализ информационных потоков, что позволяет оценить и оптимизировать нагрузку на сетевые компоненты. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации корпоративных сетей с элементами виртуализации.

Ключевые слова: *виртуализация, корпоративные сети, ИТ-инфраструктура, роли сотрудников, архитектура сети, потоки данных, структурно-функциональная модель, нагрузка на сеть, виртуальные серверы, обслуживание сети.*

A. I. Gumerova, V. V. Ryzhakov

Surgut State University

INFOCOMMUNICATION SYSTEM FOR VIRTUALIZATION OF BUSINESS PROCESSES OF THE COMPANY

Surgut

Abstract. The article considers the features of organizing the maintenance of corporate networks in the context of virtualization implementation. It presents

a classification of employee roles in the company with reference to the servers and services used, which allows for more efficient management of the IT infrastructure. It also proposes a tamed physical network architecture and a structural and functional model reflecting data flows and load distribution on network elements. The study analyzes information flows, which allows for assessing and optimizing the load on network components. The results obtained can be used in designing and upgrading corporate networks with virtualization elements.

Keywords: *virtualization, corporate networks, IT infrastructure, employee roles, network architecture, data flows, structural and functional model, network load, virtual servers, network maintenance.*

В условиях активной цифровой трансформации бизнеса особую значимость приобретает вопрос оптимизации корпоративных IT-инфраструктур. Одним из ключевых инструментов в этом процессе является внедрение виртуализации, обеспечивающее гибкость, масштабируемость и повышение отказоустойчивости информационных систем.

Целью данной статьи является проведение анализа распределения нагрузки и сервисного взаимодействия в корпоративной сети в контексте внедрения виртуализации, с учетом организационной структуры предприятия и соответствующих бизнес-процессов. Полученные результаты отражают отдельный этап более широкого исследования, посвященного модернизации IT-инфраструктуры компании.

В ходе исследования организации обслуживания корпоративных сетей при внедрении виртуализации были выявлены роли сотрудников в компании, которые имеют свои обязанности. Методологической основой исследования послужил структурно-функциональный подход, предполагающий декомпозицию бизнес-ролей на уровне организации и установление соответствия между функциональными обязанностями сотрудников и используемыми IT-ресурсами. Такой подход позволяет формализовать взаимосвязь между организационной и информационной архитектурами компании.

В результате анализа были выявлены ключевые категории сотрудников, вовлеченных в эксплуатацию и поддержку корпоративной сети. Так, например, есть **руководители (СЕО, директора)**, которые определяют стратегии организации, принимают ключевые решения и отвечают за развитие бизнеса. Ниже расписаны иные ключевые роли сотрудников в организации:

- **Топ-менеджеры (CFO, CTO, COO и др.)** — управляют отдельными направлениями финансами, технологиями, операционной деятельностью и т. д.;
- **Менеджеры среднего звена** — координируют работу отделов, обеспечивают выполнение планов и контроль процессов;
- **Специалисты (разработчики, маркетологи, аналитики и др.)** — занимаются созданием продуктов, продвижением, анализом данных и другими профессиональными задачами;
- **Сотрудники поддержки (HR, административный персонал, IT-поддержка)** — обеспечивают комфортные условия работы, управляют персоналом, решают технические вопросы;
- **Стажеры и младшие сотрудники** — обучаются и выполняют вспомогательные задачи в своих отделах;
- **Руководители проектов** — управляют проектами, следят за сроками, бюджетом и координируют команды;
- **Продакт-менеджеры** — разрабатывают стратегию продукта, анализируют рынок и потребности пользователей;
- **Сотрудники отдела продаж** — продают продукцию или услуги компании, ведут переговоры с клиентами;
- **Сотрудники службы качества** — контролируют соответствие процессов и продукции стандартам качества;
- **Сотрудники отдела кадров** — нанимают персонал, оформляют документы, занимаются кадровым администрированием;

- **Системный администратор** — поддерживает серверы, сети и IT-инфраструктуру компании;
- **Сетевые инженеры** — проектируют и администрируют компьютерные сети, обеспечивают их безопасность;
- **Специалисты по информационной безопасности** — защищают IT-инфраструктуру, данные и системы от угроз;
- **Менеджер IT-услуг** — контролирует предоставление IT-сервисов, следит за SLA и удовлетворенностью пользователей;
- **Администратор виртуальной инфраструктуры** — управляет виртуальными машинами, облачными сервисами и контейнерами;
- **Специалист по обучению** — разрабатывает программы обучения, проводит тренинги для сотрудников;
- **Специалист по энергетическому управлению** — контролирует энергопотребление, оптимизирует затраты на энергоресурсы.

В рамках структурно-функциональной модели предпринята попытка формализовать потоки данных в корпоративной сети. Каждый узел архитектуры представлен как элемент распределенной системы, обрабатывающий определенный поток нагрузки, что соответствует методологии моделирования производственно-технологических процессов в инженерии бизнес-систем.

Исходя из обязанностей сотрудников, были соотнесены к каждой те сервисы и серверы, которые они используют. Эти серверы и сервисы можно увидеть из укрошенной физической архитектуры, в которой внешние пользователи и администраторы подключены через Интернет и маршрутизатор к структурированной кабельной системе (СКС) как виртуальные АРМ пользователей. В свою очередь поток данных проходит через коммутаторы рабочих групп и отказоустойчивую коммутационную матрицу (ОКМ), а после и через очередную СКС, откуда поток разделяется на отдельные: NTP-сервер,

сервер виртуальных машин и виртуальные серверы. Затем поток данных достигает до сетевого хранилища данных (FC-SAN), с помощью которой организованы служебные и пользовательские контейнеры.

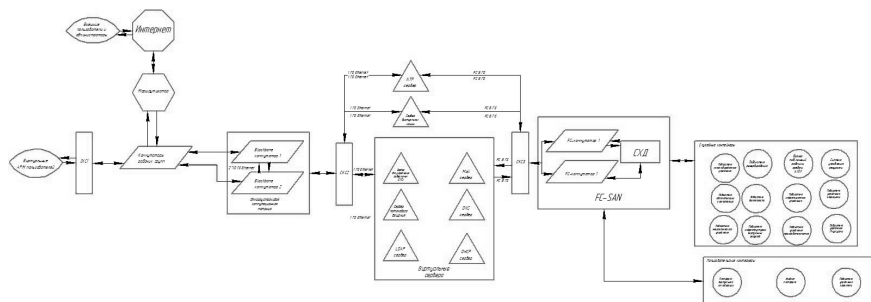


Рис. 1. Укромщенная физическая архитектура

Таким образом, были соотнесены к каждой роли серверы и сервисы, которые они используют:

- **Руководители (CEO, директора)**
 - Серверы: Mail-сервер, Сервер управления контентом (CMS), Сервер потокового вещания.
 - Сервисы: Подсистема информационного управления, Подсистема управления IT-услугами, Платформа виртуальной коллаборации.
- **Топ-менеджеры (CFO, СТО, СОО и др.)**
 - Серверы: Mail-сервер, Сервер управления контентом (CMS)
 - Сервисы: Подсистема управления IT-услугами, Подсистема управления проектами, Подсистема безопасности, Подсистема управления операциями.
- **Менеджеры среднего звена**
 - Серверы: Mail-сервер, Сервер управления контентом (CMS).

- Сервисы: Подсистема управления проектами, Подсистема информационного управления, Подсистема управления ресурсами.
- **Специалисты (разработчики, маркетологи, аналитики и др.)**
 - Серверы: DNS-сервер, Mail-сервер.
 - Сервисы: Подсистема автоматизации и оркестрации, Подсистема управления ресурсами, Платформа виртуальной коллаборации.
- **Сотрудники поддержки (HR, административный персонал, IT-поддержка)**
 - Серверы: Mail-сервер, LDAP-сервер, Сервер управления содержимым (CMS).
 - Сервисы: Подсистема информационного управления, Подсистема управления IT-услугами.
- **Стажеры и младшие сотрудники**
 - Серверы: Сервер управления содержимым (CMS), Mail-сервер.
 - Сервисы: Учебная платформа, Платформа виртуальной коллаборации.
- **Руководители проектов**
 - Серверы: Сервер управления содержимым (CMS), Mail-сервер.
 - Сервисы: Подсистема управления проектами, Платформа виртуальной коллаборации.
- **Продакт-менеджеры**
 - Серверы: Mail-сервер, DNS-сервер.
 - Сервисы: Подсистема управления IT-услугами, Подсистема управления ресурсами.
- **Сотрудники отдела продаж**

- Серверы: Mail-сервер, Сервер управления содержимым (CMS).
- Сервисы: Подсистема информационного управления, Платформа виртуальной коллаборации.
- **Сотрудники службы качества**
 - Серверы: Сервер управления содержимым (CMS), Mail-сервер.
 - Сервисы: Подсистема управления производительностью, Подсистема управления ИТ-услугами
- **Сотрудники отдела кадров**
 - Серверы: Mail-сервер, LDAP-сервер.
 - Сервисы: Подсистема управления ИТ-услугами, Подсистема информационного управления.
- **Системный администратор**
 - Серверы: Все физические и виртуальные серверы.
 - Сервисы: Подсистема инфраструктуры виртуальных ресурсов, Подсистема резервирования, Подсистема безопасности.
- **Сетевые инженеры**
 - Серверы: DNS-сервер, DHCP-сервер, NTP-сервер.
 - Сервисы: Подсистема безопасности, Подсистема инфраструктуры виртуальных ресурсов.
- **Специалисты по информационной безопасности**
 - Серверы: LDAP-сервер, DNS-сервер, Сервер резервного копирования.
 - Сервисы: Подсистема безопасности, Подсистема информационного управления.
- **Менеджер ИТ-услуг**
 - Серверы: Сервер управления содержимым (CMS), Mail-сервер.
 - Сервисы: Подсистема управления ИТ-услугами, Подсистема автоматизации и оркестрации.

- **Администратор виртуальной инфраструктуры**
 - Серверы: Сервер виртуальных машин, Сервер резервного копирования, DNS-сервер
 - Сервисы: Подсистема инфраструктуры виртуальных ресурсов, Подсистема резервирования.
- **Специалист по обучению**
 - Серверы: Mail-сервер, Сервер управления содержанием (CMS), Сервер потокового вещания.
 - Сервисы: Учебная платформа, Платформа виртуальной коллаборации.
- **Специалист по энергетическому управлению**
 - Серверы: Сервер управления содержимым (CMS).
 - Сервисы: Подсистема энергетического управления.

Однако для расчета нагрузки на элементы сети нужно сгруппировать роли сотрудников. Так, в руководство и управление входят: руководители, топ-менеджеры, менеджеры среднего звена, руководители проектов и продакт-менеджеры; в операционную деятельность — сотрудники поддержки, отдела продаж, службы качества, отдела кадров, специалист по обучению и по энергетическому управлению; в технические специалисты и IT-инфраструктуру — системный администратор, сетевые инженеры, специалисты по информационной безопасности, администратор виртуальной инфраструктуры и менеджер IT-услуг; разработка, аналитика и маркетинг — специалисты (разработчики, маркетологи, аналитики и др.); начинающие специалисты — стажеры и младшие сотрудники.

Исходя из этого, создавалась структурно-функциональная модель производственных процессов компании, где отображены потоки к каждому элементу сети и нагрузка, которая создается из-за них.

КОМПАНИИ

- Рмсз1 — поток данных виртуальных машин;
- Рмсз2 — поток данных Подсистемы информационного управления;
- Рмсз3 — поток данных Подсистемы управления IT-услугами;
- Рмсз4 — поток данных Платформы виртуальной коллаборации;
- Рмсз5 — поток данных Подсистемы управления проектами;
- Рмсз6 — поток данных Подсистемы безопасности;
- Рмсз7 — поток данных Подсистемы управления операциями;
- Рмсз8 — поток данных Подсистемы управления ресурсами;

- Рмсз1 — поток данных виртуальных машин;
- Рмсз2 — поток данных Подсистемы информационного управления;
- Рмсз3 — поток данных Подсистемы управления ИТ-услугами;
- Рмсз4 — поток данных Платформы виртуальной коллаборации;
- Рмсз5 — поток данных Подсистемы управления проектами;
- Рмсз6 — поток данных Подсистемы безопасности;
- Рмсз7 — поток данных Подсистемы управления операциями;
- Рмсз8 — поток данных Подсистемы управления ресурсами;

- Рмсз9 — поток данных Подсистема управления производительностью;
- Рмсз10 — поток данных Учебной платформы;
- Рмсз11 — поток данных Подсистемы энергетического управления;
- Рмсз12 — поток данных Подсистемы инфраструктуры виртуальных ресурсов;
- Рмсз13 — поток данных Подсистемы резервирования;
- Рмсз14 — поток данных Подсистемы автоматизации и оркестрации.

Так как на СКС1 поступают все потоки, то получается:

$$N1 = \text{Рмсз1} + \text{Рмсз2} + \text{Рмсз3} + \text{Рмсз4} + \text{Рмсз5} + \text{Рмсз6} + \text{Рмсз7} + \text{Рмсз8} + \text{Рмсз9} + \text{Рмсз10} + \text{Рмсз11} + \text{Рмсз12} + \text{Рмсз13} + \text{Рмсз14}.$$

От СКС1 до коммутаторов рабочей группы и до отказоустойчивой коммутационной матрицы равная нагрузка ($N1 = N2 = N3$).

От ОКМ — до СКС3:

$$N4 = \text{Рмсз1} + \text{Рмсз6} + \text{Рмсз7} + \text{Рмсз8} + \text{Рмсз9} + \text{Рмсз12} + \text{Рмсз13} + \text{Рмсз14}.$$

От СКС3 — до сервера виртуализации:

$$N5 = \text{Рмсз1} + \text{Рмсз9} + \text{Рмсз12} + \text{Рмсз13} + \text{Рмсз14}.$$

От СКС3 — до пула серверов:

$$N6 = \text{Рмсз6} + \text{Рмсз7} + \text{Рмсз8}.$$

От ОКМ и до СКС2, и до коммутаторов ЦОД, и до дата-центра также одна и та же нагрузка, которую выясняем ниже:

$$N7 = N8 = N9 = \text{Рмсз2} + \text{Рмсз3} + \text{Рмсз6} + \text{Рмсз7} + \text{Рмсз8} + \text{Рмсз9} + \text{Рмсз11}.$$

Та же ситуация и с нагрузками N10 (от ОКМ — до маршрутизатора) и N11 (от маршрутизатора — до Интернета):

$$N10 = N11 = P_{см4} + P_{см5} + P_{см8} + P_{см9} + P_{см10}.$$

Реализация виртуализированной ИТ-инфраструктуры представляет собой не только технологическую модернизацию, но и ключевой этап реинжиниринга бизнес-процессов организации. С позиций системного подхода объект проектирования (в данном случае — виртуальная среда) является элементом, встраиваемым в производственно-технологическую систему предприятия, с последующим перераспределением ресурсов, ролей и потоков данных.

Анализ цепочки создания стоимости позволяет отразить, каким образом происходит трансформация ресурсов в потребительскую ценность в процессе внедрения виртуализации. Здесь можно выделить взаимодействие двух ключевых акторов: заказчика проекта — ИТ-интегратора, отвечающего за реализацию технического решения, и потребителей — подразделений и сотрудников организации, использующих результат в своей повседневной деятельности.

На каждом этапе задействованы как информационные, так и организационные потоки, формирующие единую структуру цифровой трансформации. Такая структура поддерживает непрерывность бизнес-процессов и способствует оптимизации внутренних операций, что соответствует принципам ITIL и COBIT в области управления ИТ-услугами.

Таблица 1. — Цепочка создания стоимости

Этап	Действия заказчика	Действия потребителей
Анализ и проектирование	Изучение ИТ-инфраструктуры клиента, разработка архитектуры виртуальной среды	Предоставление требований к инфраструктуре, описание бизнес-процессов

Развертывание	Установка гипервизора (VMware, Hyper-V, KVM), настройка виртуальных машин, сети, хранилищ	Тестирование пилотной среды, согласование конфигураций
Интеграция	Подключение к облачным сервисам, настройка резервного копирования, мониторинга	Адаптация рабочих процессов под новую инфраструктуру
Обучение и поддержка	Проведение тренингов для сотрудников, техподдержка	Использование виртуальных рабочих мест, серверов, приложений

С точки зрения управления жизненным циклом ИТ-продукта, ценностное предложение формируется на стыке технических характеристик решения и потребностей конкретного бизнес-кейса.

Таблица 2. — Ценностное предложение

Участник	Что предлагает своим клиентам после внедрения?
Заказчик	– Гибкие ИТ-решения (масштабируемость, отказоустойчивость). – Снижение затрат на железо (консолидация серверов). – Ускорение развертывания сервисов (шаблоны ВМ, облака)
Потребители	– Удаленный доступ к рабочим местам (VDI). – Повышение отказоустойчивости (миграция ВМ при сбоях). – Безопасность (изоляция сред, резервные копии)

Для участников проекта внедрения виртуализации механизмы извлечения прибыли можно интерпретировать через призму экономической эффективности, отражающей не только прямую монетизацию решений, но и косвенные выгоды: сокращение простоев, рост выработки на одного сотрудника, минимизацию капитальных затрат (CapEx) и переход к операционным (OpEx).

Таблица 3. — Механизм извлечения прибыли

Участник	Как будет генерироваться прибыль?
Заказчик	– Прямые продажи решений (лицензии, оборудование). – Подписка на поддержку (SLA, абонентское обслуживание). – Допуслуги (миграция в облако, кибербезопасность)
Потребители	– Снижение ТСО (меньше серверов, энергозатрат). – Рост производительности (меньше простоев). – Монетизация новых сервисов (например, облачные решения для своих клиентов)

Таким образом, виртуализация выступает не просто как инструмент модернизации ИТ-инфраструктуры, но и как стратегический элемент, повышающий устойчивость бизнеса в условиях цифровой экономики. Подобный подход соответствует современным концепциям цифровой трансформации, индустрии 4.0 и value-based IT-management.

Список использованной литературы

1. Борзенкова, С. Ю. Обеспечение безопасности системы хранения данных / С. Ю. Борзенкова, И. В. Савин // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2017. — № 10. — С. 196–200.
2. Водозазкина, Н. А. Перспективы использования технологий виртуализации / Н. А. Водозазкина // Инновационная наука : сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. (2015 г., г. Уфа). В 5 ч. — Уфа : АЭТЕРНА, 2015. — С. 45–48.
3. Детков, Е. А. Виртуализация и его особенности / Е. А. Детков, А. А. Коревых // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». — 2019. — С. 1–13.
4. Елифанова, В. К. Организационные аспекты при переходе на виртуального сервера / В. К. Елифанова // Молодой ученый. — 2011. — № 8 (31). — С. 100–102.
5. Козюберда, А. С. Обзор систем хранения данных / А. С. Козюберда // Вестник Московского государственного университета печати (электр. журн.). — 2011. — С. 79–82.

6. Мельников, Р. «Есть ли жизнь в российской виртуализации ЦОДов и облаков?». — 2023. — URL: https://market.cnews.ru/articles/2023-08-22_est_li_zhizn_v_rossijskoj_virtualizatsii?erid=Kra23vuYL&p=homecnews (дата обращения: 23.11.2023).

7. Сысоев, М. А. Особенности внедрения систем виртуализации в Российской Федерации / М. А. Сысоев, Е. А. Наташкина // Евразийская интеграция : современные тренды и перспективные направления : сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. (14 марта 2023 г., г. Омск). — Омск : Омский государственный технический университет, 2023. — С. 135–139.

8. Самойленко, А. Виртуализация: основные проблемы внедрения. — 2007. — URL: <https://www.ixbt.com/cm/virtualization-problems.shtml#:~:text=отсутствие%20простых%20и%20мощных%20средств,компаний%20связываться%20с%20«необкатанной»%20технологией> (дата обращения: 16.11.2023).

9. Самойленко, А. Проекты по виртуализации: встречаем проблемы во всеоружии. — 2009. — URL: https://www.cnews.ru/articles/proekty_po_virtualizatsii_vstrechaem (дата обращения: 16.11.2023).

10. Михалев, П. С. Анализ современной технологии виртуализации / П. С. Михалев // Интеллектуальный потенциал XXI века : ступени познания. (электр. журн.). — 2014. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennoy-tehnologii-virtualizatsii> (дата обращения: 5.12.2023).

11. Тужилкин, И. Анализ современных технологий виртуализации / И. Тужилкин // Блог компании Слёрм. — 2014. — URL: <https://habr.com/ru/companies/slurm/articles/212985/> (дата обращения: 23.11.2023).

УДК 004.738.5

Д. Ю. Ковалев, В. В. Рыжаков

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ КОМПАНИИ НА БАЗЕ
МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается влияние мультисервисных инфокоммуникационных сетей на эффективность корпоративных бизнес-процессов. Проанализированы подходы к их классификации, моделированию с использованием нотаций BPMN, EPC и UML, а также представлены методы оптимизации на основе SD-WAN и QoS. Приведен практический пример перераспределения сетевых ресурсов, демонстрирующий экономический и операционный эффект без расширения физической инфраструктуры.

Ключевые слова: *мультисервисные сети, бизнес-процессы, инфокоммуникационная инфраструктура, SD-WAN, QoS, моделирование процессов, оптимизация сети.*

D. Y. Kovalev, V. V. Rizekov

Surgut State University, Surgut

MODELING AND OPTIMIZATION OF COMPANY BUSINESS
PROCESSES BASED ON MULTISERVICE INFOCOMMUNICATION
NETWORKS

Surgut

Abstract. The article examines the impact of multiservice infocommunication networks on the efficiency of corporate business processes.

Approaches to their classification and modeling using BPMN, EPC, and UML notations are analyzed, and optimization methods based on SD-WAN and QoS are presented. A practical example of network resource redistribution is provided, demonstrating economic and operational effects without expanding physical infrastructure.

Keywords: *Multiservice networks, business processes, infocommunication infrastructure, SD-WAN, QoS, process modeling, network optimization.*

Рост объемов данных, необходимость круглосуточного взаимодействия распределенных подразделений и переход к облачным сервисам делают мультисервисные инфокоммуникационные сети неотъемлемой частью современной корпоративной инфраструктуры. Конвергенция голоса, видео и пользовательских приложений в единой сетевой среде предоставляет компаниям новые возможности для ускорения документооборота, сокращения издержек и повышения качества клиентского сервиса. Однако эффективность этих преимуществ напрямую зависит от того, насколько бизнес-процессы адаптированы к сетевым особенностям — пропускной способности, задержкам, приоритизации и отказоустойчивости каналов [1].

Во многих компаниях единая инфокоммуникационная среда служит «транспортom» для всех видов деловой активности, но сами процессы различаются по целям, критичности ко времени отклика и объему передаваемых данных. Поэтому первым шагом к целенаправленной оптимизации является четкая классификация бизнес-процессов и сопоставление им сетевых требований. Таблица 1 ниже обобщает ключевые особенности трех базовых групп и показывает, какие характеристики мультисервисной сети являются определяющими для их стабильной работы.

Таблица 1. — Классификация базовых групп бизнес-процессов

Группа бизнес-процессов	Краткая характеристика	Типовые примеры	Ключевые требования к мультисервисной сети
Операционные (core)	Приносят прямую ценность клиенту, выполняются непрерывно; любая задержка отражается на прибыли	Обработка заказов, онлайн-платежи, управление производственной линией, логистика «последней мили»	Низкая задержка <50 мс, гарантированная пропускная способность, приоритизация QoS, отказоустойчивые каналы (MPLS + SD-WAN-backup)
Управленческие (management)	Обеспечивают планирование, контроль и анализ; чувствительны к потере данных, но допустимы умеренные задержки	BI-отчетность, ERP, видеосовещания, системы электронного документооборота	умеренная задержка ≤ 150 мс, надежное шифрование, резервирование в «active-standby», поддержка multicast/VC для ВКС
Поддерживающие (support)	Сопровождают основные и управленческие процессы; прерывание не критично кратковременно	Служба техподдержки, HR-порталы, почта, тестовые среды DevOps	Эластичная полоса (best-effort), динамическое распределение трафика, возможно экономия на каналах «last mile», гибкое масштабирование через облако

Настолько разный профиль нагрузок объясняет, почему универсального, «одного-для-всех», сетевого шаблона не существует. Операционные процессы требуют строгих SLA и зачастую дублирования маршрутов, тогда как поддерживающие допускают пакетную передачу по модели best-effort. Следовательно, архитектура мультисервисной сети должна строиться на принципе дифференциации

обслуживания: комбинация механизмов QoS, политик SD-WAN и резервирования каналов, настроенных согласно критичности конкретного бизнес-процесса, обеспечивает оптимальное использование ресурсов без избыточных затрат.

Дифференциация обслуживания, о которой шла речь выше, приобретает практическую силу только тогда, когда для каждого процесса четко описано — и зафиксировано в единой модели, — какие сетевые ресурсы ему требуются. Поэтому следующим логичным шагом после классификации является формальное моделирование бизнес-процессов с явным учетом параметров мультисервисной сети.

В российских и международных компаниях сложилось три основных нотации, позволяющих сделать это прозрачно как для бизнес-аналитиков, так и для сетевых инженеров. BPMN 2.0 удобна, когда нужно показать последовательность действий и точные точки взаимодействия с сетевыми сервисами — например, прохождение пакета через SD-WAN-шлюз или зашифрованный MPLS-туннель. EPC (Event-driven Process Chain) делает акцент на событиях и статусах каналов, поэтому часто используется в производственных системах, где важны реакции сети на отказ линка [2]. UML-диаграммы (чаще всего activity- или sequence-диаграммы) помогают связать бизнес-логику со слоями приложения, оркестрации и транспорта, показывая, как запрос проходит от пользовательского интерфейса до ядра сети.

На практике каждая из этих нотаций дополняется простыми, но ценными сетевыми атрибутами. В BPMN-диаграмме заказ-ориентированного ритейлера, например, перед задачей «Проверка наличия товара в ERP» ставится значок $\text{Latency} \leq 40 \text{ ms}$, а для задачи «Онлайн-оплата» прописывается класс трафика EF и требование $\text{Packet Loss} \leq 0,01\%$. Когда модель импортируется в систему управления SD-WAN, контроллер автоматически создает политику, резервирующую для указанных шагов первичный MPLS-канал 50 Мбит/с и резерв LTE-туннель с предельной задержкой 120 мс [3].

Построение формализованных моделей бизнес-процессов с учетом сетевых параметров, как это было показано в предыдущем разделе, дает возможность точно понять, где возникают избыточные задержки, неоправданные сетевые издержки или неэффективное использование полосы. Именно на основании этих моделей и начинается этап оптимизации — не абстрактной, а четко выраженной в снижении времени выполнения задач и сокращении затрат на инфраструктуру.

Оптимизация заключается, в первую очередь, в перераспределении трафика между различными классами обслуживания (QoS), а также в разнесении потоков по наиболее подходящим каналам — высоконадежным (MPLS) или более доступным по стоимости (DIA, LTE) — в зависимости от критичности задачи.

Рассмотрим это на конкретном примере — процессе оформления онлайн-заказа в крупной торговой компании, использующей мультисервисную сеть с элементами MPLS и SD-WAN.

До оптимизации весь трафик от центров обработки заказов, ERP-систем и клиентских интерфейсов шел по MPLS-каналу с фиксированной пропускной способностью 200 Мбит/с. Канал оплачивался по ставке 5 000 руб./Мбит/мес., тогда можно вычислить экономические затраты. В месяц они составят:

$$200 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \times 5\,000 \text{ руб} = 1\,000\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}}$$

Тогда в год затраты составят:

$$1\,000\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} \times 12 \text{ мес.} = 12\,000\,000 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Однако из 200 Мбит/с лишь 40% использовались для действительно критичных операций — это ERP-взаимодействия, онлайн-оплаты, бронирование товаров на складе. Остальные 60% занимали менее чувствительные процессы: доставка изображений, уведомление клиентов, обновления витрины и отчетность.

После анализа бизнес-процесса и построения BPMN-модели с сетевыми атрибутами было решено оставить 80 Мбит/с критичного трафика на MPLS, а 120 Мбит/с некритичного — перевести на DIA-канал с ценой 900 руб./Мбит/мес.

Теперь можно вычислить экономическую эффективность после оптимизации. В первую очередь рассчитаем затраты на MPLS-канал:

$$80 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \times 5\,000 \text{ руб} = 400\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}}$$

Соответственно, на DIA-канал затраты составят:

$$120 \frac{\text{мбит}}{\text{с}} \times \frac{900 \text{ руб}}{\text{мес}} = 108\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}}$$

Итого получим:

$$400\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} + 108\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} = 508\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}}$$

Тогда экономия в год после оптимизации составит:

$$12\,000\,000 \frac{\text{руб}}{\text{год}} - \left(492\,000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} \times 12 \text{ мес} \right) = 6\,096\,000 \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Помимо прямой экономии, достигнутой за счет перераспределения трафика между каналами и изменения тарифной нагрузки на сеть, важным результатом стала выраженная операционная оптимизация ключевых бизнес-процессов. Внедрение SD-WAN и механизмов приоритизации (QoS) позволило устранить задержки и потери, ранее мешавшие стабильной работе внутренних ИТ-систем [4].

До перехода на новую схему все потоки — от ERP-запросов до медиаконтента и отчетности — направлялись через единый MPLS-канал. Такая архитектура не обеспечивала необходимого качества обслуживания для критичных процессов, в том числе для вызовов к ERP-системе и подтверждения транзакций. Среднее время

отклика ERP-сервера при пиковой нагрузке составляло около 65 миллисекунд, а уровень потерь пакетов доходил до 0,6%. Эти сетевые задержки напрямую влияли на время обработки одного заказа: на фоне общего 95-секундного цикла не менее 12 секунд приходилось на ожидание отклика системы, повторные передачи и сетевые таймауты.

После внедрения новой схемы маршрутизации, в которой критически важный трафик был переведен на полосу с гарантированным качеством (класс EF), а второстепенные сервисы — на доступный канал DIA, ситуация изменилась принципиально. В результате такой дифференциации задержка в сетевом взаимодействии с ERP снизилась до 28 миллисекунд, а уровень потерь — до 0,05%. Это позволило сократить цикл обработки одного заказа с 95 до 83 секунд.

На первый взгляд это сокращение может показаться незначительным, однако при суточной нагрузке в 10 000–12 000 заказов эффект становится наглядным. Система, обслуживавшая в прежнем режиме порядка 10 900 операций в сутки, после оптимизации достигла показателя свыше 12 400, что эквивалентно приросту более чем на 1300 заказов в день — без расширения физических каналов, исключительно за счет интеллектуальной маршрутизации и приоритизации трафика.

Таким образом, оптимизация процессов в мультисервисной среде проявляется не только в снижении расходов, но и в повышении пропускной способности бизнес-функций. Иначе говоря, компания обрабатывает больший объем операций за то же самое время, используя ту же инфраструктуру. Это и есть суть эффективности мультисервисных архитектур — не просто передавать данные, а помогать бизнесу работать быстрее и надежнее.

Список использованной литературы

1. Сигачев, А. Разбор рынка SD-WAN: какие существуют решения и кому они нужны [Электронный ресурс] / А. Сигачев //

CNews. — 2019. — URL: https://safe.cnews.ru/articles/2019-11-06_razbor_rynka_sdwan_kakie_sushchestvuyut, свободный. — Загл. с экрана (дата обращения: 23.04.2025).

2. Вичугова, А. Как описать логику выполнения бизнес-процесса: ликбез по BPMN, EPC и UML activity с примерами для начинающих аналитиков [Электронный ресурс] / А. Вичугова // Babok School. — 2021. — URL: <https://babok-school.ru/blog/bpmn-epc-uml-activity-common-rules-example/>, свободный. — Загл. с экрана (дата обращения: 23.04.2025).

3. Морозова В. И. Моделирование бизнес-процессов с использованием методологии ARIS: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / В. И. Морозова, К. Э. Врублевский. — М.: Российский университет транспорта (МИИТ), 2017. — 47 с. — URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/h/haperskaya/Materials/IT/Уч-мет.ARIS%20\(1\).pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/h/haperskaya/Materials/IT/Уч-мет.ARIS%20(1).pdf), свободный. — Загл. с экрана (дата обращения: 23.04.2025).

4. Касперская, А. Что такое SD-WAN и нужен ли он вашей сети [Электронный ресурс] / А. Касперская // Лаборатория Касперского. — 2023. — URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/what-is-sd-wan/34943/>, свободный. — Загл. с экрана (дата обращения: 23.04.2025).

УДК 621.396.6

Е. В. Гавриленко

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ЦИФРОВОЙ РЕГИСТР СДВИГА

г. Сургут

Аннотация. В радиолокации и связи широко используются многофазные сигналы, в частности с квадратичным законом изменения фазы, что определяет актуальность изучения и усовершенствования подобных устройств.

В статье рассмотрен дискретный фазовращатель на основе элементов цифровой техники, принцип работы цифрового регистра сдвига. Представленные результаты могут быть использованы в радиолокации и связи.

Ключевые слова: *фазовращатель, триггер, сигнальное созвездие, регистр сдвига.*

E. V. Gavrilenko

Surgut State University, Surgut

DIGITAL SHIFT REGISTER

Surgut

Abstract. In radar and communications, multiphase signals are widely used, in particular with a quadratic phase change law, which determines the relevance of studying and improving such devices. The article discusses a discrete phase shifter based on elements of digital technology and the operating principle of a digital shift register. The presented results can be used in radar and communications.

Keywords: *phase shifter, trigger, signal constellation, shift register.*

Целью работы является построение высокостабильного фазового модулятора с использованием цифрового регистра сдвига.

Для достижения цели выделены и решены следующие задачи:

1. Моделирование и исследование аналогового фазовращателя.
2. Моделирование и исследование регистрового формирователя временных сдвигов.
3. Моделирование и исследование фильтра выделения первой гармоники частоты повторения.

Проблема: фазовый сдвиг может быть осуществлен любой схемой, содержащей элементы двух видов (резистор и конденсатор, катушка индуктивности и резистор, конденсатор и катушка индуктивности).

Для изменения фазового сдвига в таких схемах нужно изменять параметры одного или сразу двух элементов.

Однако в таких схемах:

- появляется сопутствующая паразитная амплитудная модуляция;
- зависимость фазы от параметров нелинейная;
- появляется нестабильность фазовых сдвигов при изменении температуры и питающих напряжений.

Известны следующие типы фазовращателей:

- аналоговые;
- цифровые.

Фазовращатели являются цифровыми в том случае, когда фаза в них изменяется дискретно посредством переключения отдельных ячеек, сдвиг фазы в которых может принимать значения 180° , 90° , 45° , $22,5^\circ$, $11,25^\circ$, $5,625^\circ$ и т. д.

1. RLC фазовращатель

Начнем со схемы RLC фазовращателя ($R = 500$ Ом, $L = 10$ мН, $C = 45$ нФ, резонансная частота 100 кГц).

Схема RLC цепи приведена на рис. 1.

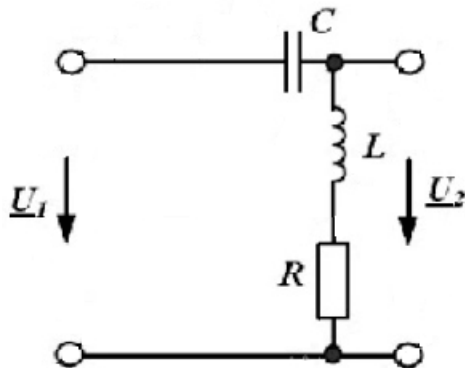


Рис. 1. Схема RLC цепи

На слайде также представлены АЧХ и ФЧХ RLC цепи, полученные путем моделирования цепи в программе Multisim. Результаты моделирования приведены на рис. 2 и рис. 3.

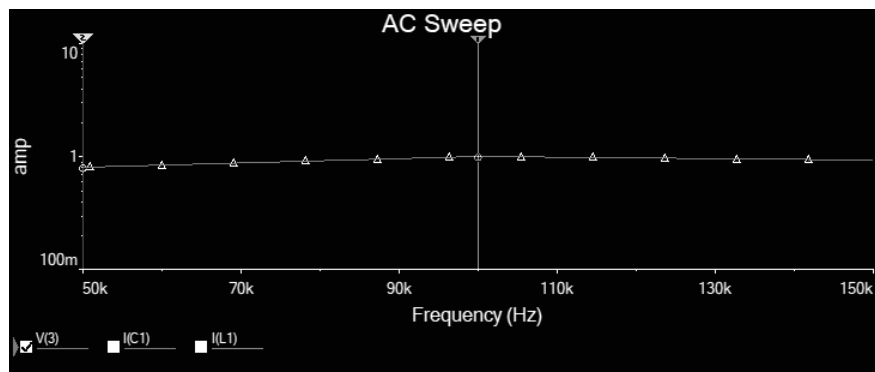


Рис. 2. АЧХ RLC цепи

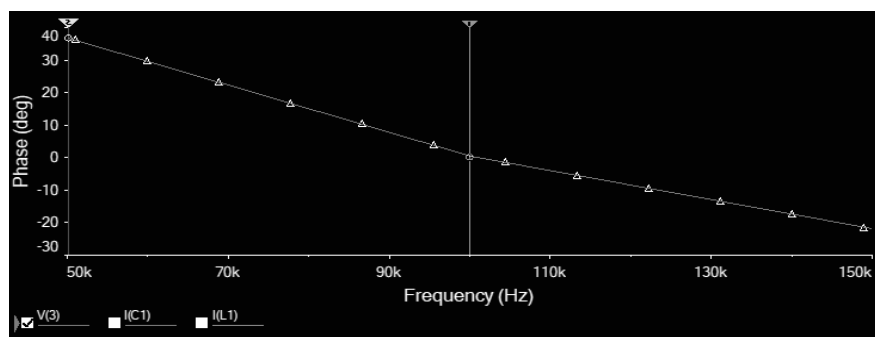


Рис. 3. ФЧХ RLC цепи

Исследована зависимость фазы на частоте 100 кГц от величины сопротивления резистора. Результаты приведены на рис. 4.

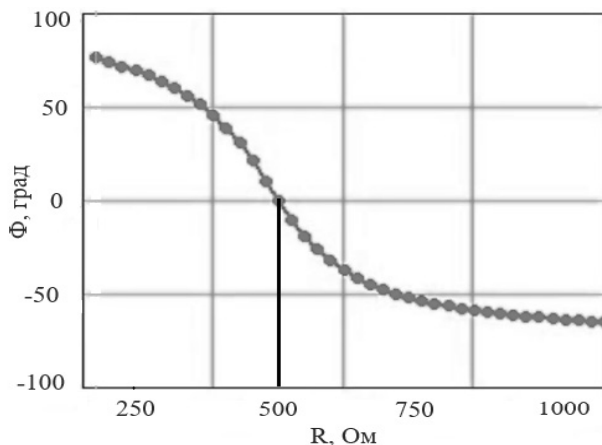


Рис. 4. Зависимость фазы от сопротивления

Обратим внимание, что зависимость фазового сдвига от частоты имеет нелинейный характер.

2. Цифровая схема управляемого временного сдвига

Рассмотрим цифровую схему управляемого временного сдвига.

Значительное повышение точности формирования фазовых сдвигов может быть достигнуто путем замены гармонической функции меандром с управляемым временным положением, в основе чего лежит однозначное соответствие между временным сдвигом последовательности прямоугольных импульсов и фазовым сдвигом первой гармоники в спектре этого сигнала. Временной сдвиг τ обеспечивается цифровым регистром сдвига.

$$\tau = \varphi T / (2\pi)$$

Увеличение числа дискретных значений фазы обеспечивается увеличением числа триггеров (каждый дополнительный триггер увеличивает в два раза число дискретных значений фазы), а также разрядностью регистра сдвига и числом входов цифрового коммутатора, что просто реализуется на цифровых элементах.

Рассмотрим схему цифрового фазовращателя, которая приведена на рис. 5. Схема состоит из генератора, трех триггеров U1 U2 U3, работающих в счетном режиме, регистра сдвига U4, восемь выходов которого соединены со входами мультимплексора U5. Код управления определяется состоянием адресных входов A, B, C. Схема реализована путем моделирования цепи в среде Multisim.

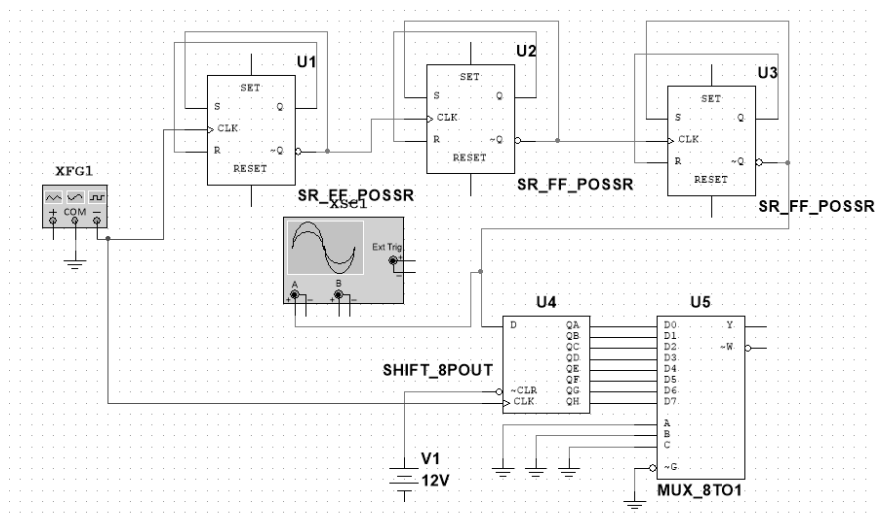


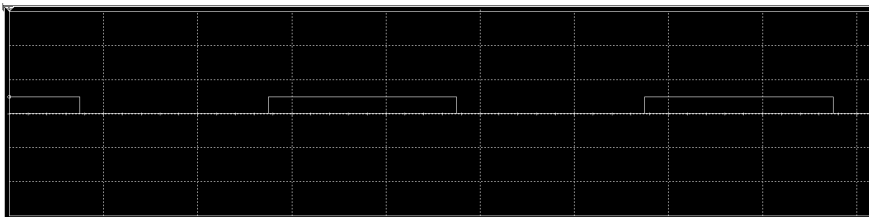
Рис. 5. Функциональная схема восьмипозиционного формирователя фазы

Генератор вырабатывает последовательность прямоугольных импульсов типа меандр с частотой 100 кГц, которая делится триггерами на 8.

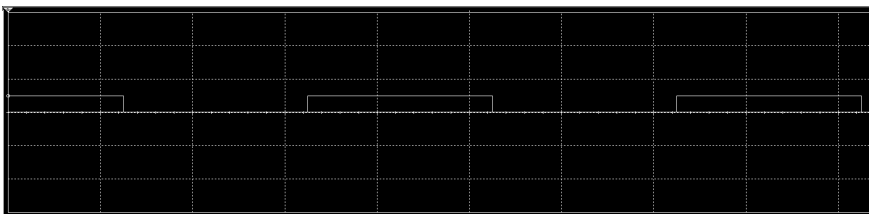
Импульсы с выхода третьего триггера поступают на вход последовательного регистра сдвига, на выходах которого получают смещенные друг от друга импульсы на $1/8$ периода повторения импульсов на входе. Далее на рис. 6 представлены осциллограммы смещенных друг относительно друга импульсов, подаваемых на входы мультимплексора (D0–D7). Соседние входы мультимплексора

(допустим, D0 и D10) смещены относительно друг друга на один период повторения импульсов генератора.

1. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D0 мультиплексора.



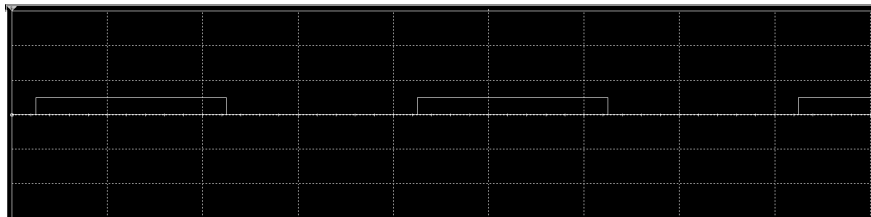
2. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D1 мультиплексора.



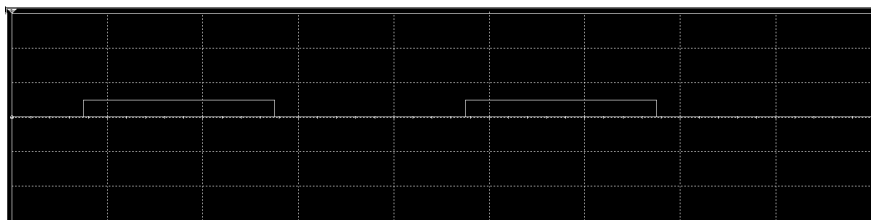
3. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D2 мультиплексора.



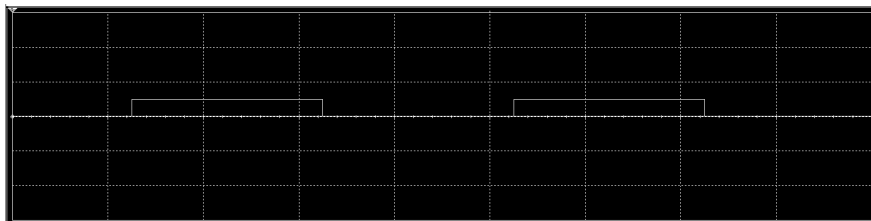
4. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D3 мультиплексора.



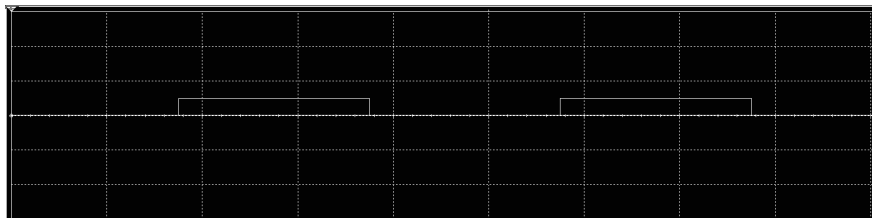
5. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D4 мультиплексора.



6. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D5 мультиплексора.



7. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D6 мультиплексора.



8. Последовательность импульсов, подаваемых на вход D7 мультиплексора.



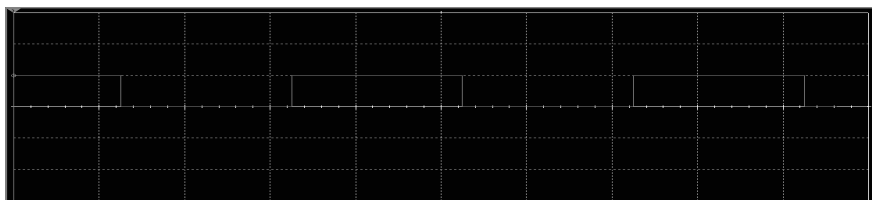
Рис. 6. Выходные сигналы регистра сдвига

Отметим, что импульсы выходного сигнала мультиплексора в зависимости от кода адреса (А, В, С) также сдвигаются друг от друга на период повторения импульсов генератора.

0 — вход адреса соединен с общим проводом;

1 — вход адреса соединен с плюсом питания.

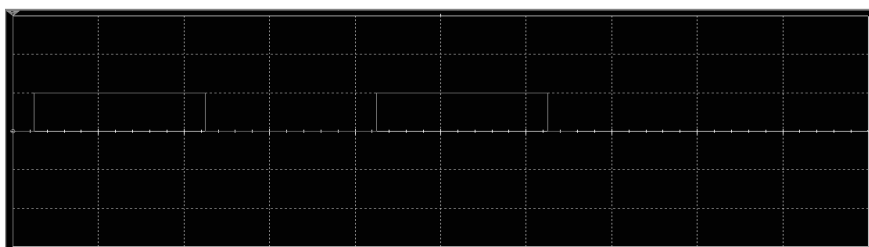
1. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 000.



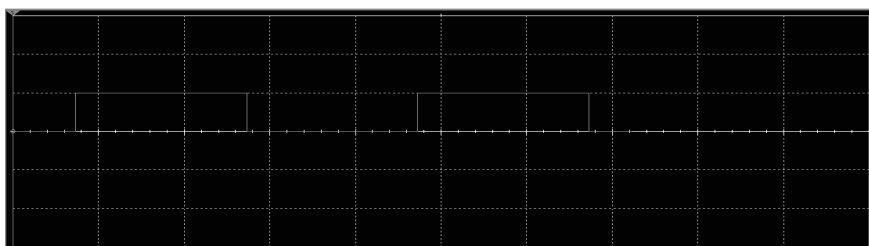
2. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 001.



3. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 010.



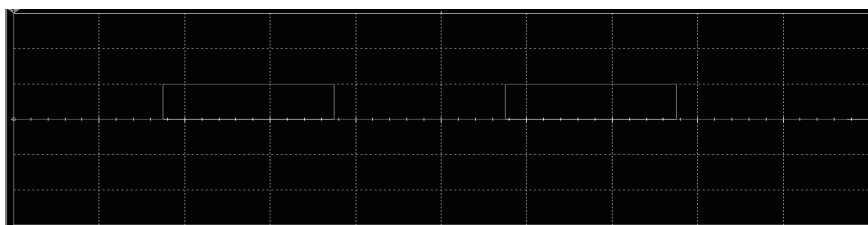
4. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 011.



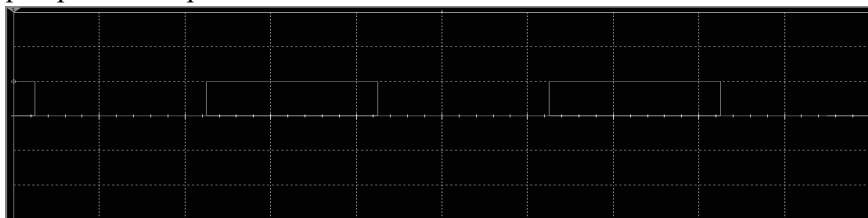
5. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 100.



6. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 101.



7. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 110.



8. Последовательность импульсов на выходе Y мультиплексора при коде адреса 111.

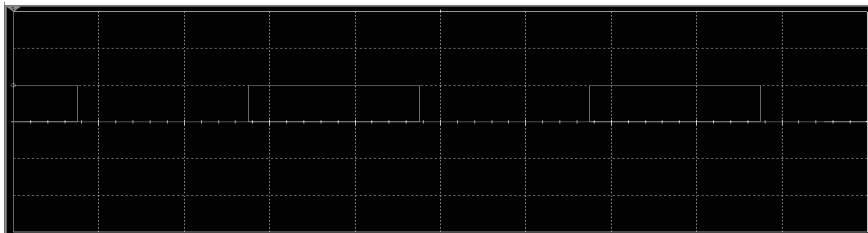


*Рис. 7. Выходные сигналы мультиплексора в зависимости от кода адреса
(A B C)*

Программируемый временной сдвиг (пересчитываемый в фазу) не зависит от температуры и других дестабилизирующих факторов так же, как фазовый сдвиг не изменяется при изменении частоты повторения импульсов.

3. Использование RLC цепи позволяет выделить первую гармонику в спектре прямоугольного сигнала, фаза которой определяется цифровым кодом управления (A, B, C).

Когда прямоугольный сигнал проходит через фильтр RLC, его форма искажается. Фильтр воздействует на фронты и срезы импульсов, сглаживая их, что уменьшает уровень высших гармоник в спектре сигнала. На рис. 9 наглядно изображено, что в зависимости от кодовой последовательности гармоники сдвигаются друг относительно друга на период повторения импульсов генератора.

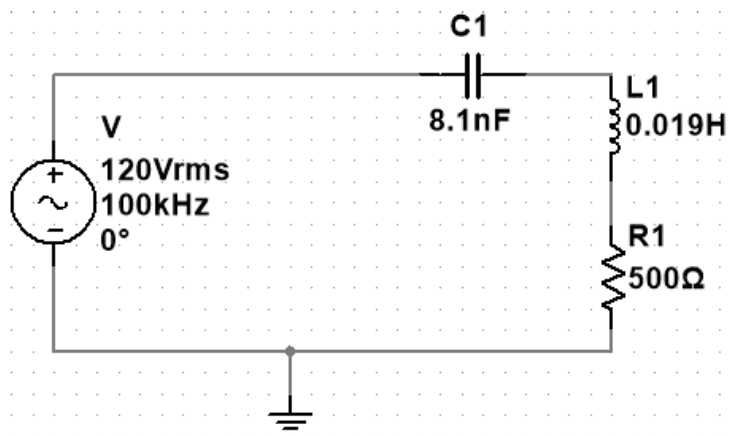
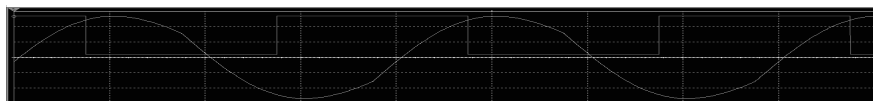


Рис. 8. Схема выделения первой гармоники в спектре прямоугольного сигнала

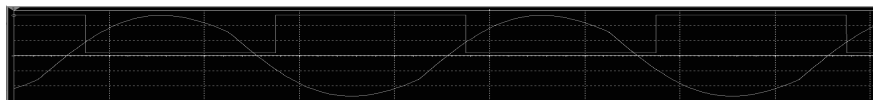
000



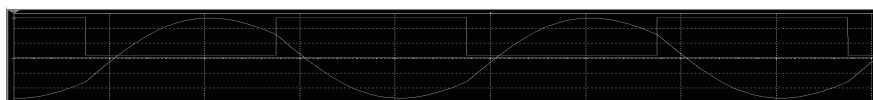
001



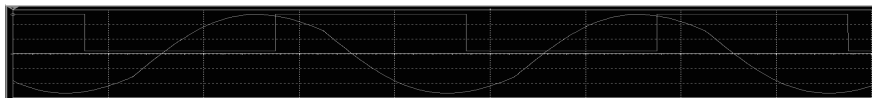
010



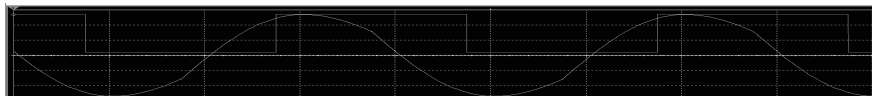
011



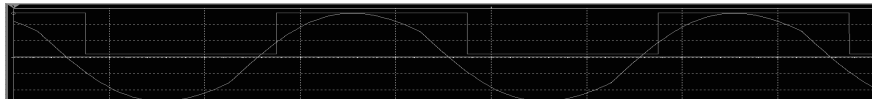
100



101



110



111

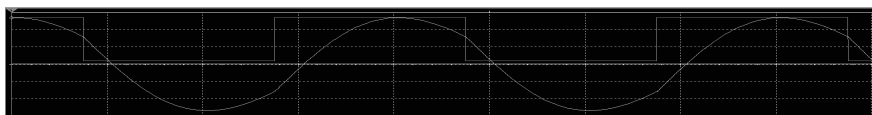


Рис. 9. Выходной сигнал цифрового фазовращателя

Подведем основные итоги.

1. Промоделирован и исследован аналоговый фазовращатель на основе RLC цепи.
2. Промоделирован и исследован цифровой последовательный фазовращатель.
3. Временной сдвиг импульсов (пересчитываемый в фазу) не зависит от температуры и других дестабилизирующих факторов.
4. Последовательность импульсов может быть преобразована в синусоиду путем выделения первой гармоники частоты повторения с помощью фильтра.
5. Цифровой последовательный фазовращатель универсален и может использоваться одновременно для формирования нескольких последовательностей — как независимых, так и жестко

синхронизированных (допустим, с поворотом сигнального созвездия на фиксированный угол).

Список использованной литературы

1. Бакут, П. А. Вопросы статистической теории радиолокации. Том 2 / П. А. Бакут, И. А. Большаков, Г. П. Тартаковский. — М.: Сов. радио, 1964. — 1080 с.
2. Дёмко, А. И. Низкоскоростная цифровая система радиосвязи увеличенного радиуса действия для прогнозирования и контроля чрезвычайных ситуаций / А. И. Дёмков, А. В. Ненашев // I Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и радиосети-96»: Тезисы докладов. — Омск, 1996. — С. 28.
3. Дёмко, А. И., Ненашев А.В. Генератор радиоимпульсной последовательности с модуляцией периода повторения импульсов / А. И. Дёмков, А. В. Ненашев // Разработка и исследование радиотехнических систем и устройств: тезисы докладов научной конференции. — Томск, 1983. — С. 121.
4. Дёмко, А. И. Оптимизация закона изменения фазы многофазного сигнала / А. И. Дёмков // Проблемы радиотехники, радиоэлектроники и связи: тезисы докладов научной конференции. — Томск, 1989. — С. 63.

УДК 004.738

Н. Д. Шиллер, В. В. Рыжак

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ГИБРИДНО-МОДУЛЬНАЯ СЕРВЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ОБЛАЧНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ СЕРВИСОВ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается проблема обеспечения бесперебойного соединения пользователей виртуальных серверов при их масштабировании. Представлена гибридно-модульная система, обеспечивающая масштабируемость по вертикали и горизонтали, ее архитектура и бизнес-модель.

Ключевые слова: виртуализация, масштабирование, серверная инфраструктура.

N. D. Schiller, V. V. Ryzhakov

Surgut State University, Surgut

HYBRID AND MODULAR SERVER INFRASTRUCTURE FOR CLOUD VIRTUAL SERVICES

Surgut

Abstract. The article discusses the problem of ensuring uninterrupted connection of users of virtual servers when scaling them. A hybrid modular system providing vertical and horizontal scalability, its architecture and economic proposal are presented.

Keywords: virtualization, scaling, server infrastructure, cloud storage.

Введение. Использование физических серверов всегда обходилось их содержателям в приличную сумму, дальнейшее расширение

таких систем приводит к значительному увеличению затрат на их использование. К таким тратам относятся: оплата счетов за электроэнергию, постоянное обслуживание серверов, покупка новых компонентов и тому подобное.

Виртуализация является прекрасным инструментом для улучшения производительности серверов [1]. Для обеспечения такого же уровня производительности физического сервера понадобится виртуальный меньшего масштаба. Множество компаний переходит на виртуальные серверы по причине обеспечения лучшей производительности на уже существующей инфраструктуре и ее компонентах.

В условиях ограниченного дискового пространства остро стоит проблема расширения числа используемых приложений. Для этого возможно его наращивание путем использования различных методов масштабирования [2]. К масштабированию относится увеличение дискового пространства под используемые приложения, резервные копии и прочие данные. Проблема же доступа к приложениям основана на потере связи с сервером во время изменения параметров дискового объема, занимаемого приложениями, переноса данных с одной ячейки памяти на другую, потери контроля за системой во время обновления списка пула серверов.

Проблема заключается в том, что при необходимом масштабировании, связанном с вводом новых серверов, время настройки пула является длительным, состоящим из множества факторов, что приводит к утрате контроля за всей системой серверов на неопределенный срок, который может варьироваться от объема данных. При наращивании используемых приложений доступ пользователей к ним не обеспечивается с необходимой надежностью, а единая точка отказа для виртуальных серверов не способствует устойчивости системы.

Предлагаемое решение — создание гибридно-модульного варианта системы для построения гибкой, масштабируемой

и устойчивой серверной инфраструктуры, которое основано на взаимодействии множества сторон, направленное на общее улучшение работоспособности виртуальных серверных моделей.

Архитектура серверных хранилищ данных. Представляет собой стандартную архитектуру центров обработки данных, состоящую из нескольких элементов, представленных на рис. 1.



Рис. 1. Архитектура серверного хранилища данных

Рассмотрим каждую часть по отдельности с возможными используемыми протоколами и стандартами. Сетевая часть, в которой рассматривается соединение от пользователя сервисом до коммутаторов физического сервера и возможные варианты использования протоколов. Рассмотрен вариант соединения пользователя через протокол SSH к своему арендованному серверу на рис. 2. На этапе маршрутизатора начинают свою работу системы отслеживания входящих и исходящих потоков, передающие в систему управления виртуальным сервером данные о загруженности и проверяющие целостность передаваемой информации клиенту. Для реализации бесшовного соединения для приемной стороны необходимо использование резервирования типа 2N на коммутаторах серверов.

SSH (Secure Shell) — это протокол прикладного уровня для удаленного обмена данными между устройствами.

10-гигабитный Ethernet (10GE) — группа технологий компьютерных сетей, позволяющих передавать Ethernet пакеты со скоростью 10 гигабит в секунду.

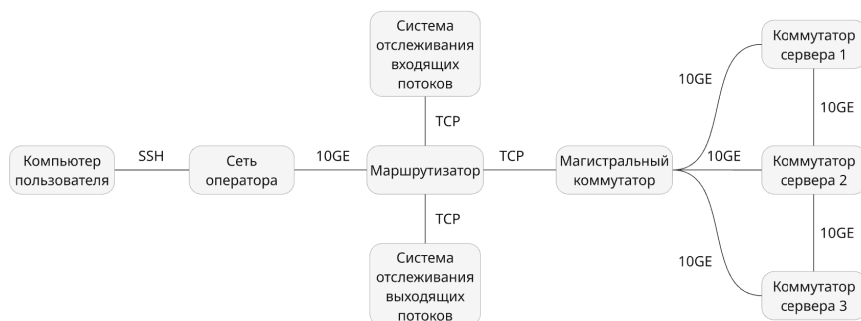


Рис. 2. Сетевая часть архитектуры

На рис. 3 представлена архитектура центра обработки данных (далее ЦОД). Для обеспечения быстродействия системы необходимо соединение всех компонентов между собой на каждом этапе архитектуры. Рассмотрена система с отдельными серверами для приложений, данных пользователей для обеспечения безопасности на этапе подключения и передачи данных, а также временное хранилище данных, способное к масштабированию своего объема в реальном времени.

Последнее хранилище необходимо для реализации ELT-подхода центра обработки данных, через временное хранилище осуществляется передача информации конечному пользователю, пока не обновится пул серверов, оно обладает лучшим быстродействием в сравнении с другими хранилищами.

Здесь особую роль должны играть устройство множественной поддержки физических дисков, устройство горячего подключения физических дисков или программа горячего подключения виртуальных дисков и некоторый мультиинтерфейс, способный подключать старые интерфейсы для адаптируемости к существующим устаревшим системам ЦОДов.

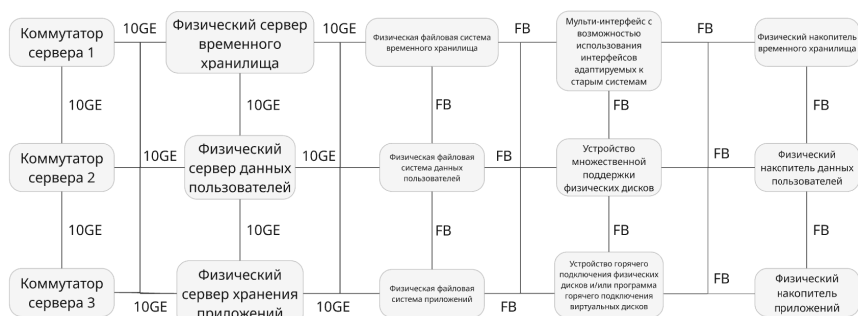


Рис. 3. Архитектура центра обработки данных

Виртуальная часть архитектуры системы (рис. 4) представляет собой виртуальную демонстрацию работы системы внутри физических серверов. Здесь большая часть запросов и передачи данных происходит на прикладном уровне, преобразование процессорного времени для обеспечения высокого уровня работоспособности при изменяющейся и непропорциональной нагрузке. Программы, позволяющие производить первоначальную настройку серверов и изменять параметры как в ручном режиме, так и в автономном. Через менеджер подключаемых серверов происходит анализ и расширение или уменьшение дискового пространства.

VMDK (Virtual Machine Disk) — формат файла, разработанный VMware для использования в качестве образа диска в своих виртуальных машинах.

VDS (Virtual Dedicated Server) — это услуга, где пользователю предоставляется виртуальный сервер с максимальными привилегиями.

VETH — (Virtual Ethernet) представляет собой виртуальное устройство Ethernet.

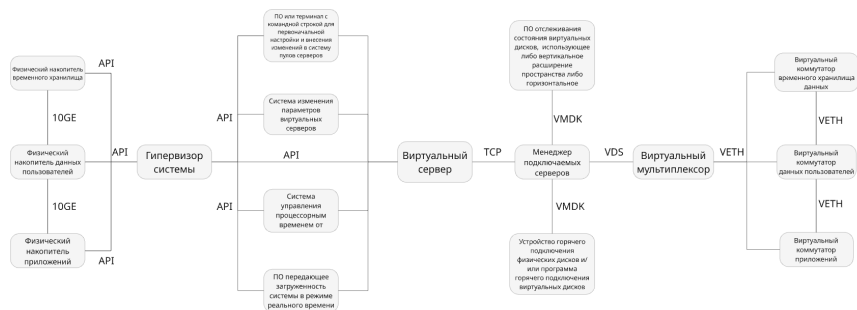


Рис. 4. Архитектура виртуальной части системы

Виртуальное дисковое пространство (рис. 5) представлено на уровне приложений с основным запросом по интерфейсу API. В этой части архитектуры располагаются такие объекты, как хранилища данных, каталоги пользователей и контейнеры с приложениями. Именно расширения этого дискового пространства приводят к процессу масштабирования всей системы и активизации работы временного хранилища с использованием коммутационной матрицы, обеспечивающей бесшовность соединения для пользователей подобных систем.

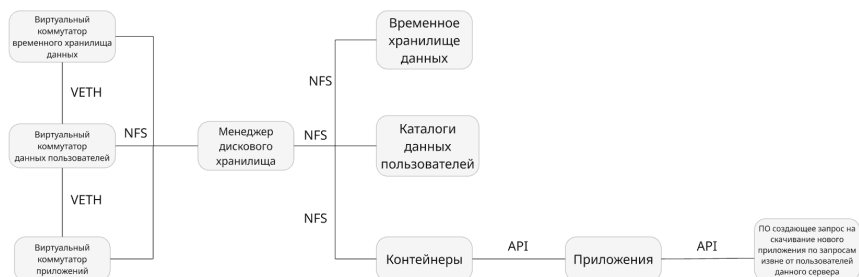


Рис. 5. Архитектура виртуального дискового пространства

Преимущества подобных систем:

- создание легко расширяющего серверного хранилища, не останавливающее работу серверов;
- создание гибридной серверной инфраструктуры, объединяющей модульные физические серверы;
- введение автоматических систем по масштабированию и развертыванию приложений, что позволяет разработчикам быстро развертывать окружения, а администраторам сохранять контроль над стабильностью и безопасностью системы;
- внедрение гибридной модели аренды серверов с уровнем выделенных ресурсов и динамическим масштабированием через оплату по использованию;
- создание масштабируемого программного обеспечения, которое может адаптироваться к разным уровням нагрузки.

Модульность и масштабируемость:

- возможность добавления или удаления физических серверных компонентов без остановки всей системы, использование устройств множественной поддержки физических дисков для расширения объема памяти;
- масштабирование виртуальной системы не только в одной плоскости — вертикальной или горизонтальной, но и в двух плоскостях для расширения возможностей использования более емкого ПО и изменения загруженности сервера.

Сценарирование. Было рассмотрено несколько сценариев использования таких систем, в которых затрагивается масштабируемость или изменение параметров виртуальных машин.

1. Сценарий. Масштабирование при нагрузке.

Цель: развертывание дополнительных серверов или контейнеров на дисковом пространстве физическом/виртуальном.

Действия. Системы отслеживания в режиме реального времени отслеживают нагрузку. Менеджер подключаемых серверов отправляет запрос на расширение дискового пространства.

Менеджер дискового хранилища расширяет количество контейнеров или виртуального дискового пространства.

Результат: увеличение количества активных серверов.

2. Сценарий. Горизонтальное масштабирование.

Цель: создание точных копий контейнеров / виртуальных серверов клиентов при необходимости масштабирования дискового пространства.

Действия. При масштабировании серверов через гипервизор системы отправляется запрос на создание точной копии существующего контейнера/сервера. Менеджер подключаемых серверов делает резервную копию контейнера/сервера и вводит ее в систему временного хранилища. Переключение передаваемых данных на временное хранилище на время расширения основного дискового пространства.

Результат: создание бесшовного соединения для пользователей сети.

3. Сценарий. Уменьшение процессорного времени обработки единичного запроса.

Цель: увеличение быстродействия при увеличивающейся нагрузке без необходимости масштабирования системы.

Действия. Системы отслеживания в режиме реального времени отслеживают поступающую нагрузку. Панель управления виртуальным сервером отдает запрос на увеличение количества CPU и ОЗУ сервера клиента.

Результат: уменьшение времени обработки одного запроса при увеличении нагрузки на сервер, без необходимости масштабирования.

4. Сценарий. Использование старого ЦОДа за основу.

Цель: обеспечение использования старых форматов дисков.

Действия. Подключение к мультиинтерфейсу старых носителей с включением их в пул физических носителей для использования в основном физическом пространстве.

Результат: возможность использования старых физических носителей компании без необходимости использования носителей последних стандартов.

На основе сценариев и архитектуры проекта составлены общесистемные требования к объекту проектирования:

- обеспечение бесшовности соединения для пользователей, благодаря использованию временного хранилища и коммутационной матрицы;
- обеспечение низких потерь централизованного управления при вводе в пул новых физических серверов;
- обеспечение возможности масштабирования используемых приложений в виртуальной среде при увеличении спроса на использование виртуального сервера;
- обеспечение отказа от масштабирования в условиях недостаточной устойчивости системы или недостаточной нагрузки для масштабирования в пользу изменения процессорного времени;
- использование модульных систем масштабирования и физических носителей, которые легко добавлять или заменять без остановки системы;
- обеспечение интеграции с существующими ИТ-системами компаний без значительных изменений в архитектуре, включающее поддержку стандартных протоколов и интерфейсов;
- обеспечение как горизонтального, так и вертикального масштабирования без существенных задержек.

Концептуальное проектирование. На этапе формирования бизнес-модели были рассмотрены варианты применения объекта проектирования. Возможный первый вариант — компания, предоставляющая в аренду виртуальные серверы, сама оплачивает создание объекта проектирования под свою архитектуру, выбирает устройства и компоненты и использует его. Второй — некоторая компания продает универсальный комплект улучшения с набором

коммутаторов и настроек виртуальных коммутаторов для действующих ЦОД, решающий проблему с доступом при масштабировании серверов. Третий — некоторая компания предоставляет в аренду универсальный комплект улучшения.

В первом случае будет сервисный подход, в двух других — продуктовый. Субъектами проекта выступают: компания, предоставляющая в аренду виртуальные серверы; компания, предоставляющая архитектурное решение.

Заказчиком проекта для первого случая компания, предоставляющая в аренду виртуальные серверы, для второго и третьего — компания, продающая коммутационные системы. Потребитель во всех случаях — компания по предоставлению серверов. Клиенты везде одинаковые, обычные пользователи или компании, размещающие на серверах свои программы, приложения или базы данных.

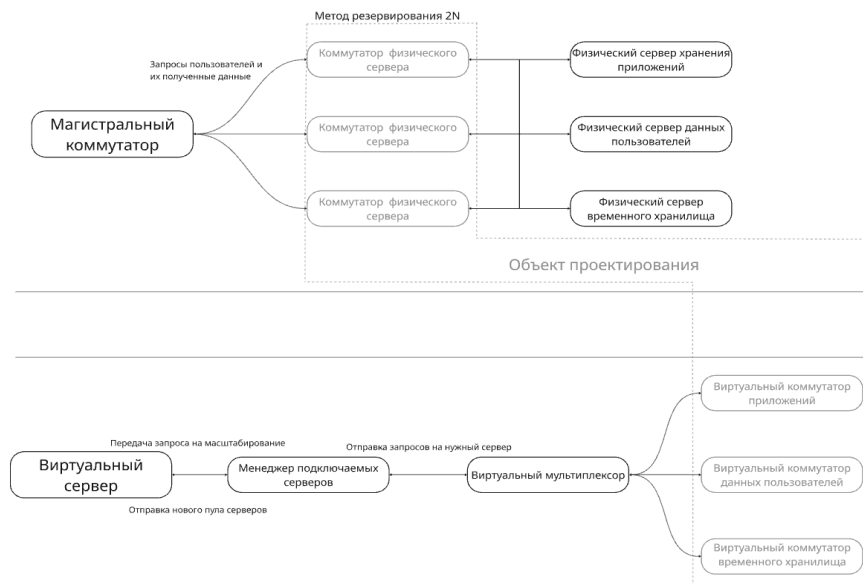


Рис. 6. Структурно-функциональная схема модели производственно-технического процесса, использующего объект проектирования

Рассмотренный объект проектирования позволяет использовать не один метод масштабирования, а также обеспечивает бесшовность для приемной стороны во время него. Архитектура, предложенная по ходу статьи, позволяет сократить затраты на развертывание серверов, упростить управление ресурсами и повысить устойчивость системы. Касательно экономической составляющей — выгодно использование для уже существующих развернутых систем, которым можно увеличить производительность за счет масштабируемости дискового пространства и обеспечения передачи без задержки во время изменения его параметров, списка серверов или контейнеров, а также объема.

Список использованной литературы

1. Бойченко, А. В. Алгоритм динамического масштабирования реляционных баз данных в облачных средах / А. В. Бойченко, Д. К. Рогожин, Д. Г. Корнеев // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritm-dinamicheskogo-masshtabirovaniya-relyatsionnyh-baz-dannyh-v-oblachnyh-sredah>
2. Крепков, И. М. Виртуализация вычислительных ресурсов в научных исследованиях и учебном процессе университета / И. М. Крепков, С. Н. Хорьков // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/virtualizatsiya-vychislitelnyh-resursov-v-nauchnyh-issledovaniyah-i-uchebnom-protssesse-universitet>

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ПРЕПОДАВАНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВУЗЕ

УДК 378.147

А. Я. Бигун, Л. В. Владимиров

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ РАБОЧЕЙ
ПРОФЕССИИ НА БАЗЕ УНИВЕРСИТЕТА

г. Сургут

Аннотация. Профессиональная траектория движения выпускников школ волнует не только самих выпускников и их родителей, но и работодателей и государство, так как в реальном секторе экономики в некоторых областях наблюдается дефицит рабочих кадров. Для более быстрого выхода школьников на рынок труда требуется получение рабочей профессии, причем рабочая профессия должна быть востребована рынком труда. Для успешного освоения рабочей профессии необходимо организовать получение обучающимся знаний, оттачивание профессиональных действий и навыков. Соответственно для этого необходимо разработать методические материалы и подготовить учебные аудитории. В работе представлено описание траекторий движений школьников и что необходимо для освоения рабочей профессии.

Ключевые слова: *рабочая профессия, профессиональная деятельность, электромонтер, профессиональное обучение, лаборатория.*

A. Ya. Bigun, L. V. Vladimirov

Surgut State University

ORGANIZATION OF TRAINING OF SCHOOLCHILDREN IN THE WORKING PROFESSION ON THE BASIS OF THE UNIVERSITY

Surgut

Abstract. The professional trajectory of school graduates is of concern not only to graduates and their parents, but also to employers and the state, as there is a shortage of workers in the real sector of the economy in some areas. For students to enter the labor market more quickly, it is necessary to obtain a working profession, and the working profession must be in demand by the labor market. For the successful development of a working profession, it is necessary to organize the acquisition of knowledge by students, honing professional actions and skills. Accordingly, it is necessary to develop methodological materials and prepare classrooms for this. The paper describes the trajectories of schoolchildren's movements and what is necessary to master a working profession.

Keywords: *working profession, professional activity, electrician, vocational training, laboratory.*

Современные реалии ставят перед выпускником школы сложную задачу, которая заключается в выборе профессиональной траектории. Часть выпускников поступают в высшие учебные заведения, другие получают среднее профессиональное образование, но есть и такие, которые сразу выходят на рынок труда и начинают трудовую деятельность. Многие студенты во время обучения начинают работать по выбранному направлению, то есть студенты также стараются как можно раньше выйти на рынок труда.

Рассмотрим возможные траектории движения выпускников школ, которые они выбирают после окончания 9 класса. Первый вариант — это получить среднее профессиональное образование (СПО). Это наикратчайший путь выхода на рынок труда

с профессией (рис. 1). При такой траектории через 2 года выпускники СПО выходят на рынок труда. Далее они начинают свою трудовую деятельность в должности электромонтера или слесаря-электрика по ремонту и обслуживанию электрооборудования (I уровень). В качестве примера выбрали направление «Электроэнергетика», так как у работодателей в этой сфере есть стабильный спрос на представителей рабочих профессий. Далее они повышают свой разряд и группу допуска по электробезопасности, нарабатывают стаж, что дает им возможность претендовать на должность руководителя среднего звена (мастера участка и др.) (II уровень). При этом им необходимо повысить свой квалификационный уровень и пройти обучение в университете на бакалавра по направлению «Электроэнергетика и электротехника» (ВО I). Переход на должности руководителя высшего звена (начальник участка, начальник управления и др.) (III уровень) требует наличия 7-го квалификационного уровня и обучения в магистратуре (ВО II).

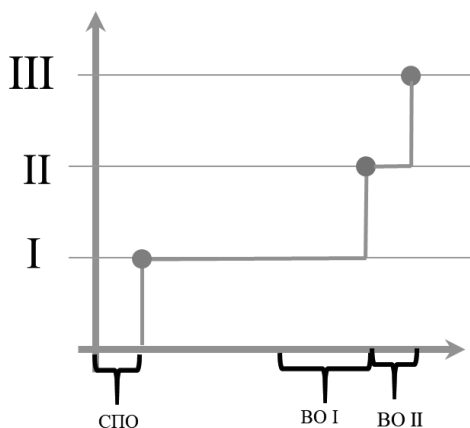


Рис. 1. Траектории профессионального роста выпускников школ при поступлении в учреждения среднего профессионального образования

Второй вариант траектории — это поступление в университет по окончании 11 классов. По окончании вуза они выйдут на I уровень и на нем будут находиться примерно 2 года, пока будут проходить подготовку в магистратуре. Это связано с ростом по горизонтали в профессии и получением рабочей профессии. После чего они могут перейти на II и III уровень (рис. 2). Такая траектория была предусмотрена для обучающихся вузов до недавнего времени.

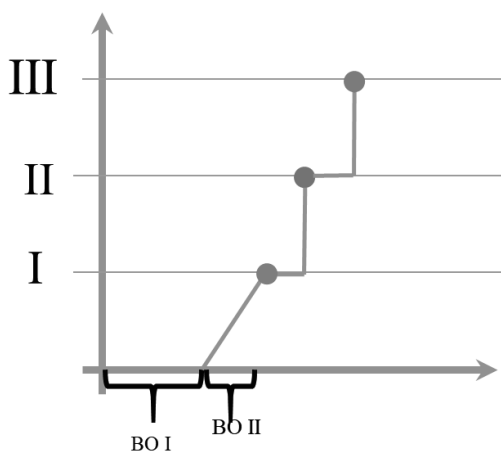


*Рис. 2. Траектории профессионального роста выпускников школ
при поступлении в учреждения высшего образования*

Сейчас траектория профессионального роста обучающихся школ и вузов предусматривает получение рабочей профессии «электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования II–IV разряда» во время обучения, что дает возможность более быстрого выхода на рынок труда (рис. 3).

На рис. 3 представлена траектория выхода на рынок труда, которая начинается еще при обучении в школе (9–11 класс). Данная траектория возникает при прохождении обучения рабочей профессии «электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования

II разряда». Такой подход дает возможность выпускникам школ осуществлять трудовую деятельность во время обучения в университете, что снизит финансовую нагрузку на родителей. В университете обучающийся, прошедший предварительную подготовку в школе, проходит путь горизонтального роста и по окончании университета и присвоения квалификации бакалавра они смогут сразу перейти на II уровень в иерархии должностей, а после получения диплома магистра перейти сразу на III уровень в иерархии должностей. Такая траектория предусматривает профориентационные и агитационные мероприятия для обучающихся школ до поступления в университет, на площадке которого будет осуществляться подготовка по рабочим профессиям.

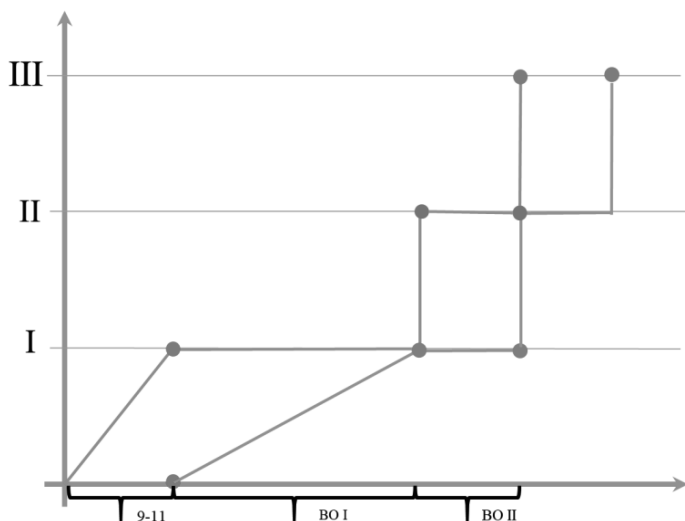


Рис. 3. Траектории профессионального роста выпускников школ при получении рабочей профессии в школе и последующем поступлении в учреждения высшего образования

Чтобы обеспечить движение выпускников школ по указанной траектории профессионального роста, необходима организация на базе университета специализированных рабочих мест (специализированной аудитории), где будет проходить обучение, отработка действий и профессиональных навыков. Специализированная аудитория должна включать в себя оборудованные рабочие места в виде кабин или ячеек для выполнения работ по электромонтажу (рис. 4), стенды «Основы электромонтажа» (для отработки навыков сборки простых схем осветительных и силовых цепей), «Поиск и устранение неисправностей», макеты осветительной и силовой сети, стенд «Цеховое оборудование» (для изучения схем автоматики управления асинхронными электродвигателями, автоматики управления освещением), стенды «Основы электробезопасности». Стенды и макеты необходимы для получения первичных знаний и навыков, необходимых электромонтеру по ремонту и обслуживанию электрооборудования. Также в аудитории должны быть размещены информационные плакаты по электробезопасности, плакаты «Основы безопасной работы с инструментом», плакаты «Основы выполнения электромонтажных работ». Необходимый перечень инструментов и расходных материалов для организации обучения рабочей профессии представлен в таблице 1 и 2. В этой аудитории должно быть естественное и искусственное освещение.



Рис. 4. Ячейки для электромонтажа [1, 2]

Таблица 1. — Перечень ручного и электроинструмента

Инструменты для проверки и измерений	Ручной электромонтажный инструмент	Вспомогательный инструмент	Средства индивидуальной защиты (СИЗ)
• Индикатор напряжения (отвертка-пробник, бесконтактный детектор); • Мультиметр (тестер напряжения, тока, сопротивления, с режимом прозвонки); • Мегаомметр (для проверки изоляции кабелей); • Токовые клещи (замер нагрузки в цепях)	• Изолированные отвертки (крестовая и шлицевая, 3–6 мм); • Пассатижи комбинированные (с изоляцией); • Кусачки (бокорезы); • Круглогубцы (для гибки проводов); • Монтажный нож (с крючком для зачистки изоляции); • Набор гаечных ключей (6–19 мм, рожковые/накидные); • Кабельрезы	• Молоток (резиновый/обычный); • Ножницы по металлу (для кабель-каналов); • Штангенциркуль/микрометр (проверка сечения провода); • Шуруповерт; • Рулетка; • Линейка; • Угольник сторительный; • Карандаш; • Ножовка по металлу	• Диэлектрические перчатки (проверенные!); • Защитные очки; • Каска (если в цеху); • Перчатки х/б

Таблица 2. — Перечень расходных материалов

Электроизоляционные материалы	Клеммы и соединители	Крепеж и установочные элементы	Провода и кабели	Прочие расходники
• Изолента ПВХ и ХБ (разных цветов для маркировки);	• Клеммники WAGO (222, 773 серии);	• Саморезы по металлу/дереву (25–50 мм);	• Монтажные провода (ПВ-1, ПВ-3, ПУГВ);	• Смазка для контактов (ЦИАТИМ, Литол); • Контактная смазка-очиститель (для клемм);

• Термоусадка (ТУТ) $\varnothing$ 3–20 мм (с клеем и без); • Изоляционные трубки (кембрики); • Лента Scotch 13 или аналог (для временной изоляции)	• Винтовые клеммы (ПВЗ, ЗВИ); • Гильзы кабельные (ГМЛ, НШВИ); • Наконечники проводов (НШВИ, ТМЛ)	• Дюбель-гвозди (для крепления кабель-каналов); • Стяжки (нейлоновые хомуты) 100–300 мм; • Металлические скобы (для крепления кабеля)	• Гибкий кабель (КГ, ПВС) — для временных подключений; • Токопроводящая паста (для алюминиевых соединений); • Кабельканалы; • Гофрированные трубы; • Держатели для гофрированных труб	• Наждачная бумага (мелкозернистая); • Спирт/обезжириватель (для очистки контактов); • Маркеры для проводов (разноцветные); • Бирки ПВХ (для маркировки кабелей); • Перчатки нитриловые (для грязных работ), х/б

Аудитория должна быть оборудована специализированной мебелью и местами хранения для инструмента и расходных материалов. Хранение материалов следует организовать на сборных стеллажах, хранение различных деталей — в пластиковых контейнерах и коробках, метизы разного назначения следует хранить в шкафах с выдвижными полками для упрощения доступа к ним. Хранение ручного и электрического инструмента необходимо организовать в тумбах рядом с рабочим местом.

Организация обучения рабочей профессии «электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования II разряда» — сложная и интересная задача для сотрудников высших учебных заведений, решение которой позволит повысить качество подготовки выпускников школ, обеспечит возможность их выхода на рынок труда и более скорое продвижение по траектории профессионального роста при последующем обучении в вузе.

Список используемой литературы

1. 3-й день соревнований // Вятский электромашино-строительный техникум: [сайт]. — URL: <https://vemst.ru/3-den-sorevnovanij1> (дата обращения: 21.04.2025).

2. Открытый региональный чемпионат «Молодые профессионалы» (WorldSkills Russia) Тюменская область 2020 // Совет директоров ПОО ТО: [сайт]. — URL: <https://www.sdto72.ru/news/2019/otkrytyy-regionalnyy-chempionat-molodye-professionalny-worldskills-russia-tyumenskaya-oblast-2020/> (дата обращения: 21.04.2025).

УДК 378.14

Е. А. Бородина

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

СТЕНДОВЫЙ ДОКЛАД КАК СОВРЕМЕННАЯ ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается стендовый доклад как современная и эффективная форма представления результатов исследовательской деятельности студентов и преподавателей кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета. Результаты научно-исследовательской деятельности в виде стендового доклада представлены для студентов направлений «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и «Электроэнергетика и электротехника». Целью статьи является изучение роли стендового доклада в развитии навыков научной коммуникации. Анализируется понятие «стендовый доклад»; выделяются достоинства и недостатки; критерии выполнения, включающие в себя оптимальность, популярность, краткость и лаконичность, наглядность, соотношение текста и графики; этапы подготовки

и выполнения, состоящие из планирования, структурирования и оформления, создание чернового макета, создание дополнительного материала; инструкцию по формированию и требования к оформлению доклада. В заключение подчеркивается значимость использования стендовых докладов в образовательной практике для развития навыков научной коммуникации и презентации данных.

Ключевые слова: *стендовый доклад, критерии выполнения, этапы подготовки, инструкция по формированию, требования к оформлению.*

E. A. Borodina

Surgut State University, Surgut

POSTER PRESENTATION AS A MODERN FORM OF PRESENTING THE RESULTS OF RESEARCH ACTIVITIES AT THE UNIVERSITY

Surgut

Abstract. The article considers a poster presentation as a modern and effective form of presenting the results of research activities of students and teachers of the Department of Radio Electronics and Electric Power Engineering of Surgut State University. The results of research activities in the form of a poster presentation are presented for students of the fields of «Information and communication technologies and communication systems» and «Electric Power and electrical Engineering». The purpose of the article is to study the role of the poster presentation in the development of scientific communication skills. The concept of a «poster presentation» is analyzed; advantages and disadvantages are highlighted; performance criteria, including optimality, popularity, brevity and conciseness, visibility, the ratio of text and graphics; stages of preparation and execution, consisting of planning, structuring and design, creation of a rough layout, creation of additional material; instructions for formation and requirements for the design of the report. In conclusion, the importance of using poster presentations in educational practice for the development of scientific communication skills and data presentation is emphasized.

Keywords: *poster presentation, performance criteria, preparation stages, formation instructions, design requirements.*

В условиях глобальной трансформации студенты и преподаватели вузов являются участниками ведущего образовательного процесса, состоящего в изменении сущности и характера человеческой деятельности, превращающейся в главный способ самореализации человека, то есть труд становится творчеством. Развитие современного общества невозможно без объединения знания и информации, важным навыком для каждого человека является находить информацию, оценивать ее и использовать в своих интересах. Поэтому одно из направлений образовательной работы вуза — организация и проведение научно-практических научных конференций как мощной инновационной образовательной технологии для развития способностей студентов к исследовательской деятельности и представления полученных результатов. Последним этапом научно-исследовательской работы является защита перед аудиторией.

Результаты исследовательской деятельности можно объединить в две группы: квалификационные, которые подтверждают уровень сформированности профессиональных компетенций (курсовые, выпускные квалификационные работы, диссертации) и успешного освоения программы по направлениям бакалавриата, специалитета, магистратуры и т. д., и научно-исследовательские, которые демонстрируют результаты научных исследований по конкретной теме или проблеме (отчеты по научно-исследовательской работе, научные публикации, выступления на научных конференциях, семинарах и т. д.).

Результаты научно-исследовательской деятельности на конференциях можно представлять в различных формах. Наиболее широко известны такие формы, как текстовые работы, оформленные в виде доклада, стендового доклада, реферата, литературного обзора, рецензии; компьютерные презентации или видеофильмы с текстовым сопровождением; действующие модели или макеты с текстовым сопровождением.

Выбор формата представления результатов исследовательской деятельности остается за автором и руководителем проекта с учетом тематики работы и профессиональной направленности.

Далее рассмотрим понятие «стендовый доклад», достоинства и недостатки, критерии выполнения, этапы подготовки, инструкцию по формированию, структуру и требования, предъявляемые к его оформлению.

Многие исследователи формулируют определение «стендовый доклад» по-разному. Например, Виттич и Шулер (1973) полагают, что «стендовый доклад — комбинация заметного оформления, цветов и сообщений, призванных привлечь и удержать внимание проходящих мимо людей, оставить в их сознании заметный след от представленной идеи»; «краткое, тезисное изложение исследования в форме плаката или постера, используемого для наглядного представления информации на конференциях и семинарах»; «презентация научного исследования в виде постера (плаката), характеризующаяся краткостью и наглядностью»; «графическая аргументация исследования, позволяющая за короткий промежуток времени осветить ключевые моменты темы» [4].

Анализируя эти понятия, можно сказать, что *стендовый доклад* представляет собой компактную и информативную презентацию научных исследований в виде плаката или постера, сочетающую минимум текста с максимальным количеством наглядной информации для эффективного общения с аудиторией; самостоятельная единица представления информации, с которой аудитория может знакомиться в произвольное время, без присутствия докладчика и устного сопровождения.

Целью стендового доклада является тезисное отображение основных положений проделанной работы в удобной и лаконичной форме.

Особенностями выступают: краткость, наглядность (обязательно использование иллюстративного материала), возможность изучения результатов исследования во время всей сессии, непосредственное общение автора с аудиторией.

Выделяют следующие *достоинства*: возможность знакомиться с докладом на протяжении всей конференции для облегчения

восприятия новой информации и понимания хода мыслей автора; для более детального представления информации каждый участник конференции может потратить столько времени, сколько ему понадобится для вникания в суть работы, помощь в усилении доказательной базы исследователя, выделении особенностей исследования; при очном представлении результатов исследования автор может вступать в дискуссии со слушателями конференции, при правильном и корректном оформлении стендовый доклад может содержать большое количество информации, возможность подготовки и прикрепления раздаточного материала для ознакомления с большим количеством информации участниками конференции, способствует уменьшению стресса у автора работы, облегчая защиту проекта.

К **недостаткам** можно отнести следующее: все иллюстративные материалы должны сочетаться с текстом в рамках рассматриваемой проблемы; автору понадобится много времени для грамотного совмещения творчества и науки; автору необходимо хорошее владение компьютерными программами и интернет-ресурсами; требуется тщательная подготовка для эффективной подачи материала; на постере помещается ограниченное количество информации; некомфортное положение зрителей (как правило, они стоят).

Далее автор приводит критерии выполнения, этапы подготовки и требования к стендовому докладу при представлении результатов научного исследования на Международной научно-практической конференции «Проблемы энергетики и телекоммуникаций Севера России» для студентов кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета направлений 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Стендовый доклад должен соответствовать следующим критериям (рис. 1).



Рис. 1. Критерии выполнения стендового доклада

1. Оптимальность. Этот параметр предполагает подбор элементов для понимания сути исследования в короткий промежуток времени, причем выбрать достаточное количество иллюстративного материала, чтобы не пестрило в глазах и не растягивало несколько элементов на весь стенд.

2. Популярность. Все текстовые и графические материалы должны быть достоверными и представляются в простой и понятной для участников и слушателей конференции форме. Необходимо избегать жаргона.

3. Краткость и лаконичность. Текст постера должен быть кратким и читаемым с расстояния минимум метр или два в зависимости от размера. Для представления информации используются простые предложения. Информация должна быть понятна участникам конференции за 1–2 минуты.

4. Наглядность. Этот параметр предполагает, что для представления информации на постере использовать минимум текста и максимум иллюстративного материала, подчеркивающего тематику доклада.

5. Соотношение текста и графики. Все элементы должны быть взаимосвязаны между собой и укладываются в научный формат;

комбинации текста и графического материала — четкие, понятные и емкие.

Этапы подготовки и выполнения стендового доклада (рис. 2).

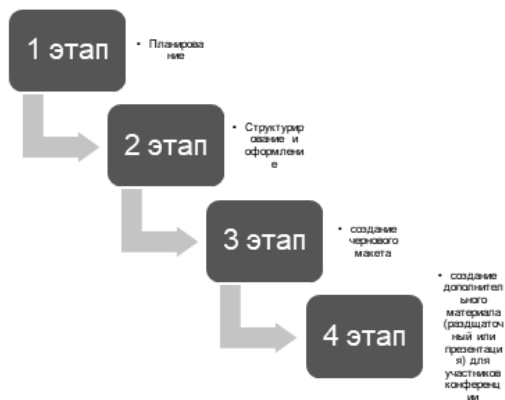


Рис. 2. Этапы подготовки и выполнения стендового доклада

На этапе планирования стендового доклада автор определяет ключевые моменты: выделяет проблему исследования, цель, задачи и методы; резюмирует проделанную работу, выделяет результаты исследования.

Второй этап предполагает создание черновика: определить последовательность мыслей, понять, где, что и каким образом расположить основные элементы доклада. На этом этапе необязательно сразу располагать иллюстративный вариант, важно понять структуру отражения информации.

Создание чернового макета потребует от автора грамотного формирования речи и четкого структурирования под нее стенда. На этом этапе происходит оптимизирование доклада, упорядочение графических материалов и текста.

После создания чернового макета автор может понимать, необходимо ли ему создание дополнительного раздаточного материала или презентации.

Инструкция по формированию стендового доклада.

1. Автору сначала необходимо подготовить защитную речь, а затем создавать стендовый доклад.

2. При создании макета автор должен разделить его на три зоны: название доклада и сведения об авторе; основная часть, где представлена суть исследования; дополнительная часть (брошюры, раздаточные материалы и т. д.).

3. В основной части необходимо описать ключевые моменты работы (заголовок, краткое текстовое описание основных проблем (цель, задачи, методы и т. д.), иллюстративные материалы с минимумом текста, раздаточные материалы).

4. В представлении результатов исследования автор должен использовать основные элементы доклада: графики, схемы, таблицы, диаграммы и т. д. Важно, чтобы цветовая палитра была разумной и приемлемой: нельзя использовать режущие и пестрые для глаз оттенки, четкость и изображений, и текста должна быть на высоте. В них обязательно подчеркиваются ключевые моменты исследования.

5. При создании автором презентации важно не забыть об этикете: поприветствовать аудиторию и поблагодарить за внимание в конце выступления.

6. Перед выступлением на конференции автору необходимо потренироваться, что и как вы будете говорить и какие моменты и что показывать. Для гарантированного достижения успеха в представлении результатов работы будет смелое и уверенное выступление, грамотные ответы на вопросы аудитории.

Требования к стендовому докладу.

1. Общие требования:

1. Используйте четкие заголовки и организационные сигналы для структурирования контента.

2. Фон постера светлый, цвет текста темный.

3. Включайте больше графических материалов для наглядности. Графические материалы выполняются в цвете.

4. Соотношение иллюстративного (фотографии, диаграммы, графики, блок-схемы и т. д.) и текстового материала устанавливаются примерно 1:1.

5. Текст должен быть кратким и читаемым с расстояния минимум метр или два в зависимости от размера постера.

6. Информация на стенде должна быть размещена логично, структурированно в два или три столбца. Стенд должен читаться как сверху вниз (с целью подробного изучения), так и по диагонали (с целью ознакомления).

7. Для представления информации следует использовать простые предложения и маркированные списки для ясности.

8. Необходимо использовать единицы измерения СИ.

9. Избегайте жаргона и необычных аббревиатур.

10. Используйте заголовки, организационные сигналы (номера, буквы и стрелки).

11. Для оформления макета можно использовать компьютерные программы: Corel Draw, Adobe Photoshop CS, Picture manager.

II. Требования к оформлению:

1. Доклад должен быть выполнен на листе формата A1 (594*841 мм).

2. Шрифт постера — не менее 24 кегля.

III. Структура представления контента:

- название исследования;
- Ф. И. О. авторов/руководителя, место работы, адрес, e-mail;
- цель и задачи;
- материалы и методы;
- результаты и выводы;
- обсуждения и благодарности
- библиографический список.

Формат представления файлов: PDF, PPTX

Название работы печатается ПРОПИСНЫМ полужирным шрифтом Times New Roman, APTOS.

На следующей строке — фамилии и инициалы авторов, руководителя.

Далее с новой строки — название организации и подразделения (вуза, института и кафедры).

Рисунки и таблицы должны иметь названия.

Возможные варианты оформления стендовых докладов приведены на рис. 3.

Название доклада ЗАГЛАВНЫМИ буквами полужирным шрифтом по центру TIMES NEW ROMAN 84 кегль Ф. И. О автора, организация/подразделение (вуз/кафедра) — 42 кегль; Ф. И. О научного руководителя, ученая степень, ученое звание — 30 кегль			
Вводная часть: • актуальность; • цели; • задачи	Результаты	Таблицы, схемы, графики и т.д. № 1	Иллюстрация, диаграмма
			Выводы Заключение
Методы исследования		Таблицы, схемы, графики и т.д. № 2	Библиографический список

Всероссийская международная научно-практическая конференция «» И. О. Фамилия, И. О. Фамилия (Название организации) ИЛИ И. О. Фамилия¹, И. О. Фамилия², И. О. Фамилия¹² (¹Название организации, ²Название организации) НАЗВАНИЕ РАБОТЫ					
Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст	Рис. 2
Рис. 1					Текст Текст Текст Текст Текст Текст
Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст	Текст Текст Текст Текст Текст Текст

Левое крыло	Центральная часть		Правое крыло
2. цель, задачи	1. тема исследования		7. концепция и модель
3. новшества	11. фото	12. общие сведения	8. этапы работы
4. прогноз результатов	13. рисунки, схемы, графики, диаграммы, фотографии и другой иллюстративный материал, представляющий результаты исследования		9. результаты исследования
5. критерии, индикаторы			10. публикации по теме исследования
6. условия реализации			14. контакты авторов

НАЗВАНИЕ ДОКЛАДА			
Ф. И. О. автора, организация/подразделение (вуз/кафедра), адрес, e-mail Ф. И. О. научного руководителя, ученая степень, ученое звание, адрес, e-mail			
Ключевые слова	Материалы и методы	Рис. 3	Обсуждение Заключение
	Рис. 2		
Аннотация	Результаты	Рис. 4	Благодарности
Рис. 1			Библиографический список

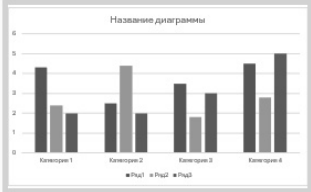
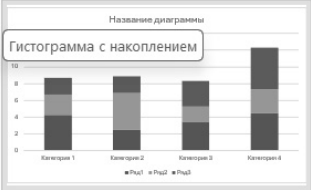
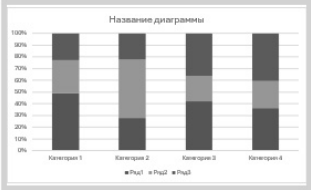
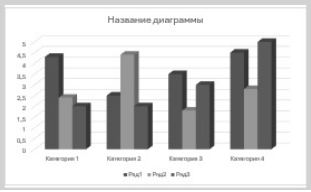
Рис. 3. Примеры стендового доклада

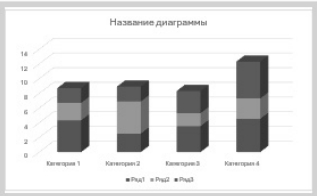
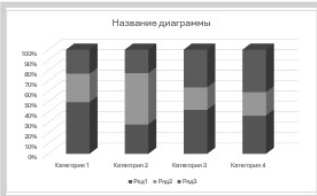
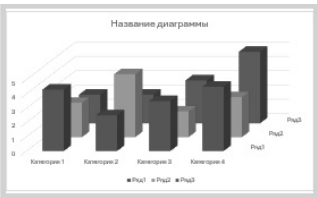
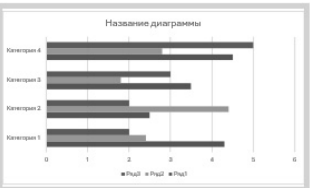
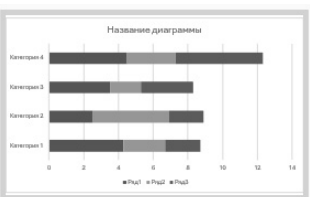
Предпочтительные типы иллюстративных материалов для представления информации.

1. Графики и диаграммы.

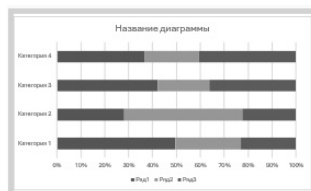
- Используйте их для сравнения данных.
- Бар-чарты идеальны для сравнения категорий, а линейные графики — для отображения изменений во времени.
- Кластерные бар-чарты полезны для демонстрации поведения переменных в разных условиях.

Таблица 1. — Типы графиков и диаграмм для стендовых докладов

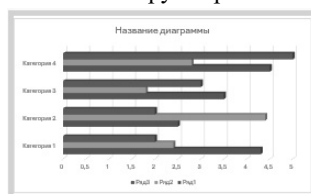
Название графиков и диаграмм	Для чего используют графики и диаграммы	Примеры графиков и диаграмм
Столбчатые диаграммы (бар-чарты)	- Используются для сравнения категорий данных. - Позволяют отображать как положительные, так и отрицательные значения	С группировкой  С накоплением  Нормированная с накоплением  Объемная с группировкой 

		Объемная с накоплением  Объемная нормированная с накоплением  Объемная 
Линейные графики	• Отображают изменения значений во времени или под влиянием определенного фактора. • Полезны для показа тенденций или динамики	С группировкой  С накоплением 

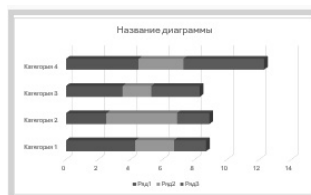
Нормированная с накоплением



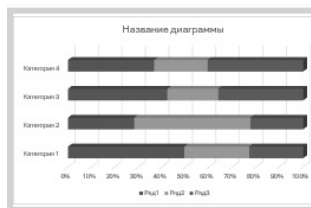
Объемная с группировкой



Объемная с накоплением



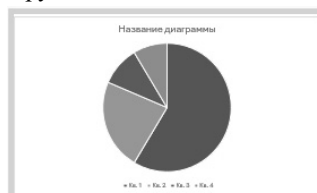
Объемная нормированная с накоплением



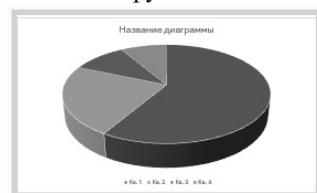
Круговые
диаграммы
(пай-чарты)

- Используются для демонстрации долей от целого.
- Подходят для статистики, когда нужно показать состав чего-либо

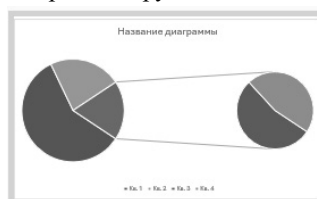
Круговая



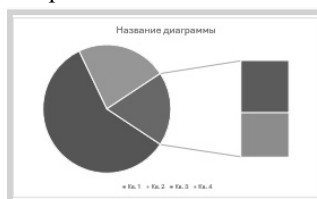
Объемная круговая



Вторичная круговая

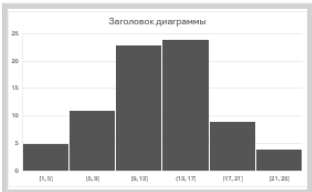
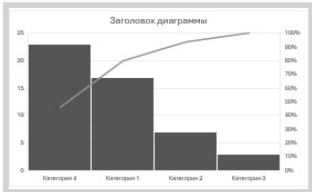
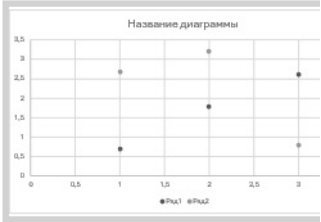


Вторичная линейчатая

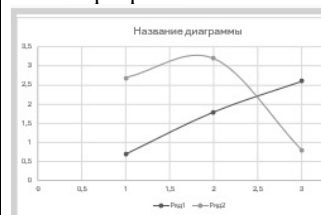


Кольцевая

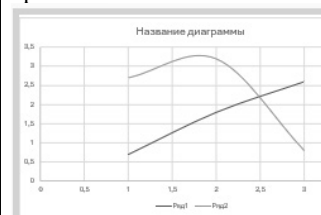


Гистограммы	Аналогичны столбчатым диаграммам, но используются с непрерывными шкалами на оси Y	Гистограмма  Парето — «эмпирическое правило, названное в честь экономиста и социолога Вильфредо Парето, которое в общем виде формулируется как “20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий — лишь 20% результата”» [3]. 
Диаграммы рассеяния (точечные)	• Показывают зависимости между двумя переменными. • Полезны для выявления закономерностей в данных	Точечная 

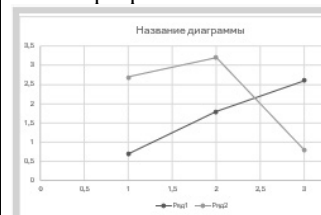
Точечная с гладкими кривыми и маркерами



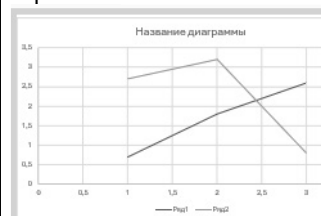
Точечная с гладкими кривыми



Точечная с прямыми отрезками и маркерами



Точечная с прямыми отрезками





2. Таблицы.

- Для представления данных в структурированном виде используйте таблицы.
- Таблицы полезно использовать, если необходимо показать несколько переменных одновременно.

3. Изображения и фотографии.

- Применяйте только высококачественные изображения и фотографии для иллюстрации, например, методологии или результатов исследования.
- Используйте форматы с высоким разрешением, например PNG или TIFF.

4. Инфографика.

Инфографика может объединять текстовые данные с визуальными элементами, делая информацию более привлекательной.

5. Интерактивные элементы (QR-коды, ссылки на видео).

QR-коды могут направлять зрителей к дополнительной, интересной информации или видеоматериалам.

6. Схемы и диаграммы потока.

- Для объяснения сложных процессов или потоков исследования используйте схемы и диаграммы.
- Иллюстративные материалы должны быть легко читаемы с расстояния минимум 2 метра от постера. Выбор цвета материалов должен быть контрастным и не перегружать зрителя.

Иллюстративные материалы должны иметь хорошее разрешение не менее 300 dpi при распечатке.

Дополнительные требования.

1. Обязательно проверить достоверность цитат, правильность формул и статистических выкладок.
2. Авторы в полной мере несут ответственность за приводимые сведения.
3. В конце макета должен быть указан контактный телефон, e-mail и Ф. И. О. авторов.

Таким образом, стендовый доклад — это лаконичное и наглядное представление результатов исследования для быстрого ознакомления с ключевыми аспектами работы, основными задачами которого являются донесение ключевых идей, обеспечение удобства восприятия, формирование интерактивного общения и расширение охвата аудитории. Стендовый доклад будет эффективным инструментом для презентации научных исследований, облегчать их восприятие и способствовать профессиональному взаимодействию только при правильном подходе к представлению информации автором этих исследований.

Список использованной литературы

1. Как подготовить стендовый доклад для конференции? Режим доступа: <http://dissertatsia.ru/poleznoe/kak-podgotovit-stendovyyj-doklad-dlya-konferencii/>. Дата обращения: 21.03.2025.
2. Как сделать стендовый доклад <http://www.akademik.help/doklad/kak-sdelat-stendovyyj-doklad>. Дата обращения: 21.03.2025

3. Кох, Ричард Принцип 80/20 [пер. с англ.] — М., Эксмо, 2012. — 443 с. ISBN 5699517030, ISBN 9785699517039.

4. Советы начинающим докладчикам (Вольный пересказ замечток проф. П. ван дер Круит, Гронинген, выполненный В.П. Решетниковым, СПбГУ, 2006).

5. Стендовый доклад: сущность, функции, правила выполнения» режим доступа: <https://disshelp.ru/blog/stendovyyj-doklad-sushhnost-funktsii-pravila-vypolneniya/> . дата обращения: 25.02.2025.

УДК 378.14.015.62, 378.141.4, 378.147

Г. В. Иванов, Е. Ю. Кислицин

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ:
АЛГОРИТМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ
ОБУЧАЮЩИХСЯ ВУЗА

г. Сургут

Аннотация. В работе представлен структурированный алгоритм организации исследовательской работы обучающихся в области электромеханики в рамках дисциплины «Электрические машины». Особое внимание уделено интеграции методов теории решения изобретательских задач, математического моделирования и экспериментального анализа. Представлен практический кейс, посвященный решению проблемы потерь холостого хода в силовых трансформаторах.

Ключевые слова: *теория решения изобретательских задач, технические противоречия, трансформаторы, электрические машины, исследовательская работа.*

G. V. Ivanov, E. Y. Kislitsin

Surgut state University, Surgut

ELECTRIC MACHINES: THE ALGORITHM OF RESEARCH WORK OF UNIVERSITY STUDENTS

Surgut

Abstract. The paper presents a structured algorithm for organizing the research work of students in the field of electromechanics within the framework of the discipline «Electric Machines». Special attention is paid to the integration of methods of theory of inventive problem solving, mathematical modeling and experimental analysis. A practical case study is presented on solving the problem of idling losses in power transformers.

Keywords: *theory of inventive problem solving, technical contradictions, transformers, electric machines, research work.*

Введение. Основная функция инженера — решение технических задач: проектирование электропривода насосной установки, расчет теплового режима трансформатора и т. п. Предполагается, что квалифицированный инженер знает, где взять сведения, необходимые для решения той или иной задачи и как эти сведения использовать. Решение указанных технических задач способствует количественному изменению техники.

Для качественного изменения техники необходимо решение изобретательских задач, то есть таких задач, средства решения которых еще не представлены в технической литературе, не прописаны в известных квалифицированному инженеру правилах, нормах, рекомендациях и т. д. На высокотехнологичном производстве многих современных предприятий доля инженерного труда в ходе технологического процесса значительно превышает долю труда рабочего. При этом к инженеру предъявляются такие требования, как:

- выполнение операций, подразумевающих наличие у исполнителя высокой квалификации;
- решение инновационных, творческих, изобретательских задач.

Соответственно, инженер должен обладать инновационным мышлением, профессиональной мобильностью, осуществлять поиск новых решений (см. рис. 1).



Рис. 1. Задачи современного инженера

Современные направления развития электромеханических комплексов требуют не только глубокого понимания принципов работы электрических машин, трансформаторов, но и умения находить нестандартные решения для повышения эффективности их работы, надежности и экологичности.

Исследовательская работа обучающихся в этой области должна сочетать теоретический анализ, экспериментальные методы и инновационные подходы, такие как теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), математическое моделирование.

Соответственно, целью представленной работы является демонстрация возможности применения ТРИЗ и математического моделирования в процессе организации исследовательской работы обучающихся вуза в рамках дисциплины «электрические машины».

В работе представлен алгоритм проведения исследовательской работы, изучение и применение которого для решения конкретной задачи позволит обучающимся научиться:

1) формулировать исследовательскую задачу и проблему исследования;

2) выявлять и решать технические противоречия в конструкциях электрических машин и трансформаторов;

3) разрабатывать виртуальные прототипы для тестирования гипотез;

4) проводить эксперименты с моделью для последующей оптимизации параметров рассматриваемого электромеханического комплекса.

Методология исследовательской работы. В качестве исходных данных обучающимся предоставляется описание ситуации, связанной с каким-либо типом электрической машины или трансформатором. Суть ситуации в том, что описан режим работы объекта и указаны функции, которые он выполняет.

Исследовательскую работу обучающимся в рамках дисциплины «электрические машины» предлагается выполнять поэтапно.

Первый этап. На этом этапе обучающие должны преобразовать ситуацию в изобретательскую. При анализе изобретательской ситуации (ИС) полезно строить причинно-следственные цепочки. Это позволяет найти в ИС целый ряд нежелательных эффектов (НЭ).

Для построения причинно-следственной цепочки необходимо последовательно задавать вопрос: по какой причине? («Если... то...») — сначала к исходно заданному нежелательному эффекту, а затем к тем, которые будут выявлены как его причины.

Причины возникновения НЭ можно искать как внутри системы, так и в надсистемах. В последнем случае также целесообразно использовать вопрос: по какой причине? Естественно, причинно-следственные цепочки можно продолжать в обе стороны и далее. Строя цепочку внутри системы, можно выйти на причины физической или химической природы. Строя цепочку в надсистему, можно выйти на организационно-управленческие причины возникновения исходного нежелательного эффекта.

Кроме того, требуется определить цель и ограничения на способы достижения этой цели.

Таким образом, на первом этапе решаются следующие задачи (рис. 1):

- 1) описание системы (объект, функцию, условия работы);
- 2) выявление недостатков (потери, неэффективность, поломки);
- 3) формулировка ограничений (чего нельзя менять?).

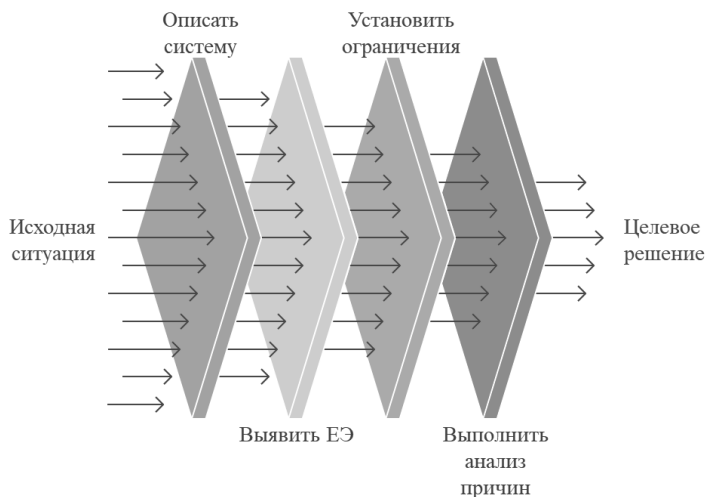


Рис. 2. Задачи, решаемые обучающимися на первом этапе работы

Пример. Проблема: большие потери холостого хода в трансформаторе. Ограничение: нельзя снижать номинальную мощность.

Второй этап. На втором этапе обучающимся необходимо выявить противоречия, то есть определить конфликтующие параметры. Для этого необходимо:

- 1) определить цель развития объекта — например, улучшить какую-либо характеристику;
- 2) выявить, какой элемент объекта можно изменить и как, чтобы достичь цели;
- 3) указать, какая полезная характеристика объекта при этом будет ухудшаться;

4) на основе пунктов 2 и 3 формулируется техническое противоречие;

5) изменить элемент, выбранный на шаге 2, противоположным образом и построить техническое противоречие, обратное сделанному на шаге 4.

Если не удастся разрешить противоречие, нужно искать решение, при котором противоречие не возникает вообще.

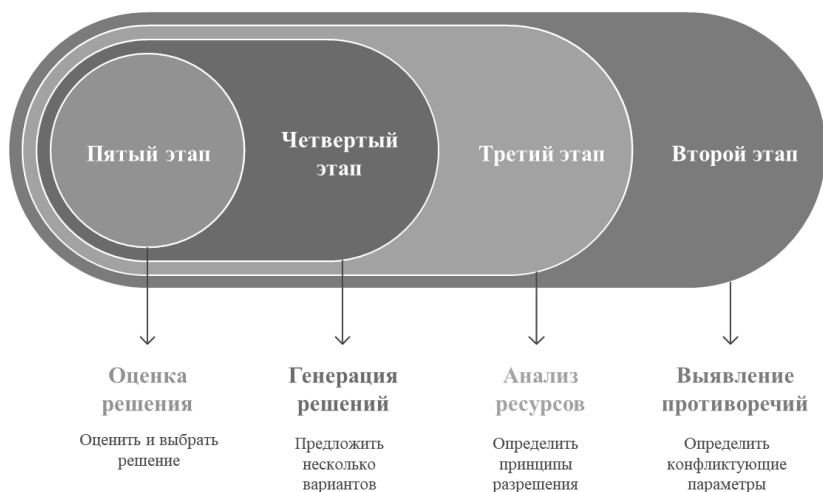


Рис. 3. Этапы выполнения исследовательской работы обучающимися в рамках дисциплины «электрические машины»

На этом же этапе необходимо осуществить сбор информации по выбранной теме, используя научные статьи, патенты, техническую документацию и другие источники, проанализировать собранную информацию, выявить существующие решения и их недостатки. Определите, какие аспекты проблемы еще не исследованы или требуют дальнейшего изучения.

Третий этап — анализ ресурсов и определение принципов разрешения противоречий. Для достижения поставленной цели

на данном этапе рекомендуется воспользоваться таким инструментом ТРИЗ, как «Таблица выбора приемов устранения технических противоречий» (см. рис. 4). В ходе формулировки технических противоречий обучающимися выделены улучшаемые характеристики объекта и определены положительные и отрицательные эффекты, что позволяет использовать представленный инструмент ТРИЗ.

Что нужно изменить по условиям задачи		Что ухудшается при изменении		Параметры																				
				Вес подвижного объекта	Вес неподвижного объекта	Длина подвижного объекта	Длина неподвижного объекта	Площадь подвижного объекта	Площадь неподвижного объекта	Объем подвижного объекта	Объем неподвижного объекта	Скорость	Сила	Напряженность давления	Форма	Устойчивость состава объекта	Прочность	Время действия подвижного объекта	Время действия неподвижного объекта	Температура	Освещенность	Загрузка энергией подвижного объекта	Загрузка энергией неподвижного объекта	Мощность
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21				
1	Вес подвижного объекта	-	-	15, 8 29, 34	-	29, 17 38, 34	-	29, 2 40, 28	-	2, 8 16, 38	8, 10 18, 37	10, 38 37, 49	10, 14 35, 40	1, 35 19, 35	28, 27 18, 40	5, 34 31, 35	-	6, 29 4, 38	19, 1 32	35, 12 34, 31	-	12, 36 18, 31		
2	Вес неподвижного объекта	-	-	-	10, 1 29, 35	-	35, 30 13, 2	5, 35 14, 2	-	8, 10 19, 35	13, 29 10, 18	13, 10 29, 14	26, 39 1, 40	28, 2 10, 27	-	2, 27 19, 6	28, 19 32, 22	35, 19 32	-	18, 19 28, 1	15, 19 18, 22			
3	Длина подвижного объекта	8, 15 29, 34	-	-	-	15, 17 4	-	7, 17 4, 35	-	13, 4 17, 10	17, 10 8	10, 38 35	10, 14 15, 29	1, 35 15, 34	28, 27 29, 34	5, 34 19	-	6, 29 19	19, 1 32	35, 12 24	-	12, 36 1, 35		
4	Длина неподвижного объекта	-	35, 28 40, 29	-	-	-	17, 7 10, 40	-	35, 8 2, 14	-	28, 10 2, 14	1, 14 35	13, 14 15, 7	39, 37 35	15, 14 28, 26	-	1, 40 35	3, 35 38, 18	3, 25 15, 32	-	-	12, 8		
5	Площадь подвижного объекта	2, 17 29, 4	-	14, 15 18, 4	-	-	-	7, 14 17, 4	-	29, 30 4, 34	19, 30 35, 2	10, 15 35, 28	5, 34 29, 4	11, 2 13, 39	3, 15 40, 14	6, 3	-	2, 15 16	15, 32 19, 13	19, 32	-	19, 10 30, 18		
6	Площадь неподвижного объекта	-	30, 2 14, 18	-	26, 7 9, 39	-	-	-	-	-	1, 18 35, 36	10, 15 36, 37	-	2, 38 40	-	-	2, 10 19, 30	35, 39 38	-	-	-	17, 32		
7	Объем подвижного объекта	2, 26 29, 40	-	1, 7 35, 4	-	1, 74 17	-	-	-	29, 4 38, 34	15, 35 36, 37	6, 35 36, 37	1, 15 29, 4	28, 10 1, 39	9, 14 15, 7	6, 35 4	-	34, 39 10, 18	10, 13 2	35	-	35, 6 13, 18		
8	Объем неподвижного объекта	-	35, 10 19, 14	-	35, 2 14	-	-	-	-	2, 18 37	24, 35 24, 35	7, 2 35	34, 28 35, 40	9, 14 17, 15	-	35, 34 38	35, 6 4	-	-	-	-	30, 6		
9	Скорость	8, 28 13, 38	-	13, 14 8	-	29, 30 34	-	7, 29 3	-	-	13, 28 15, 19	6, 18 38, 40	35, 15 18, 34	28, 33 1, 18	8, 3 26, 14	3, 19 35, 5	-	28, 30 36, 2	10, 13 19	8, 15 35, 38	-	19, 35 38, 2		
10	Сила	5, 1 37, 15	15, 13 1, 28	17, 19 9, 38	28, 10 15	10, 15 36, 37	1, 18 12, 37	2, 36 18, 37	13, 28 15, 12	-	16, 21 11	35, 10 40, 34	35, 10 21	35, 10 14, 27	19, 2	-	-	35, 39 19, 2	14, 24 10, 37	-	-	10, 35 14		
11	Напряженность давления	10, 38 37, 40	13, 29 10, 18	35, 10 36	15, 15 14, 16	10, 15 36, 28	6, 35 36, 37	10 35, 24	-	35, 24 36	36, 35 21	-	35, 4 15, 10	35, 33 2, 40	9, 18 3, 40	19, 3 27	-	35, 39 19, 2	14, 24 10, 37	-	-	10, 35 14		

Рис. 4. Фрагмент таблицы выбора приемов устранения технических противоречий

Рассмотрим пример.

- 1) Принцип 3 (локальное качество): разделить сердечник на зоны — массивную (для нагрузки) и облегченную (для холостого хода).
- 2) принцип 19 (периодическое действие): циклически отключать трансформатор при длительном простое.

Четвертый этап — генерация решений.

На этом этапе обучающимся необходимо предложить несколько решений поставленной задачи.

Пятый этап — оценка и выбор решения.

Обучающиеся обсуждают полученные решения и определяют их соответствие следующим критериям:

- 1) максимум эффекта при минимуме затрат;
- 2) реализуемость (стоимость, сложность);
- 3) надежность.

Шестой этап — создание модели и проверка (рис. 5).

На шестом этапе перед обучающимися стоит задача в создании цифровой модели рассматриваемого объекта. С помощью модели реализуются различные режимы работы объекта, доказываемся (количественно) улучшение проблемной характеристики объекта.

Для реализации настоящего этапа обучающиеся выбирают программное обеспечение, которое наиболее подходит для решения поставленной задачи (MATLAB/Simulink, Engae).

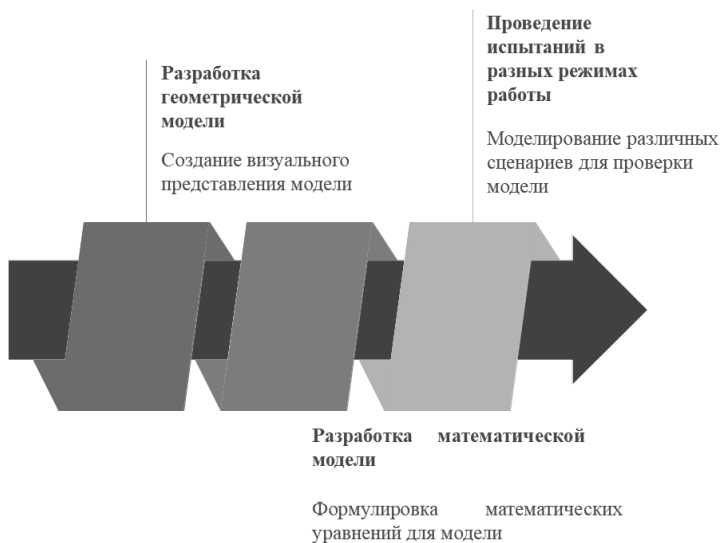


Рис. 5. Процесс создания и проверки модели

Обучающиеся по итогам работы формируют отчет о проведенном исследовании, включающий в себя описание всех этапов работы, полученные результаты и выводы. Отчет должен соответствовать требованиям, предъявляемым к научным работам в вузе.

Кроме того, обучающиеся защищают результаты исследования: представляется презентация, отражающая основные этапы работы, полученные результаты и их значимость.

В зависимости от результатов защиты обучающимся предлагается выполнить патентный поиск, чтобы убедиться в новизне предлагаемого решения и избежать нарушения авторских прав, и оформить заявку на полезную модель.

Вывод. Предложенный алгоритм может служить руководством для проведения исследовательской работы в рамках дисциплины «электрические машины» с применением ТРИЗ. Последовательное выполнение шагов алгоритма и использование методов ТРИЗ позволяет обучающимся не только углубить свои знания в области электрических машин, но и приобрести навыки самостоятельной исследовательской работы, необходимые для успешной карьеры.

Список использованной литературы

1. Гурская, Т. В. Практико-ориентированный подход в подготовке инженеров для горнодобывающих предприятий/ Т. В. Гурская, А. С. Красавин, С. В. Федорова, П. Ю. Худяков // Горный журнал. — 2018. — Вып. № 2. — С. 97–103.
2. Гин, А. А. Теория решения изобретательских задач: учеб. пособие I уровня / А. А. Гин, А. В. Кудрявцев, В. Ю. Бубенцов и др. — М.: Модерн, 2017. — 90 с.
3. Альтшуллер, Г. С. Поиск новых идей: от озарения к технологии: монография / Г. С. Альтшуллер, Б. Л. Злотин, А. В. Зусман, В. И. Филатов. — Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. — 381 с.
4. Альтшуллер, Г. С. Алгоритм изобретения / Г. С. Альтшуллер. — 2-е изд. — М.: Московский рабочий, 1973.
5. Матвеев, А. В. Применение метода композиционных противоречий ТРИЗ для поиска новых решений в области электрических машин / А. В. Матвеев // Электричество. — 2021. — № 4. — С. 34–49. — DOI 10.24160/0013-5380-2021-4-34-49. — EDN NWPUEH.

6. Фиговский, О. Инновационные системы: преимущества и проблемы / О. Фиговский // Lambert Academic Publishing. — 2018. — С. 646.

7. Альтшуллер, Г. С. О психологии изобретательского творчества / Г. С. Альтшуллер, Р. Б. Шапиро. — Вопросы психологии. — 1956. — № 6.

8. Орлов, М. А. Основы классической ТРИЗ / М. А. Орлов. — М.: Солон-Пресс, 2006. — 432 с.

УДК 378.147

В. В. Рыжаков

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

КОНЦЕПЦИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ОСНОВНЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

г. Сургут

Аннотация. В работе представлены результаты эскизного проектирования инженерных образовательных программ Сургутского государственного университета на основе продуктового подхода и обратного педагогического дизайна. Представлены результаты исследования рынка образования, описаны принципы проектирования и реализации образовательных программ, образовательные треки, структура учебного плана, целевые показатели реализации программ. В работе рассмотрены образовательные программы бакалавриата по направлениям 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» для основного проектного и дополнительного технологического типа деятельности.

Ключевые слова: *обратный педагогический дизайн, продуктовый подход в образовании, образовательный инжиниринг, инженерное образование, инженерные треки.*

V. V. Ryzhakov
Surgut State University

CONCEPT OF TRANSFORMATION OF ENGINEERING BASIC PROFESSIONAL EDUCATIONAL PROGRAMS

Surgut

Abstract. The paper presents the results of the preliminary design of engineering educational programs of Surgut State University based on the product approach and reverse pedagogical design. The results of the education market research are presented, the principles of designing and implementing educational programs, educational tracks, the structure of the curriculum, and target indicators for program implementation are described. The paper examines the educational programs of the bachelor's degree in the areas of 11.03.02 Infocommunication technologies and communication systems and 13.03.02 Electric power engineering and electrical engineering for the main project and additional technological type of activity.

Keywords: *reverse instructional design, product approach in education, educational engineering, engineering education, engineering tracks.*

Рынок инженерного образования. При разработке основной образовательной программы инженерного профиля на основе продуктового подхода определяющими является целевой рынок труда, модели построения образовательных программ основных конкурентов и ожидания целевой аудитории — абитуриентов и их родителей.

Основным рынком труда для выпускников по инженерным образовательным программам Сургутского государственного университета является региональный рынок Ханты-Мансийского автономного округа — Югры, представленный ведущими предприятиями топливно-энергетического комплекса. По статистике порядка 80% выпускников трудоустраиваются в региональные компании.

Типовая траектория профессионального и карьерного роста выпускников представлена на рис. 1.

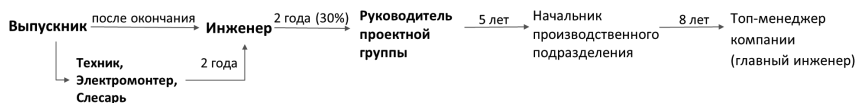


Рис. 1. Типовая траектория профессионального и карьерного роста выпускника

Порядка 70% выпускников на предприятиях топливно-энергетического комплекса трудовую карьеру начинают с должностей рабочих профессий. Это считается нормой на этих предприятиях. Считается, что технический работник должен получить практический производственный опыт для успешного решения инженерных задач в будущем.

Анализ основных конкурентов позволил выделить три типа моделей построения инженерных программ, основные характеристики которых представлены в Таблице 1.

Таблица 1. — Модели содержания образовательных программ на рынке образования

Вид модели	Модель 1. Консервативная	Модель 2. Нагруженная	Модель 3. Амбициозная	Модель 4. СурГУ
Образовательная модель профессиональной деятельности	Традиционная инженерия	Общетеchnическая подготовка	Уникальная	Системная инженерия
Специализация по объекту профессиональной деятельности	Узкий профиль	Широкий профиль	Узкий профиль	Широкий профиль в рамках профессиональной сферы деятельности
Ориентация на тренды	Не учитываются	Цифровизация	Цифровизация, Применение ИИ	Цифровизация

Образовательные практики	Инжиниринг	Инжиниринг	Инжиниринг	Инжиниринг и реинжиниринг
Подход к реализации программы	Сервисный	Сервисный/ Продуктовый	Продуктовый	Продуктовый
Вузы	СиБГУТИ, ПГУТИ, ТУ-СУР, УрФУ, НГТУ, ИГЭУ	МТУ-СИ, СПбГУТ, МЭИ, СПбПУ, ТПУ	ИТМО, Санкт-Петербургский горный университет	СурГУ
Внебюджетная стоимость обучения в год	120–185 тыс. руб.	200–320 тыс. руб.	350–800 тыс. руб.	198 тыс. руб.

В результате анализа была определена модель построения содержания образовательных программ Сургутского государственного университета с выделением следующих конкурентных преимуществ:

- формирование у выпускника компетенций по управлению проектами и производственно-технологическими процессами;
- подготовка специалистов для реализации ключевого вызова по применению современных концепций построения объектов профессиональной деятельности компаний ТЭКа;
- продуктовый подход к реализации образовательной программы;
- обеспечение возможности совмещения образования и профессиональной трудовой деятельности на старших курсах.

Анализ целевой аудитории выявил две основные группы. Их общие характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2. — Целевые группы абитуриентов

Тип целевой аудитории	Описание	Доля в контингенте абитуриентов 2024 год	Доля в контингенте абитуриентов план к 2030 году
Технологические визионеры	Амбициозные молодые люди, которые хотят быть причастными к продвижению передовых технологий в профессиональной сфере. Стремятся участвовать в инновационных проектах и разрабатывать продукты, влияющие на развитие технологий. Предпочитают программы с упором на исследования, инновации, доступ к современному оборудованию, сотрудничество с технологическими компаниями. Привлекает в процессе обучения освоение новейших технологий, обеспечивающих личные конкурентные преимущества при построении карьеры в ведущих инфокоммуникационных компаниях. Активно изучают тренды, участвуют в хакатонах, читают технические блоги, стремятся к самообразованию и внедрению инноваций. Обладают средними баллами ЕГЭ в диапазоне 70–80 (средний — 75)	15%	65%

Прагматичные специалисты	Ориентированы на получение профессии с высоким стабильным спросом на рынке труда. Ценят возможность выбора из широкого ассортимента профессиональных должностей и работодателей. Стремятся к гарантированному трудоустройству и построению быстрой карьеры. Как правило, жители небольших муниципальных образований, в которых нет своих университетов. Самостоятельные, готовы к смене места жительства для построения трудовой карьеры. Интересуются, но не увлекаются информационными технологиями. Понимают математику и физику в рамках школьной программы. Обладают средними способностями с баллами ЕГЭ в диапазоне 55–70 (средний — 62,5)	85%	35%

Используемая модель инженерного образования. В результате концептуального проектирования образовательных программ была разработана модель содержания инжиниринговой деятельности как образовательной практики, то есть модель подготовки будущего инженера-проектировщика, представленная на рис. 2.

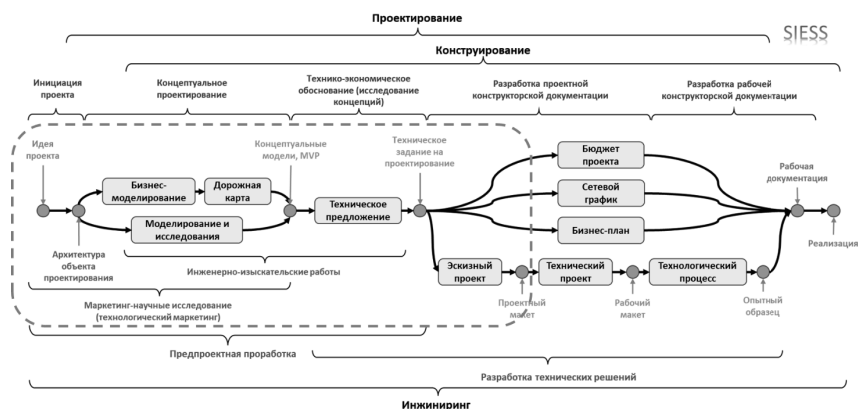


Рис. 2. Модель инжиниринга как образовательной практики

Модель была разработана на основе стандартов, регламентирующих инженерно-проектную деятельность, таких как ЕСКД, ЕСПД, ЕСТД, СПДС, СНиП, Постановление Правительства РФ № 87, CDIO, IEA, ISO/IEC, IEEE.

Красным пунктиром обозначены те этапы инженерно-технического проектирования, обучение которым заложено в проектируемые образовательные программы. В целом образовательные программы ориентированы на освоение компетенций по реализации инженерно-технического проектирования на этапе эскизного проекта согласно ЕСКД.

Бизнес-модель образовательных программ. Расчет экономических параметров реализации образовательных программ представлен в сводной таблице 3.

Результаты расчета экономической эффективности реализации образовательных программ представлены графиками на рис. 3.

Таблица 3. — Сводный расчет экономических параметров образовательных программ

Трудоемкость программы или 1 курса программы в з.е.		240	Распределение нагрузки студента в соответствии с БУП и РУП программы					
Учащиеся по учебному плану программы	з.е.	Доля в учебн	% суммируются горизонт	% суммируются горизонтально	Справочно			
Дисциплины		100%	Контактная	Самостоятел	Лекции	Семинары, п	Другие форм	Часы других
Обязательные	180	75%	38%	62%	28%	59%	13%	320
По выбору студента	12	5%	38%	62%	0%	75%	25%	41
Научно-исследовательская и проектная работа	38	16%	20%	80%	0%	24%	76%	210
Государственная итоговая аттестация (ВКР)	10	4%						
Эквивалент 1 з.е. в часах учебной нагрузки для студента	36		19	Количество обязательных дисциплин учебного плана				43
Нормативный срок освоения программы, в полных годах	4		20	Количество дисциплин по выбору учебного плана, которые студент должен выбрать за время				4
Бюджетное финансирование на 1 студента в год	489 000		21	Размер одной семинарной группы моделируемой программы, чел.				12
Стоимость платного обучения на 1 студента в год	198 000		22	Размер "потоков" или потоковых аудиторий или нормативных ограничений для онлайн лекций, чел.				400
Предполагаемая доля платных студентов в общей численности учащихся программы	10%		23	Норматив расчета пед.нагрузки за час лекций в вузе, часы				1,0
Учебная нагрузка ППС на 1 ставку, часов в год	862		24	Норматив расчета пед.нагрузки за час семинарских занятий в одной группе, часы				0,5
Усредненный размер оплаты ППС на одну ставку, руб в месяц	110 000		25	Усредненный норматив расчета пед.нагрузки за консультирование, проверку заданий и аттестацию				0,5
Суммарная ставка налогов на ФОТ, %	30,2%		Справочно: отклонение часов пед.нагрузки на консультирование и контроль					0,07
Доля ФОТ ППС с начислениями в бюджете программы, %	47%		26	Усредненный норматив расчета пед.нагрузки за руководство НИПР (проекты, практики, КР и т.п.) в				6,0
Количество кредитов онлайн дисциплин типа МООС, включенных в учебный план в качестве обязательного выбора, з.е.	24		Справочно: отклонение часов пед.нагрузки за руководство НИПР к часам других форм					0,0
Усредненная стоимость покупки 1 з.е. на 1 студента для обучения на онлайн дисциплине (по договору с другой организацией или по	625		27	Норматив расчета пед.нагрузки за руководство ВКР на 1 студента в часах				20,0
Количество кредитов дисциплин ИУП, передаваемое в другие программы внутри вуза для использования больших потоков и групп	108		28	Количество дополнительных курсов по выбору, запускаемых и реализуемых в программе сверх				2
Количество дисциплин ИУП, передаваемых в другие программы внутри вуза для использования больших потоков и групп обучения	26		Справочно: количество з.е. дополнительно запускаемых курсов по выбору					6

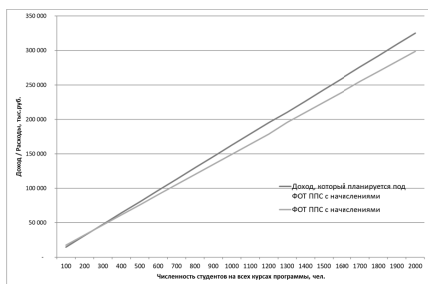
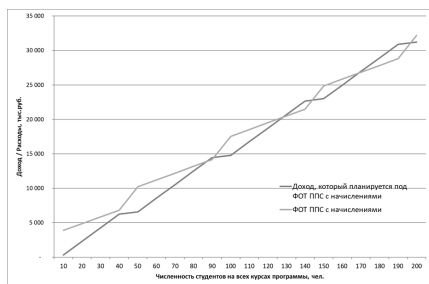


Рис. 3. Экономическая эффективность реализации образовательных программ

Оценка экономической эффективности позволила определить следующие укрупненные целевые параметры реализации образовательных программ:

- Первая точка безубыточности — 90 обучающихся;
- Точка устойчивой безубыточности — 300 обучающихся;

- Доля заработной платы в объеме финансирования — 46%;
- Рентабельность реализации образовательных программ — +1,72%.

Структура учебного плана. При разработке структуры учебного плана образовательных программ учитывались два типа профессиональной деятельности, на которые ориентированы образовательные программы.

Проектный тип деятельности — реализация инжиниринговых проектов на стадии эскизного проектирования. Проектная деятельность декомпозировалась на следующие сферы деятельности инженера-проектировщика:

- Project Management (управление проектами) — ядро образовательной программы, формирование качеств личности.
- Project Design (проектный дизайн) — инжиниринг и реинжиниринг технических объектов:
 - Development (разработка) — системотехнический проектный трек.
 - Construction (конструирование) — схемотехнический конструкторский трек.
 - Innovation (инновации) — проектный трек реинжиниринга.

Технологический тип деятельности — техническое обслуживание и ремонт объектов профессиональной деятельности, при этом осуществляется освоение основ деятельности в рамках обучения рабочим профессиям.

Учебный план подразумевает реализацию образовательных треков, структура которых представлена на рис. 4.

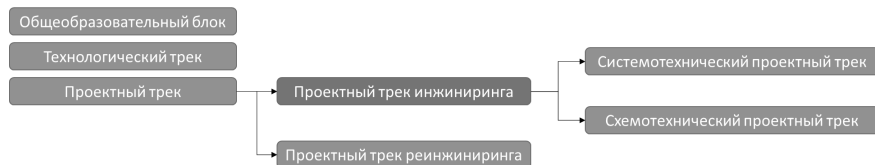


Рис. 4. Образовательные треки программ

Детализация учебного плана представлена в таблице 4.

Таблица 4. — Детализация учебного плана

Тип дисциплин		Вид дисциплин	Параметры	
Ядро образовательной программы				
	Общеобразовательный блок	Обязательные дисциплины, формирующие УК	10 дисциплин со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа	
	Проектный трек	Дисциплины НИПР, формируют УК и ПК	4 дисциплины со средними показателями — 6 з. е., практики — 2 часа	
Общепрофессиональный блок				
	Системотехнический проектный трек	Обязательные дисциплины, формирующие ОПК	8 дисциплин со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа	
	Схемотехнический конструкторский трек	Обязательные дисциплины, формирующие ОПК	4 дисциплины со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа	
Профессиональный блок				
	Проектный трек			
		Системотехнический проектный трек	Обязательные дисциплины, формирующие ПК	10 дисциплин со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа
		Схемотехнический конструкторский трек	Обязательные дисциплины, формирующие ПК	7 дисциплин со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа
		Проектный трек реинжиниринга	Обязательные дисциплины, формирующие ПК	3 дисциплины со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа
	Технологический трек		Дисциплины по выбору, формирующие ПК	4 дисциплины со средними показателями — 3 з. е., лабораторные — 32 часа

Практики			
	Схемотехнический конструкторский трек	Обязательные дисциплины, формирующие ПК	1 дисциплина со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа
	Технологический трек	Обязательные дисциплины, формирующие ПК	2 дисциплины со средними показателями — 4 з. е., лекции — 16 часов, практики и лабораторные — 32 часа
	Проектный трек инжиниринга	Дисциплины НИПР, формируют ПК	4 практики со средними показателями — 3,5 з. е., практики — 2 часа
Факультативы	Факультативные курсы	2 дисциплины по 3 з. е.	
Государственная итоговая аттестация			
	Госэкзамен и ВКР		10 з. е.

При проектировании учебного плана приняты показатели образовательных программ, представленные в таблице 5.

Итоговые ключевые параметры программы с учетом обеспечения экономической эффективности:

- Доля фонда оплаты труда профессорско-преподавательского состава с начислениями в бюджете программы — 47%;
- Норматив расчета педагогической нагрузки за час семинарских занятий — 0,5;
- Размер одной семинарской группы — 12 человек;
- Доля платных студентов в общей численности обучающихся — 10%.

Образовательные треки. В основу образовательной программы заложены два основных трека — проектный (инжиниринга) и технологический. Образовательные треки поддерживаются содержательно связанными предметами учебного плана. Проектный образовательный трек представлен на рис. 5, а технологический образовательный трек — на рис. 6.

Таблица 5. — Параметры образовательных программ

Структура учебного плана программы	з. е.	Распределение нагрузки студента			Распределение нагрузки в среднем по дисциплинам					
		100%	Контактная работа с преподавателем	Самостоятельная работа	з. е. на дисциплину	Лекции		Практики, лабораторные	Другие формы кон- тактной работы	Контакт- ные часы на дисципли- ну на студента
Дисциплины	240									
Обязатель- ные — 40 дисциплин, 3 практики	180	75%	38%	62%	4,19	28%	16 часов	59% 32 часа	13%	7,4 часов
По выбо- ру студента — 4 дисциплины	12	5%	38%	62%	3	0%	0	32 часа	25%	4,1 часа
Научно-ис- следователь- ская и про- ектная рабо- та (НИИР) — 4 дисциплины, 4 практики	38	16%	20%	80%	4,75	0%	0	24% 8 ча- сов	76%	26,25 часов
Государствен- ная итоговая ат- тестация (ВКР)	10	4%								20 часов

Проектный трек инжиниринга



Рис. 5. Проектный образовательный трек инжиниринга

Технологический трек



Рис. 6. Технологический образовательный трек

Заключение. Рассмотренный подход к формированию образовательных программ позволил реализовать следующие ключевые особенности реализации проектного трека инжиниринга:

1. Реализация проектного трека в рамках научно-исследовательской и проектной работы (НИПР) — 4 дисциплины, 4 практики, реализуемые последовательно с 1-го по 8-й семестры.

2. Контактные часы на дисциплину научно-исследовательской и проектной работы на студента, не входящие в аудиторную нагрузку, — 26,25 часов.

3. Определение для каждого обучающегося начиная с 1-го семестра руководителя из числа научно-педагогических работников.

4. Формирование горизонтальных связей между курсами за счет организации работы студенческих проектных команд под руководством научно-педагогических работников.

Для сохранения и увеличения контингента на заочном отделении, поскольку в регионе наблюдается устойчивый спрос на реализацию этой образовательной формы, возникает задача разработки на основе образовательного контента основной профессиональной образовательной программы с бюджетным финансированием версии электронной основной профессиональной программы для заочного отделения.

Предполагается разработка на основе образовательного контента основной профессиональной образовательной программы с бюджетным финансированием коммерческих курсов дополнительного профессионального образования и курсов повышения квалификации:

- В сфере образования — программа повышения квалификации по реализации инжинирингового проектирования;
- В сфере обучения — курсы профессиональной переподготовки для наставника проектной команды в инжиниринге;
- В сфере подготовки — дополнительное профессиональное образование по рабочим профессиям 2–4 разрядов и специализированные узкопрофильные курсы повышения квалификации по освоению отдельных прикладных компетенций.

Список использованной литературы

1. Рыжаков, В. В. Основные этапы, результаты и внутренние объекты инжинирингового проекта при реализации образовательного процесса кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина, Н. Н. Герасимова // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России, Сургут, 18–19 апреля 2024 года : сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. — Москва, 2024. — С. 348–355.

2. Рыжаков, В. В. Проектирование мотивационной среды для современного образования в школе инновационного научно-технологического центра «UNITY PARK» в городе Сургуте / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Современный ученый. — 2025. — № 2. — С. 301–309.

3. Рыжаков, В. В. Как Югра строит будущее: от экономической уникальности к образовательным инновациям / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Успехи гуманитарных наук. — 2024. — № 10. — С. 215–221.

4. Рыжаков, В. В. Разработка архитектуры инженерно-технических объектов / В. В. Рыжаков // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России : сборник трудов IV Международной научно-практической конференции, Сургут, 20–21 апреля 2023 года. — Москва: Знание-М, 2023. — С. 722–727.

5. Рыжаков, В. В. Порядок выполнения раздела по технологическому маркетингу программы круглогодичной инженерно-технической школы «SIESS: промышленный инжиниринг» в рамках вводного курса «Креативный промышленный инжиниринг» / В. В. Рыжаков // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России. Сургут, 21–22 апреля 2022 года: сборник научных трудов III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Москва, 2022. — Москва: Знание-М, 2022. — С. 454–458.

6. Рыжаков, В. В. 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 / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Педагогическое образование. — 2022. — Том 3. — № 6. — С. 15–20.

7. Кондрашкина, Е. Г. 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. Сургут, 22–23 апреля 2021 года: сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва: Знание-М, 2021. — С. 347–352.

8. Рыжаков, В. В. 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.

9. Кондрашкина, Е. Г. Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков // Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, Ч. Х. Чаппаров // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России. Сургут, 23–24 апреля 2020 года: сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции. — Москва: Знание-М, 2020. — С. 357–361.

10. Рыжаков, В. В. Разработка модели бизнес-процесса по экспертизе проектных инициатив Технопарка в сфере высоких технологий / В. В. Рыжаков, А. А. Семенов // Качество. Инновации. Образование: Европейский центр по качеству, 2019. — № 2 (160). — С. 37–46.

11. Рыжаков, В. В. Проектный центр индивидуальных образовательных стратегий обучающихся инженерного профиля / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Современное педагогическое образование. — 2018. — № 3. — С. 71–74.

12. Рыжаков, В. В. Полный жизненный цикл технического проектирования в инженерном образовании / В. В. Рыжаков, Е. Г. Кондрашкина // Международная мультikonференция «Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании». Санкт-Петербург, 04–06 июля 2016 года. — Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2016. — С. 93–98.

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.391

О. В. Серебренников

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

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ШКАФОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ AIoT

г. Сургут

Аннотация. В статье представлен теоретический обзор разрабатываемой базы данных для телекоммуникационного шкафа, представлено сравнение традиционных методов учета информации с цифровым, приведены достоинства и недостатки данных методов.

Ключевые слова: *электронная база данных, электронный журнал коммутации, чат-бот, NFC-метка, QR-код.*

Serebrennikov O.V.

BUVO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DATABASE OF TELECOMMUNICATION CABINETS WITH APPLICATION OF TECHNOLOGY AIoT

Surgut

Abstract. The article presents a theoretical review of the developed database for telecommunication cabinets. database for the telecommunication cabinet, the comparison of traditional methods of information accounting with the digital one, advantages and disadvantages of these methods.

Keywords: *electronic database, electronic switching log, chat bot, NFC tag, QR code.*

Современные телекоммуникационные компании и подразделения зачастую ведут исключительно бумажный источник отчетности и хранения информации, к таким источникам относятся схемы фасада, журналы коммутации, схемы электропитания телекоммуникационного шкафа (далее — ТШ). К сожалению, бумажные схемы и журналы обладают рядом серьезных недостатков, так как сотрудники технического обслуживания ТШ могут забывать вносить изменения в журнал, а также допускать исправления, поправки, что, в свою очередь, ведет к снижению актуальности данных. Кроме того, журнал можно потерять, деформировать — это говорит о его физической уязвимости, к тому же только один человек может работать с журналом, удаленного доступа также не предусмотрено. Крайне редко создаются резервные копии бумажных журналов, а их, в свою очередь, также нужно своевременно актуализировать. Цифровая база данных не имеет вышеперечисленных недостатков, она более гибкая и комфортная в использовании. Для того чтобы получить к ней доступ из любого телекоммуникационного шкафа, будет применяться NFC-метка [1] совместно с QR-кодом [2] выступающим в качестве резервной точки входа в базу данных.

Электронная база данных может включать в себя:

- электронный журнал коммутации, который фиксирует переключения, содержит историю изменений;
- схемы ТШ, они имеют формат PDF-изображений (схемы электропитания, фасад, кроссы);
- аварийные инструкции, порядок действий в случае аварии;
- паспорт оборудования (серийные номера, даты технического обслуживания, контакты ответственных).

Целью работы является рассмотрение теоретической возможности внедрения электронной базы данных с применением АИот технологий в телекоммуникационный шкаф.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- обзор технологий, применяемых в базе данных;
- анализ достоинств и недостатков.

Основные теоретические понятия.

Доступ к данным, как упоминалось ранее, будет реализован с помощью NFC-меток.

NFC-метки представляют собой антенны на гибкой основе, диаметр которых составляет всего 25 мм, благодаря чему ее очень удобно разместить внутри ТШ. Основными функциями NFC-меток являются:

- внесение данных в электронный журнал коммутации;
- контроль доступа (привязка ID сотрудника через NFC-метку);
- обновление статуса оборудования.

Пример антенны на гибкой основе представлен на рис. 1.

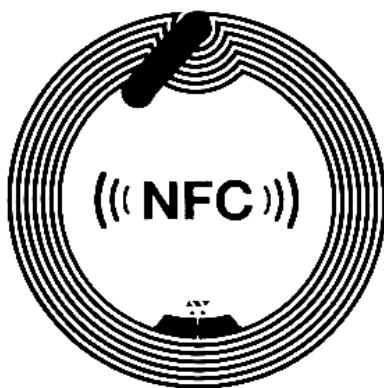


Рис. 1. NFC-антенна на гибкой основе

Достоинства:

- высокая скорость;
- возможность перезаписи;

- безопасность;
- низкая стоимость.

Недостатки:

- ограниченная дальность;
- небольшой объем памяти (4 КБ).

QR-код содержит в себе информацию — например, ссылку на электронную базу данных.

По сути, представляет собой графическое кодирование информации. Максимальное количество информации, которую может содержать в себе QR-код:

- количество цифр — до 7089;
- английских символов — до 4276;
- иных символов — до 2953.

Основными функциями QR-кода являются:

- просмотр схем и документации;
- резервный доступ к электронной базе данных;
- возможность передавать закодированную информацию.

Пример QR-кода на графической основе представлен на рис. 2.



Рис. 2. QR-код

Достоинства:

- доступность;
- надежность;

- простота генерации;
- универсальность.

Недостатки:

- требуется смартфон с камерой;
- только для чтения;
- нет встроенного шифрования;
- содержит небольшой объем данных.

Чат-бот [3] — это программа, имитирующая человеческое общение через текстовые или голосовые интерфейсы. В основе лежит искусственный интеллект (ИИ) и предопределенные сценарии для ответов на вопросы пользователей. Предполагается, что чат-бот будет использовать базу данных для ответа на запросы технического персонала. Предпочтительнее использовать правилоориентированный чат-бот, поскольку он работает по заранее заданным сценариям, использует алгоритмы сопоставления ключевых слов, а также подходит для систем опроса.

Достоинства:

- круглосуточная работа;
- быстрота ответа;
- снижение операционных задач;
- масштабируемость.

Недостатки:

- риск ошибки;
- зависимость от сценариев.

Основная проблема заключается в низкой актуализации данных и вероятности потери данных у бумажных носителей информации. Использование NFC-меток позволит исключить несвоевременное поступление данных, а QR-код обеспечит надежное резервирование точек входа в базу данных, оперативное поступление информации до электротехнического персонала обеспечит чат-бот, так, например, можно будет получить полный перечень действий в случае аварии в конкретном ТШ или общем случае.

Рассмотрим взаимодействие каждого компонента с технологией доступа к ним.

В таблице 1 приведены компоненты и технологии доступа к ним.

Таблица 1

Компонент	Содержание	Технология доступа
ЭЖК (Электронный журнал коммутации)	Фиксация переключений, история изменений	NFC (основное), QR (резерв), чат-бот
Схемы ТШ	PDF/изображения: электропитание, фасад, кроссы	
Аварийные инструкции	Текст/чек-листы действий при авариях	
Паспорт оборудования	Серийные номера, даты ТО, контакты ответственных	

Как легко видеть, каждая технология доступа легко дополняет другую.

Поскольку QR-код и NFC-метка имеют небольшие размеры, то расположить их внутри ТШ достаточно просто, сделать это можно в формате бирок, иначе приклеить на любую свободную поверхность, однако в случае с QR-кодом потребуется учесть достаточное освещение для корректного считывания. Электронная база данных достаточно гибкая, удаленный доступ позволит заранее знать то, что находится в ТШ, даже при условии его нахождения глубоко под землей, где доступ к Интернету затруднен. Проанализировав вышеизложенное, можно выделить достоинства и недостатки электронной базы данных.

Достоинства:

- автоматизация процессов, мгновенное обновление данных, исключение человеческого фактора, автоматическое формирование отчетов;
- удобство доступа, быстрый поиск информации, доступ из любой точки;
- надежность хранения, резервное копирование данных, ведение истории изменений;
- экономическая эффективность, уменьшение времени на поиск информации.

Недостатки:

- технические требования, требования к квалификации персонала, необходимость интернет-соединения;
- риск кибератак, необходимость защиты данных;
- первоначальные затраты, необходимость обслуживания системы.

В таблице 2 приведено наглядное сравнение электронной базы данных с бумажным носителем.

Таблица 2

Критерий	Электронная база данных	Бумажный носитель
Скорость доступа	Мгновенный	Требуется физический поиск
Актуальность данных	Реальное время	Возможность устаревания
Защита от потерь	Резервные копии	Риск физического уничтожения
Возможность анализа	Автоматизированная аналитика	Ручная обработка
Стоимость	Высокие первоначальные затраты	Низкая стоимость

Таким образом, поставленные задачи были выполнены, цель достигнута. Использование электронной базы данных с применением технологий АИот значительно превосходит бумажные аналоги по эффективности, обладает высокой надежностью хранения данных, удобно в плане доступа, дает возможность вести историю изменений, обеспечивает удаленный доступ к обслуживаемому объекту, однако стоит учитывать тот факт, что любая электронная база данных может быть подвергнута атаке хакеров. Чтобы предотвратить это, нужно обеспечить надежную защиту данных, чему способствует использование зашифрованных QR-кодов.

Список использованной литературы

1. Ковалёв, А. И. Молодой ученый. [Электронный ресурс]. — № 10 (114). — URL: <https://moluch.ru/archive/114/29398/> (дата обращения: 20.04.2025) — Текст: электронный.
2. Карнаухов, В. Н. Технология Near Field Communications (NFC) [Электронный ресурс] / В. Н. Карнаухов, О. С. Безнос. — URL: https://toptechologies.ru/article/view?id=34148&utm_source=bing.com&utm_medium=organic&utm_campaign=bing.com&utm_referrer=bing.com (дата обращения: 18.04.2025) — Текст: электронный.
3. Агамалиев, Р. От «Энигмы» до ChatGPT / Р. Агамалиев. — URL: <https://library.cbr.ru/catalog/lib/books/945511/> (дата обращения: 21.04.2025) — Текст: электронный.

УДК 621.315.1

Н. С. Руснак

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

г. Сургут

Аннотация. В начале статьи обозначается текущая значимость энергоснабжения в современном мире. Далее описывается предназначение воздушной линии, вводятся определения объектов критически важной инфраструктуры, а также рассматриваются причины возникновения аварийных ситуаций. Затем рассматривается актуальность и приводится короткая выдержка из открытой статистики аварий на воздушных линиях электропередачи. В статье обозначена проблема, потребители, их потребности, а также решение, которое их устраивает. Приводится предлагаемое решение, которое представляет собой проектирование модуля автоматического мониторинга с определенным количеством датчиков, таких как температура провода, температура и влажность окружающего воздуха, угол наклона провода, индикация наличия гололедных отложений и состояние линии питания. После этого описывается схема взаимодействия элементов производственного процесса с использованием предлагаемого модуля. В статье отражены функции модуля мониторинга: непрерывный мониторинг датчиков и передача данных, собранных с датчиков. Приводится описание логической архитектуры модуля мониторинга воздушной линии электропередачи, которая включает в себя модуль передачи данных, систему питания, блоки корпуса и крепления, а также модуль опроса датчиков. Сделан вывод о преимуществах внедрения разрабатываемого модуля автоматического мониторинга.

Ключевые слова: *воздушные линии электропередачи, контроль параметров, мониторинг.*

N. S. Rusnak

BU VO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

DESIGN OF AN AUTOMATIC MONITORING MODULE FOR OVERHEAD POWER LINES

Surgut

Abstract. The paper begins by outlining the current importance of power supply in the modern world. Next, the purpose of overhead lines is described, definitions of critical infrastructure are introduced, and the causes of accidents are discussed. The relevance is then discussed and a short excerpt from publicly available statistics on overhead line accidents is given. The paper identifies the problem, the consumers, their needs, and the solution that suits them. The proposed solution is given, which is the design of an automatic monitoring module with a certain number of sensors such as: wire temperature, temperature and humidity of the ambient air, the angle of inclination of the wire, indication of the presence of ice deposits and the state of the power line. After that the scheme of interaction of elements of the production process using the proposed module is described. The paper reflects the functions of the monitoring module: continuous monitoring of sensors and transmission of data collected from sensors. A description of the logical architecture of the overhead power line monitoring module is given, which includes a data transmission module, a power supply system, housing and mounting blocks, and a sensor interrogation module. It is concluded about the advantages of implementing the developed automatic monitoring module.

Keywords: *overhead power lines, parameter control, monitoring.*

В современном мире электрооборудование используется повсеместно и в бытовых задачах, и в задачах на производстве. Для электрооборудования необходимо доставить электроэнергию — такую задачу выполняют воздушные линии электропередачи.

Линия электропередачи предназначена для передачи электроэнергии от объектов генерации к преобразовательным и распреде-

лительным узлам, а также для связи смежных энергосистем. Существуют системы, на которые перебои электроснабжения не оказывают значительного ущерба, но существуют и объекты критической инфраструктуры, для которых перебои в энергоснабжении недопустимы. В суровых климатических условиях возрастает вероятность перебоев в энергоснабжении вследствие аварий на воздушных линиях, вызванных различными факторами: град, оледенение, перенапряжение, которые приводят к обрыву проводов воздушных линий электропередач.

Актуальность работы заключается в том, что в текущих реалиях отсутствуют эффективные системы мониторинга, которые позволят производить непрерывный контроль состояния линии и ее критических показателей, что не обеспечивает своевременного принятия мер по предотвращению аварийных ситуаций. Так, например, в открытой статистике аварий на воздушных линиях электропередач компании «Россети Кубань», зафиксированных на объектах в 2018 году, имели место 23 случая аварий с влиянием гололедных образований и 57 случаев, связанных с перенапряжением [1].

Проблема заключается в том, что применяемые в настоящее время способы мониторинга систем энергоснабжения потребителей не обеспечивают необходимого уровня осведомленности о состоянии воздушной линии электропередачи. Частые аварийные ситуации не дают энергоснабжающим компаниям избежать значительных экономических потерь и иметь систему, стабильно выполняющую свои функции.

В качестве решения проблемы предлагается модуль автоматического мониторинга. Модуль представляет собой оснащенный передатчиком и датчиками блок, который производит мониторинг температуры провода, температуры и влажности окружающего воздуха, угла наклона провода, индикации наличия гололедных отложений и состояния линии питания.

Предлагаемый модуль может быть востребован не только энергокомпаниями, имеющими риски, связанные с образованием наледи и другими негативными воздействиями на воздушных линиях электропередачи, но и компаниями-разработчиками решений мониторинга воздушных линий электропередач. Потребителями являются государственные органы, энергоснабжающие компании и персонал, обслуживающий воздушные линии электропередачи. Государственные органы, регулирующие энергетическую отрасль, требуют соблюдения нормативов при эксплуатации воздушной линии электропередачи. Энергоснабжающие компании хотят надежности линии с минимальными затратами, при этом используя персонал, который будет осуществлять постоянный мониторинг линии. Персоналу, обслуживающему воздушные линии электропередачи, необходимо поддерживать линию в надлежащем состоянии, но при этом он не может обеспечить частый осмотр линии и абсолютную ее надежность, то есть сохраняется вероятность возникновения критических параметров и их несвоевременного обнаружения. Таким образом, модуль мониторинга позволит выполнять контроль состояния линии, который нужен обслуживающему персоналу и энергоснабжающим компаниям. При этом энергоснабжающая компания будет тратить меньше средств, предоставляя транспорт и другие необходимые ресурсы. Обслуживающему персоналу потребуется научиться эксплуатировать модуль и принимать решения по очистке либо устранению критических параметров воздушной линии. Эксплуатация воздушных линий будут соответствовать нормативам, что требуется государственным органам.

При внедрении предложенного модуля в производственный процесс схема взаимодействия его элементов выглядит так: государственные органы, регулирующие энергетическую отрасль, создают нормативные документы, на основании которых энергоснабжающие компании организуют мероприятия в пределах своей зоны ответственности, отдавая указания обслуживающему персоналу

и выделяя средства на модуль мониторинга ВЛ, а также на его эксплуатацию. Модуль фиксирует состояние воздушной линии и окружающей среды. Затем осуществляет сбор с ближайших ВЛ и передает данные в удаленный диспетчерский центр (GSM/LoRa). Следом с удаленного центра производится передача данных, собранных с модулей, в диспетчерский центр. В модуле реализованы способы обеспечения непрерывного мониторинга, специальные конструктивные решения, специальное механическое крепление и способы минимизации влияния модуля на ВЛ. Устройство контролирует наличие критических параметров и сигнализирует об их появлении. Обслуживающий персонал — при уведомлении о наличии критических параметров — осуществляет работы по предотвращению аварийной ситуации. Помимо таких работ, при выходе из строя модуля проводит мероприятия по его ремонту или замене.

Модуль выполняет две основные функции. Первой функцией является непрерывный мониторинг датчиков. При запросе на получение данных о состоянии линии контроллер запускает алгоритм опроса датчиков, который включает обработку запроса, код запроса на опрос датчиков с обработкой кода и создание задачи для каждого датчика модуля. После получения данных с датчиков контроллер их собирает и структурирует. При завершении сбора данных производится генерация выполнения повторного опроса.

При запросе на получение данных с датчика сухого контакта выполняется контроль наличия сигнала с датчика. При срабатывании датчика формируется сигнал оповещения о переходе на резервное питание.

Второй функцией является передача данных, собранных с датчиков. Собранные данные радиопередатчик передает на удаленный диспетчерский центр (LoRa/GSM), где производится обработка и соединение данных со всех ближайших модулей. Таким образом информация о состоянии всех ближайших линий проверяется на наличие всех параметров и их критичность. В случае потери данных

реализуется запрос на повторную отправку. Уже обработанные данные передаются в диспетчерский центр и отображаются в системе мониторинга.

Логическая архитектура модуля мониторинга воздушной линии электропередачи включает в себя модуль передачи данных, систему питания, блоки корпуса и крепления, а также модуль опроса датчиков (контроллер), который является ключевым блоком. Система питания состоит из трансформатора, реализующего гальваническую развязку, датчика сухого контакта и аккумулятора. С помощью изолированного трансформатора напряжение, поступающее от воздушной линии электропередачи, трансформируется до необходимого значения и подается далее на аккумулятор и на датчик контроля питания. Корпус модуля не проводит ток, покрыт гидрофобным покрытием, материал должен выживать в суровых условиях. Корпус держится на линии с помощью крепления, которое фиксируется через стальные нержавеющие болтики. Между креплением и линией находится эластичная накладка. Модуль будет крепиться на проводе ближе к опоре.

В заключение следует отметить, что при использовании предлагаемого решения оптимизируются эксплуатационные расходы, а также повысится общая надежность энергоснабжения и, как итог, снизятся затраты на устранение аварий.

Список использованной литературы

1. Информация по аварийности электросетевых объектов ПАО «Кубаньэнерго» за 2018 год: сайт. — 2018. — URL: https://rosseti-kuban.ru/media/files/2019/03/13/20186/file_5c88effa727808.05746650.pdf (дата обращения: 16.03.2025). — Текст: электронный.
2. Проблемы и задачи современной электроэнергетики: сайт. — 2020. — URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44593604_84309823.pdf (Дата обращения 05.03.2025). — Текст: электронный.

УДК 621.39

Ю. А. Макаров

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

ОБЪЕДИНЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ
ДОСТУПОМ И СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ
ОБРАТНОЙ СВЯЗИ И УПРОЩЕНИЯ КОНТРОЛЯ СИСТЕМ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается необходимость реализации системы контроля и управления доступом, а также системы оповещения на объектах организации, где они требуются. Освещается потребность организаций в использовании сразу двух систем. Оцениваются затраты и необходимые действия для реализации двух систем на производстве и оценка вероятностей разных событий. В статье обозначена проблема, потребители, их потребности, а также решение, которое их устраивает. Приводится предлагаемое решение, которое включает в себя объединение системы контроля и управления доступом и системы оповещения в единую систему для минимизации затрат на обслуживание, а также увеличения оперативности взаимодействия организации потребителя систем с рабочим персоналом. В статье отражен предлагаемый способ объединения систем, которые характеризуется интеграцией системы оповещения в измененную систему контроля и управления доступом. Доступ и оповещение осуществляется с помощью блока оповещения и доступа, который имеет источник питания, плату оповещения и управления доступом, блоки взаимодействия с пользователем и разъем для подзарядки аккумулятора. Также учтена вероятность несанкционированного доступа при использовании блока оповещения и доступа третьими лицами, и предложено решение, основанное на внедрении сенсора отпечатка пальца в блок для идентификации пользователя. Обозначены преимущества объединения систем. Сделан вывод, кому будет полезна технология объединенных систем.

Ключевые слова: СКУД, СО, безопасность, объединение.

Y. A. Makarov

BU VO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

COMBINING PHYSICAL ACCESS CONTROL SYSTEM
AND ALARM SYSTEMS TO IMPROVE FEEDBACK AND SIMPLIFY
SYSTEM MONITORING

Surgut

Abstract. The article discusses the need to implement an physical access control system as well as a warning system at the organisation's facilities where they are required. The need for organisations to use both systems at once is presented. The costs and actions required to implement the two systems in a production facility are estimated and the probabilities of different events are assessed. The paper identifies the problem, the consumers, their needs and the solution that suits them. The proposed solution, which involves combining the physical access control system and the warning system into a single system to minimise maintenance costs and to increase the responsiveness of the user organisation's interaction with the workforce, is presented. The paper reflects the proposed method of systems integration, which is characterised by the integration of the warning system into a modified physical access control system. Access and warning is carried out by means of the block of warning and access, which has a power source, a board of warning and access control, blocks of interaction with the user and a connector for recharging the battery. The probability of unauthorised access when third parties use the alert and access unit is also taken into account and a solution based on the introduction of a fingerprint sensor into the unit for user identification is proposed. The advantages of combining the systems are outlined. It is concluded who will benefit from the technology of unified systems.

Keywords: *PACS, AS, security, association.*

В современном мире все чаще возникает вопрос безопасной и надежной организации производственного процесса. Одними из аспектов таковой организации является предотвращение

возникновения несанкционированного доступа лиц, не имеющих доступа к производственному процессу, а также минимизация последствий и своевременное устранение аварийных ситуаций.

В современных организациях с внушительным числом работников в целях безопасности рабочего процесса и сохранения конфиденциальности информации, которую можно получить на территории объекта, используются системы контроля и управления доступом (СКУД). Системы данного предназначения выполняют функцию контроля входящих и выходящих из объекта организации людей, предоставляя доступ верифицированным работникам [2].

Помимо СКУД на производственных объектах организации, в частности государственных, часто применяются системы оповещения работников (СО). Практическое применение СО заключается в оперативном уведомлении работников организации о какой-либо нештатной ситуации и координировании для выполнения ими своих должностных обязанностей [1].

Часто возникает ситуация, когда на производстве необходимо реализовать обе системы, и организация вынуждена приобретать оборудование для обеих систем отдельно, что влечет за собой значительные экономические затраты на оборудование доступа, автоматические рабочие места для персонала, эксплуатирующего систему, серверные мощности и затраты на электрическую энергию.

Раздельные системы также вынуждают обучать персонал для работы в независимых системах, поскольку системы СКУД и СО не имеют единого стандарта оборудования и возможности интеграции между собой. Следует учитывать необходимость двойной регистрации одного и того же работника в двух системах, поскольку базы данных и стандарты у систем разные, потребуется вносить данные о работнике сначала в СКУД, а затем копировать данные и вносить в СО. Существует вероятность, что для разных систем потребуются различные персональные данные, что влечет за собой дополнительную работу по ее поиску. Кроме того, раздельные

системы вынуждают рабочий персонал использовать несвязанные устройства для идентификации (в случае СКУД) и оповещения (в случае СО).

Проблема заключается в том, что отсутствует система согласованных стандартов на совместное применение систем СКУД и СО в системах мониторинга и управления оперативным персоналом производственных предприятий. Это является проблемой, потому что отсутствует возможность расширения функциональных возможностей совместного применения систем СКУД и СО, что снижает оперативность взаимодействия с персоналом, занятым в производственном процессе, и увеличивает экономические затраты на системные мощности обеих систем.

Потребителями в данном вопросе являются организации, внедряющие СКУД и СО, рабочий персонал организаций.

Потребности организации, внедряющей СКУД и СО:

- 1) реализация СКУД и с защитой от несанкционированного доступа;
- 2) реализация СО работников без необходимости вести двойной учет баз данных;
- 3) снижение затрат на эксплуатацию систем.

Потребности рабочего персонала:

- 1) удобство в пользовании;
- 2) отсутствие или минимизация несрабатываний / ложных срабатываний.

Решение, которое устраивает всех потребителей, — создание системы, содержащей функционал СКУД и СО, со сниженной стоимостью эксплуатации, защитой от несанкционированного доступа и удобством в пользовании.

В качестве решения возникшей проблемы предлагается объединить СКУД и СО, чтобы оптимизировать работу систем, а также облегчить их эксплуатацию. Работа будет оптимизирована, поскольку будет единое пространство выполнения задач, а также совместная

база данных, которая будет иметь все необходимые для работы двух систем данные. Время внесения данных нового работника в систему и затраты на эксплуатацию уменьшаются в два раза. Подобное решение позволит снизить количество требуемых автоматических рабочих мест, программного обеспечения и средств на обучение персонала.

Для объединения систем предлагается изменить принцип системы СКУД для интеграции в нее СО. Для реализации решения будет изменен принцип «пропусков». Предлагается отказаться от карт-пропусков, выдаваемых работникам для доступа на объект, заменив их блоком оповещения и доступа (БОД). Помимо непосредственного осуществления доступа на производственный объект, предполагается, что блок будет реализовывать оповещение работников с помощью известных способов оповещения, применяемых на текущий момент на производственных объектах: оповещение через выделенную SIM-карту и операторов связи с помощью расположенной на объекте беспроводной сети (Wi-Fi).

БОД может быть любой формы, размера и мощности, но непременно содержать источник питания (аккумулятор), плату оповещения и управления доступом (разъем для SIM-карты, динамик, приемо-передающее устройство, контакты взаимодействия с пользователем), блоки взаимодействия с пользователем, разъем для подзарядки аккумулятора. Тем не менее для удобства пользования предлагается компактный размер кубической формы со скругленными краями. Предполагается наличие функциональных кнопок: подтверждения получения оповещения и активация предоставления доступа на объект через систему контроля и управления доступом при непосредственной близости с пропускным пунктом. Таким образом, для осуществления доступа на объект пользователю требуется находиться в непосредственной близости с пропускным пунктом, а затем нажать на соответствующую кнопку. Также рассматривается вариант бескнопочного взаимодействия, осуществляющий

доступ к объекту при приближении пользователя, однако такой метод может иметь ложные срабатывания и требуется более точная настройка позиционирования модуля.

Чтобы избежать несанкционированного доступа на производственные объекты, в БОД предлагается располагать встроенный сенсор отпечатка пальца для идентификации пользователя блоком и исключения случаев использования блока оповещения и доступа третьими лицами для «обмана» системы и выдачи себя за другого человека с разными мотивами.

Объединение СКУД и СО в одну систему контроля и управления доступом и оповещения (СКУДиО) позволит уменьшить количество необходимых рабочих мест, ПО и обслуживающих сотрудников, а также уменьшить количество необходимого оборудования, которое сотрудник должен иметь при себе. Таким образом, если проблему решить, то работникам потребуется меньше переносных устройств, а организации потребители снизят затраты на эксплуатацию систем. Будет реализован более быстрый процесс внесения изменений и снизится вероятность «несостыковок» в базе данных.

Функции системы контроля управления доступом позволят осуществлять доступ на объекты установленным порядком, исключая вероятность несанкционированного доступа на объект лиц с различными мотивами. Функции системы оповещения в случае возникновения аварийной или нештатной ситуации позволят производить оповещение работников производственного объекта, находящихся на объекте или находящихся за пределами объекта в случае необходимости их прибытия и устранения аварийной ситуации. СКУДиО обладает преимуществами обеих систем и лишается трудностей в их одновременной эксплуатации и актуализации, поскольку не потребуется выполнять двойную работу. Внесенные данные в базу СКУДиО будут автоматически использоваться для решения задач по оповещению работников или их допуску на производственные объекты. Таким образом, СКУДиО является хорошим решением

для организаций, которые имеют в зоне своей эксплуатационной ответственности производственные объекты с ограниченным доступом и необходимостью оповещения работников.

Список использованной литературы

1. Асанин, А. В. Адаптивно-адресная система оповещения и информирования сотрудников на аварийно-опасных объектах / А. В. Асанин, В. Ф. Войцеховский, В. А. Руденко // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2019. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivno-adresnaya-sistema-opovescheniya-i-informirovaniya-sotrudnikov-na-avariyno-opasnyh-obektah> (дата обращения: 28.03.2025).

2. Сагидова, М. Л. Современные системы контроля и управления доступом / М. Л. Сагидова // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2022. — № 9-1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sistemy-kontrolya-i-upravleniya-dostupom> (дата обращения: 28.03.2025).

УДК 621.31

С. Е. Тюмина, Е. А. Бурмистрова

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

FACTS-ТЕХНОЛОГИИ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА: КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ СЕТЕЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье приводится обзор основных особенностей работы электроэнергетики и недостатки существующих методов управления режимами энергосистемы. Рассматриваются преимущества и недостатки

устройств управляемых систем передачи переменного тока для регулирования параметров электроэнергетических систем: напряжения и реактивной мощности. Производится оценка эффективности применения устройства продольной компенсации в условиях Крайнего Севера, в частности в Ханты-Мансийском автономном округе — Югра.

Ключевые слова: *управляемые системы передачи переменного тока, регулирование, энергетические системы, качество электроэнергии.*

S. E. Tyumina, E. A. Burmistrova

Surgut State University, Surgut

FACTS-TECHNOLOGIES IN THE AREAS OF THE FAR NORTH:
COMPENSATION OF REACTIVE POWER AND STABILITY
OF NETWORKS

Surgut

Abstract. The article provides an overview of the main features of the electric power industry and the disadvantages of existing methods of managing the modes of the power system. The advantages and disadvantages of devices of controlled AC transmission systems for regulating the parameters of electric power systems: voltage and reactive power are considered. The effectiveness of the longitudinal compensation device in the conditions of the Far North, in particular in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra, is evaluated.

Keywords: *controlled AC transmission systems, regulation, energy systems, electricity quality.*

С увеличением потребности в электроэнергии и колебаниями в производстве из-за возобновляемых источников возрастает потребность в более эффективных и надежных системах передачи электроэнергии. Одними из наиболее важных проблем электроэнергетики являются ограниченные возможности управления потоками мощности и повышения пропускной способности линий электропередач.

Также это влияет на отсутствие возможности быстрого изменения мощности в линиях при различного рода аварийных ситуациях.

Эти недостатки обусловлены тем, что в энергосистеме контролируется только уровень напряжения, то есть происходит скалярное регулирование. В современных условиях функционирования электроэнергетики необходимо максимально эффективно использовать пропускную способность линий электропередачи, поэтому возникает необходимость в эксплуатации уже существующих линий с использованием современных технологий и средств управления режимами электроэнергетических систем и регулирования их параметров.

Одной из мер решения существующих проблем в электрических сетях 110 кВ являются устройства FACTS, которые регулируют один или несколько параметров качества электроэнергии, что позволяет повысить эффективность работы энергосистемы. Это достигается за счет мониторинга, анализа и координации с помощью программируемых логических контроллеров. Поскольку все устройства FACTS основаны на твердотельных полупроводниковых схемах, они способны быстро и точно реагировать на изменения в системе.

Применение FACTS-устройств на Крайнем Севере имеет особую значимость, однако их использование имеет ряд ограничений, связанных с климатическими условиями, требованиями к надежности электроэнергетических систем и особенностями эксплуатации.

Для применения данного вида оборудования необходимо учитывать условия его эксплуатации, а значит уже на этапе конструирования использовать те материалы и технологии, которые будут обеспечивать надежную работу и защиту устройств от повреждения и влияния низких температур. Приспосабливая данную технологию под климатические условия Ханты-Мансийского автономного округа — Югры не стоит забывать о частых снегопадах, обледенениях и шквалистых порывах ветра, что является дополнительной механической нагрузкой. Эти особенности требуют создание более

прочной конструкции, а также дополнительных решений для предотвращения накопления льда и снега.

Так как расположение ХМАО-Югры влияет на сезонное потребление электроэнергии, колебания которого являются значительными, FACTS-устройства должны обеспечивать стабильность энергоснабжения и быть адаптированы к изменениям нагрузки. Поэтому при проектировании должны учитываться соответствующие стандарты и рекомендации.

Рассматриваемый регион находится в болотистой местности, поэтому довольно часто ремонт и обслуживание воздушных линий трудноосуществим. В связи с этим важно внедрять дистанционные системы мониторинга и управления, которые позволяют контролировать состояние устройств без необходимости частого вмешательства.

Таблица 1. — Преимущества и недостатки рассматриваемых FACTS-устройств

Название	Преимущества	Недостатки
Конденсаторные батареи	Простота конструкции и эксплуатации. Низкие капитальные затраты. Мгновенная реактивная поддержка при подключении	Могут приводить к резким колебаниям напряжения. Неэффективны на переменных нагрузках (могут требовать регулировки)
Системы управления реактивной мощностью (SVC)	Высокая скорость реакции на изменения в сети. Возможность автоматической настройки под текущие условия. Возможность совместного использования с фильтрами гармоник	Более высокие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с конденсаторными батареями. Требуют наличия контроля для оптимизации работы

Статические стабилизаторы напряжения (STATCOM)	Высокая скорость реакции и хорошая динамическая характеристика. Эффективны в условиях несимметричных нагрузок и колебаний в сети. Компактные размеры по сравнению с SVC	Высокая стоимость и сложность в обслуживании. Чувствительность к изменениям в окружении (температура, влажность и т. д.)
Электромеханические компенсаторы (синхронные компенсаторы)	Способны генерировать как активную, так и реактивную мощность. Подают более стабильное напряжение в сетях. Обладают хорошими динамическими характеристиками	Высокие капитальные и эксплуатационные затраты. Большие размеры и вес, что требует специального места для установки. Могут требовать регулярного технического обслуживания
Фильтры гармоник	Улучшают качество электроэнергии, минимизируя гармонические искажения. Часто сочетаются с другими устройствами компенсации реактивной мощности	Не устраняют полностью проблемы с реактивной мощностью, поэтому их иногда нужно комбинировать с другими устройствами. Могут быть дорогими в установке и обслуживании

Устройства компенсации реактивной мощности играют важную роль в обеспечении стабильности и эффективности электрических сетей. Существует несколько типов устройств, каждое из которых имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые FACTS-устройства.

Для улучшения переноса мощности по линии и компенсации ее индуктивности рассмотрим устройство продольной компенсации. С учетом рассмотренных недостатков конденсаторные батареи удовлетворяют условиям эксплуатации в рассматриваемом регионе.

Для проверки эффективности применения данного устройства необходимо будет исследовать конкретный пример электрической сети с определенными заданными параметрами. Он будет реализован в виде последовательно включенных конденсаторов с размещением на ВЛ.

Будет произведен выбор сечений проводов линий электропередачи для выбора степени компенсации устройства. В дальнейшем будут рассчитаны такие параметры, как продольная и поперечная составляющие падения напряжения, расчетное отклонение напряжения как исходной сети, так и с установленным устройством продольной компенсации. Нормы качества электроэнергии будут проверены на соответствие ГОСТ 32144-2013.

Таким образом, эффективность применения УПК будет подтверждена уже после проведения необходимых расчетов.

Специфика Крайнего Севера требует применения адаптированных к климатическим условиям технологий и стратегий для эффективного размещения и эксплуатации FACTS-устройств. Устройства продольной компенсации обладают рядом преимуществ: простая конструкция, что обеспечивает их высокую надежность в условиях экстремального климата; мгновенная компенсация реактивной мощности, что важно для обеспечения стабильности и качества электроснабжения в условиях переменной нагрузки; компактность и минимальные требования к обслуживанию, а также меньшие затраты и устойчивость к неблагоприятным условиям. Таким образом, УПК идеально подходят для применения на Крайнем Севере благодаря своей надежности, эффективности и адаптивности к сложным условиям.

Список использованной литературы

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание (ПУЭ).
2. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества

электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

3. О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии : Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. № 380.

4. СТО 56947007-29.240.019-2009 «Методика оценки технико-экономической эффективности применения устройств FACTS в ЕНЭС России».

УДК 621.311.22:620.193

И. С. Агомирзаев

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЛЭП К КОРРОЗИИ И КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается применение композитных материалов в качестве альтернативы, обладающих высокой коррозионной стойкостью, прочностью, диэлектрическими свойствами и устойчивостью к экстремальным климатическим условиям. Анализированы ключевые преимущества композитных опор, включая их долговечность (до 100 лет), устойчивость к ветровым и гололедным нагрузкам, экологическую безопасность и отсутствие необходимости в заземлении. Уделено особое внимание проблемам, связанным с ультрафиолетовым старением полимерных композитов, и перспективам их решения.

Ключевые слова: *линии электропередачи, композитные материалы, коррозионная стойкость, климатическая устойчивость, диэлектрические свойства, долговечность.*

I. S. Agomirzaev

Surgut State University, c. Surgut

THE INFLUENCE OF COMPOSITE MATERIALS ON THE RESISTANCE OF POWER LINES TO CORROSION AND CLIMATIC INFLUENCES

Surgut

Abstract. The article discusses the use of composite materials as alternatives with high corrosion resistance, strength, dielectric properties and resistance to extreme climatic conditions. The key advantages of composite supports are analyzed, including their durability (up to 100 years), resistance to wind and ice loads, environmental safety and the absence of the need for grounding. Special attention is paid to the problems associated with ultraviolet aging of polymer composites and the prospects for their solution.

Keywords: *power transmission lines, composite materials, corrosion resistance, climate resistance, dielectric properties, durability.*

Введение. Современные линии электропередачи (ЛЭП) подвергаются интенсивному воздействию агрессивных факторов окружающей среды, включая коррозию, перепады температур, ультрафиолетовое излучение, повышенную влажность и механические нагрузки. Эти процессы приводят к постепенному разрушению традиционных материалов, таких как сталь и алюминий, что снижает надежность и долговечность энергетической инфраструктуры. В связи с этим актуальной задачей становится поиск инновационных решений, способных повысить устойчивость ЛЭП к негативным внешним воздействиям.

Одним из перспективных направлений является применение композитных материалов, обладающих высокой коррозионной стойкостью, низкой электропроводностью, малым весом и повышенной прочностью. Их использование позволяет не только продлить срок службы опор и проводов, но и снизить эксплуатационные затраты

за счет уменьшения необходимости частого обслуживания и ремонта. Однако, несмотря на очевидные преимущества, внедрение композитов в энергетике требует комплексного изучения их поведения в различных климатических условиях, а также оценки экономической целесообразности их применения.

Целью данной статьи является анализ влияния композитных материалов на устойчивость ЛЭП к коррозии и климатическим воздействиям, а также обзор современных технологий их производства и применения в энергетической отрасли. В работе рассматриваются ключевые свойства композитов, их преимущества перед традиционными материалами и перспективы дальнейшего развития данного направления.

Основная часть. Опоры из композитных материалов устойчивы к процессам гниения и коррозии, а также не повреждаются птицами и насекомыми. Они отличаются высокой огнестойкостью и могут приобретать абсолютную негорючесть при нанесении нескольких слоев специального огнезащитного состава.

Композитные конструкции не подвержены разрушению из-за коррозии, включая ее ускоренное развитие вследствие утечек тока [1]. Важным преимуществом данного материала является не только продление срока эксплуатации опор, но и повышение безопасности для обслуживающего персонала и населения, поскольку стеклопластик, в отличие от традиционных проводящих материалов, обладает диэлектрическими свойствами и исключает риск поражения током.

Также опоры из композитных материалов обладают исключительной прочностью и рассчитаны на длительную эксплуатацию. Производитель предоставляет 40-летнюю гарантию на отсутствие производственных дефектов, а также пожизненную гарантию защиты от повреждений, вызванных природными факторами: обледенением, снеговой нагрузкой, сильным ветром или попаданием молнии. Расчетный срок службы таких конструкций достигает 100 лет.

Кроме того, композитные опоры обладают высокой прочностью и устойчивостью к различным механическим нагрузкам. Это позволяет им успешно справляться с ветровыми нагрузками, снижая риск повреждений ЛЭП в условиях сильных ветров. Композитные материалы также обладают высокой коррозионной стойкостью, что делает опоры устойчивыми к воздействию агрессивных сред, таких как влажность, соль, кислоты и т. д. Важным моментом является также экологическая безопасность композитных опор. Они не подвержены коррозии, не требуют обработки антикоррозионными реагентами и не загрязняют окружающую среду. Использование композитных материалов обеспечивает долгий срок службы опор, что способствует сокращению объемов производства и утилизации металлических опор, что является важным аспектом с точки зрения экологической устойчивости [2].

Преимуществом композитных опор является их устойчивость к экстремальным погодным условиям. Они хорошо противостоят ветровым и гололедным нагрузкам благодаря своей эластичности и способности к обратимой деформации. При сильных порывах ветра композитные опоры могут временно отклоняться, после чего возвращаются в исходное положение без остаточных деформаций [3].

Диэлектрические свойства композитных материалов обеспечивают дополнительную электробезопасность. Это снижает риск поражения электрическим током при случайном контакте с опорой и уменьшает потери электроэнергии на утечки тока. Кроме того, композитные опоры не требуют устройства заземления, что упрощает их монтаж и эксплуатацию [4].

Опыт эксплуатации композитных опор в различных странах показывает их высокую надежность. В России проводятся испытания и внедрение композитных опор в различных климатических зонах — от северных регионов до южных районов. Результаты этих испытаний подтверждают заявленные характеристики и эффективность применения композитных материалов [5].

Полимерные композиционные материалы обладают высокой коррозионной стойкостью в кислых и щелочных средах и не подвержены электрокоррозии. В этом их основное преимущество перед металлом и железобетоном. Композитные материалы обладают меньшей гигроскопичностью, чем бетон, и не повреждаются замерзающей в порах водой. В то же время полимерные композиционные материалы быстро стареют под действием излучения Солнца. Одна из важнейших задач, связанная с массовым внедрением композитных опор, — решение вопроса стабилизации полимерного связующего к действию солнечного излучения [6].

Благодаря своей эластичности композитные опоры обладают высокой устойчивостью к климатическим воздействиям. Они способны выдерживать значительные гололедные и ветровые нагрузки, не разрушаясь и не опрокидываясь. За счет пружинящего эффекта такие конструкции обеспечивают повышенную надежность линий электропередачи даже при образовании гололеда и экстремальных ветровых нагрузках, превышающих расчетные значения.

Композитные материалы демонстрируют значительные преимущества перед традиционными металлическими конструкциями в ЛЭП. Их применение позволяет повысить срок службы линий электропередачи, снизить эксплуатационные затраты и улучшить устойчивость к коррозии и климатическим воздействиям. Дальнейшее развитие технологий композитов позволит создавать еще более надежные и долговечные энергетические сети, адаптированные к экстремальным условиям эксплуатации.

Список использованной литературы

1. Калуцкий, Е. С. К вопросу об электромагнитных областях и полях воздушных линий электропередач / Е. С. Калуцкий, Р. В. Степашов, Д. С. Хомяков, Н. О. Штань // Агропромышленный комплекс: контуры будущего. Материалы IX Международной

научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. — 2018. — С. 172–175.

2. Дубина, А. А. Новые конструкции полимерных стоек для опор ВЛ в РФ и Украине / А. А. Дубина // Воздушные линии. — 2021. — № 3 (4). — С. 27–31.

3. Патент № 2687543 Российская Федерация, МПК E04H 12/00. Композитная опора воздушной линии электропередачи : № 2018134562 : заявл. 01.10.2018 : опубл. 15.05.2019 / Петров А. В., Сидоров И. М. ; заявитель и патентообладатель ООО «КомпозитСтрой». — 12 с.

4. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд. — Москва : Издательство НЦ ЭНАС, 2020. — 552 с. — ISBN 978-5-93196-967-8.

5. Родчихин, С. М. Опыт эксплуатации композитных опор ЛЭП в прибрежных районах / С. М. Родчихин // Воздушные линии. — 2021. — № 2. — С. 15–20.

6. Горшков, А. С. Композитные материалы в строительстве и электроэнергетике: преимущества и проблемы / А. С. Горшков, Ю. В. Немировский, А. Н. Смирнов // Инженерно-строительный журнал. — 2018. — № 5 (77). — С. 45–53.

УДК 621

М. Е. Емельянова¹, В. В. Рыжаков²

¹СургутНИПИнефть, г. Сургут

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

МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ R-ПИКОВ В ЭКГ-СИГНАЛЕ

г. Сургут

Аннотация. В работе приведен алгоритм обработки и анализа ЭКГ-сигнала. Представлен метод автоматического детектирования R-пиков

ЭКГ-сигнала. Программный код включает этапы предварительной обработки, квадратичное преобразование сигнала, интегрирующее скользящее среднее и поиск пиков.

Ключевые слова: ЭКГ-сигнал, обработка сигналов, детектирование R-пигов, MATLAB, анализ сердечного ритма.

M. E. Emelianova¹, V. V. Ryzhakov²

¹ SurgutNIPIneft, Surgut

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

METHOD FOR DETECTING R-PEAKES IN ECG SIGNAL

Surgut

Abstract. The paper presents an algorithm for processing and analyzing an ECG signal. A method for automatic detection of R-peaks of an ECG signal is presented. The program code includes preprocessing steps, a quadratic signal transformation, an integrating moving average, and a peak search.

Keywords: ECG signal, signal processing, R-peak detection, MATLAB, heart rate analysis.

Целью работы была разработка программного кода для нахождения R-пигов.

Проблема передачи данных усугубляется стремительным ростом числа устройств интернета вещей (IoT), что отмечается в исследованиях [1–2]. Согласно прогнозам аналитиков Transforma Insights, к 2030 году количество IoT-устройств увеличится втрое, что приведет к экспоненциальному росту объемов передаваемой информации.

Одним из возможных решений данной проблемы может стать оптимизация передачи данных за счет сокращения количества отсчетов на стороне передатчика с последующим восстановлением

сигнала на приемной стороне. Такой подход способен снизить нагрузку на каналы связи без существенной потери информации.

Восстановление отсчетов может осуществляться различными способами, один из таких — адаптивный фильтр. Проблема заключается в синхронизации эталонного ЭКГ-сигнала с входным.

Одним из вариантов решения проблемы может служить синхронизация ЭКГ-сигналов по первым R-пикам.

Для этого был написан код в программной среде MATLAB, который считывает данные из файла Excel при частоте дискретизации 1250 Гц. Программный код выполняет предварительную обработку сигнала, которая включает в себя устранение низкочастотных артефактов с помощью скользящего среднего и нормализацию сигнала, затем применяет квадратичное преобразование для усиления R-зубцов и сглаживание интегрирующим фильтром. Детектирование R-пику осуществляется с порогом 50% от максимальной амплитуды и минимальным интервалом 0.6 секунды между пиками. Полученный результат визуализируется на графике.

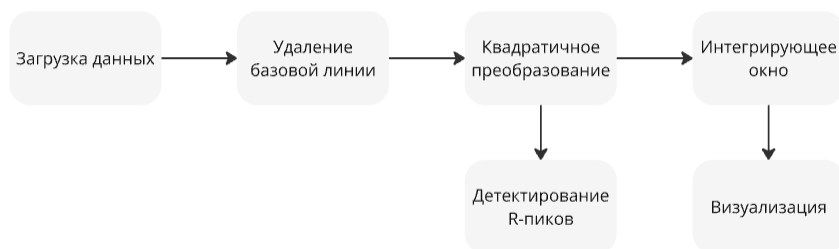


Рис. 1. Структурная схема программного кода

На выходе получается график ЭКГ с выделенными R-пиками, что позволяет оценить частоту сердечных сокращений (ЧСС) и интервалы RR. Программный код может быть адаптирован для анализа других ЭКГ-записей путем изменения входного файла и параметров обработки.

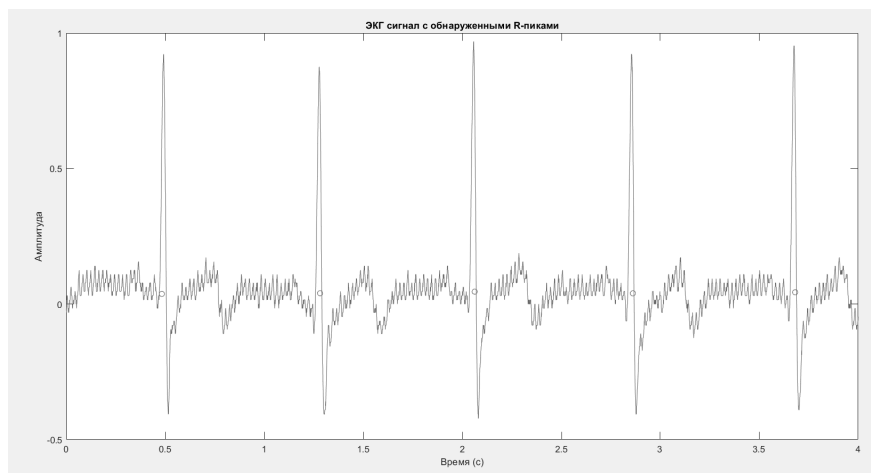


Рис. 2. ЭКГ-сигнал с обнаруженными R-пиками

Список использованной литературы

1. Козинец, Н. В. Современные вызовы IOT (интернет вещей): общие вопросы и правовое регулирование / Н. В. Козинец. — Текст: электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48439768> (дата обращения 13.05.2023).
2. Куприянова, Т. В. О проблемах развития интернета вещей в России / Т. В. Куприянова, Д. И. Кислицын. — Текст: электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44431198> (дата обращения 13.05.2023)
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 г.

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. Morin E., 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 004.9:61

Д. Д. Шапарин

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ОБЗОР БЕСПРОВОДНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА МЕДИЦИНСКИХ ВЕЩЕЙ

г. Сургут

Аннотация. В статье представлен обзор беспроводных решений для системы Интернета медицинских вещей (IoMT). Рассматриваются концепция модульной системы, основные требования к беспроводным технологиям, сравнительный анализ популярных протоколов (Bluetooth, BLE, Wi-Fi, Zigbee), а также рекомендации по их использованию в различных сценариях медицинских IoT-устройств. В результате предлагается оптимальный подход к выбору беспроводных решений, способствующий развитию цифровой трансформации в здравоохранении.

Ключевые слова: *интернет медицинских вещей, IoMT, Bluetooth, BLE, Wi-Fi, Zigbee, медицинский IoT.*

D. D. Shaparin

Surgut state university, Surgut

REVIEW OF WIRELESS SOLUTIONS FOR THE INTERNET OF MEDICAL THINGS

Surgut

Abstract. The article provides an overview of wireless solutions for the Internet of Medical Things (IoT) system. The concept of a modular system, the basic requirements for wireless technologies, a comparative analysis of popular protocols (Bluetooth, BLE, Wi-Fi, Zigbee), as well as recommendations for their use in various scenarios of medical IoT devices are considered. As a result, the optimal approach to choosing wireless solutions is proposed, contributing to the development of digital transformation in healthcare.

Keywords: *Internet of Medical Things, IoT, Bluetooth, BLE, Wi-Fi, Zigbee, medical IoT.*

Введение. Современные технологии Интернета медицинских вещей (IoMT) открывают новые возможности для дистанционного мониторинга состояния пациентов. В ходе разработки проекта в области Интернета медицинских вещей исследование выявило две ключевые проблемы: недостаточную осведомленность пациентов и медицинского персонала о преимуществах IoMT-технологий, а также низкий уровень доверия к решениям на основе IoT в сфере здравоохранения.

Эти проблемы существенно ограничивают потенциал цифровой трансформации медицинских учреждений. Для преодоления этих барьеров мной было предложено решение — разработка модульной системы медицинского IoT, обладающей тремя принципиальными особенностями:

1. Масштабируемостью — возможностью формировать конфигурацию системы под конкретные клинические задачи из унифицированных блоков.

2. Постепенным внедрением — поэтапным увеличением объема мониторинга по мере роста доверия пользователей.

3. Адаптивностью — возможностью наращивания сложности биометрических измерений в соответствии с потребностями учреждения.

Такая архитектура позволяет медицинским организациям начинать с простых сценариев мониторинга (например, контроль температуры и пульса), постепенно расширяя функционал до сложных многопараметровых систем анализа состояния пациентов. В рамках разработки проекта модульной системы медицинского IoT возникла необходимость выбора оптимальных беспроводных решений, обеспечивающих надежную и безопасную передачу медицинских данных.

Концепция модульной системы медицинского IoT. Основной целью данного исследования является обоснованный выбор беспроводных технологий для разрабатываемой системы медицинского мониторинга. Проект предусматривает создание модульной платформы, состоящей из:

- биометрических датчиков;
- центрального блока для сбора и передачи данных;
- облачной аналитической платформы.

В ходе проектирования системы были сформулированы ключевые требования к беспроводным технологиям:

- надежность передачи медицинских данных;
- энергоэффективность для длительной работы носимых датчиков;
- совместимость с типовой инфраструктурой медицинских учреждений.

Для реализации этих требований проведен сравнительный анализ современных беспроводных решений, включающий оценку:

- технических характеристик (дальность связи, пропускная способность, энергопотребление);
- простоты интеграции в существующие клинические процессы.

Разрабатываемая система построена по принципу постепенного внедрения, что особенно важно для медицинских учреждений с ограниченным опытом использования IoT-технологий. На начальном этапе система поддерживает базовый набор биометрических измерений (частота сердечных сокращений, температура тела, уровень кислорода в крови), что позволяет персоналу и пациентам адаптироваться к новым технологиям. По мере накопления опыта возможно подключение дополнительных специализированных датчиков и расширение аналитических возможностей платформы.

Ключевым элементом системы является центральный блок обработки данных, выполняющий функции:

- агрегации показателей от различных датчиков;
- первичной валидации и фильтрации данных;
- безопасной передачи информации в облачную платформу;
- управления конфигурацией подключенных устройств.

Данное решение обеспечивает гибкость при развертывании системы в различных медицинских учреждениях от небольших поликлиник до многопрофильных стационаров.

Сравнительный анализ беспроводных технологий для медицинского IoT

В данном разделе рассматриваются 4 ключевые беспроводные технологии, используемые в IoT [1, с. 63]: Bluetooth, Bluetooth low energy (BLE), Wi-Fi, ZigBee, их преимущества, недостатки и возможность совместного использования в медицинских IoT-системах.

Bluetooth и Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth. Основное преимущество данной технологии заключается в высокой скорости передачи данных (до 3 Мбит/с), что делает ее идеальным решением для аудиоустройств, таких

как беспроводные наушники или гарнитур для медицинского персонала. Однако ее применение в IoT ограничено несколькими факторами:

1. Высокое энергопотребление делает Bluetooth непрактичным для носимых датчиков с батарейным питанием.
2. Ограниченная поддержка в современных IoT-устройствах, так как производители предпочитают BLE.
3. Максимальная дальность связи в условиях больничного помещения не превышает 10–15 метров.

Bluetooth Low Energy. Эта технология была специально разработана для IoT-устройств [3, с. 56] и обладает рядом уникальных характеристик:

- крайне низкое энергопотребление позволяет датчикам работать от одной батарейки несколько лет;
- поддержка Mesh-сетей обеспечивает надежную связь между тысячами устройств;
- улучшенная дальность связи (до 200 м в открытом пространстве).

Однако BLE имеет и ограничения:

- низкая скорость передачи данных (1–2 Мбит/с) не позволяет использовать его для передачи видео или больших объемов данных;
- в условиях больничного помещения с множеством препятствий дальность связи сокращается до 10–30 метров.

Вывод: для носимых медицинских датчиков BLE является оптимальным выбором благодаря энергоэффективности, тогда как Bluetooth сохраняет актуальность для специализированных медиаустройств.

Wi-Fi

Wi-Fi — это технология беспроводной связи, которая обеспечивает высокую скорость передачи данных и большую дальность. В медицинских IoT-системах Wi-Fi используется для передачи

больших объемов информации — например, медицинских изображений, видео или аналитических данных. Обычно дальность Wi-Fi составляет до 100 метров и более в открытых пространствах, что позволяет покрывать большие территории внутри медицинских учреждений. Wi-Fi легко интегрируется в существующую инфраструктуру, что делает его удобным для подключения устройств к облакам и системам хранения данных.

Современные стандарты Wi-Fi, особенно Wi-Fi 6 (802.11ax), предлагают значительные преимущества для медицинских IoT-систем:

- Революционная скорость передачи данных (до 9.6 Гбит/с) позволяет передавать видео высокого качества и результаты сложных диагностических исследований.
- Технология OFDMA обеспечивает эффективное обслуживание множества устройств одновременно.
- Поддержка современных протоколов безопасности (WPA3) критически важна для защиты медицинских данных.

Однако Wi-Fi имеет серьезные ограничения:

- Высокое энергопотребление делает его непригодным для устройств с батарейным питанием.
- Сложность настройки и управления в крупных медицинских учреждениях.
- Возможные «мертвые зоны» в некоторых помещениях больницы.

Можно сделать вывод, что Wi-Fi идеально подходит для стационарного медицинского оборудования и шлюзов, где требуется высокая скорость передачи данных и есть доступ к постоянному источнику питания.

Zigbee

ZigBee — это протокол беспроводной связи, основанный на стандарте IEEE 802.15.4, предназначенный для создания сетей с низким энергопотреблением и низкой пропускной способностью. В медицине ZigBee широко используется в системах автоматизации,

мониторинга и дистанционного контроля, где важна энергоэффективность и надежность. Одним из ключевых преимуществ ZigBee является возможность формирования mesh-сетей, что позволяет расширить покрытие и повысить устойчивость системы. В таких сетях каждый узел может передавать данные дальше, что обеспечивает большую дальность и надежность.

Несмотря на преимущества, у ZigBee есть и ограничения. Он обладает низкой пропускной способностью, что делает его неподходящим для передачи больших файлов или потоковых данных [2, с. 176].

Вывод: Zigbee может быть полезен для организации локальных сетей в пределах одной палаты или отделения, но не подходит для систем, требующих передачи больших объемов данных или интеграции с облачными сервисами.

Совместное использование BLE + Wi-Fi

Гибридная архитектура, сочетающая преимущества BLE и Wi-Fi, представляет собой наиболее сбалансированное решение для медицинского IoT.

Принцип работы строится следующим образом:

1. Носимые датчики передают данные по BLE на шлюз (например, ESP32).
2. Шлюз агрегирует данные, выполняет первичную обработку и передает их в облако по Wi-Fi.

Среди преимуществ данной архитектуры можно выделить следующие пункты:

- оптимальное энергопотребление: датчики работают от батарей годами;
- высокая скорость передачи данных в облачную инфраструктуру;
- масштабируемость системы — можно легко добавлять новые датчики;
- гибкость — возможность использовать существующую Wi-Fi инфраструктуру.

Ограничения:

- небольшая задержка при ретрансляции данных;
- более сложная архитектура системы.

На основании проведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации.

Для носимых медицинских датчиков (пульсометры, глюкометры, датчики температуры) — оптимальный выбор: BLE.

Аргументы: крайне низкое энергопотребление, достаточная скорость для биометрических данных, поддержка большинством смартфонов и планшетов.

Для стационарного оборудования (мониторы пациентов, диагностические станции) — оптимальный выбор: Wi-Fi.

Аргументы: высокая скорость передачи, интеграция с основной сетью, поддержка современных протоколов безопасности

Для локальных сетей в пределах отделения — возможный выбор: Zigbee.

Аргументы: mesh-топология обеспечивает надежность, низкое энергопотребление.

Ограничения: не подходит для передачи в облако, возможны помехи от Wi-Fi.

Для комплексных решений — возможный оптимальный выбор: гибридная архитектура BLE + Wi-Fi.

Преимущества: сочетает энергоэффективность BLE и высокую скорость Wi-Fi.

Пример: система мониторинга пациентов с носимой ЭКГ и централизованным облачным анализом.

Заключение. Проведенный анализ демонстрирует, что для медицинских IoT-систем не существует универсального беспроводного решения. Выбор технологии должен основываться на конкретных требованиях к устройству:

BLE остается оптимальным выбором для подавляющего большинства носимых медицинских датчиков благодаря уникальному

сочетанию энергоэффективности, достаточной скорости передачи биометрических данных и широкой поддержки производителями.

Wi-Fi незаменим для стационарного оборудования, требующего высокой скорости передачи данных и полной интеграции с большой ИТ-инфраструктурой.

Zigbee может найти ограниченное применение в специализированных локальных системах, но его использование требует тщательного планирования для избежания конфликтов с Wi-Fi.

Гибридные архитектуры, такие как сочетание BLE для датчиков и Wi-Fi для шлюзов, представляют собой перспективное направление развития медицинского IoT, позволяя объединить преимущества разных технологий.

Список использованной литературы

1. Семанов, А. О. Обзор технологий связи медицинских приложений интернета вещей / А. О. Семанов, М. А. Блинников, Р. Я. Пирмагомедов // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2018. — Том 6. — № 1. — С. 63–71. — URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/20185/63-71.pdf> (дата обращения: 22.04.2025).

2. Скуснов, А. В. ZigBee: обзор технологии / А. В. Скуснов // Компоненты и технологии. — № 3. — 2005. — С. 176–179. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zigbee-obzor-besprovodnoy-tehnologii/viewer> (дата обращения: 22.04.2025)

3. Хилажев, Р. О. IPS-технология на основе Bluetooth Low Energy / Р. О. Хилажев, Л. В. Просвирнякова // Вестник СибГУТИ. — 2020. — № 2. — С. 56. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ips-tehnologiya-na-osnove-bluetooth-low-energy/viewer> (дата обращения 22.04.2025).

УДК 621.396.2

Е. В. Гавриленко

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

РАЗРАБОТКА БЕСПРОВОДНОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ

г. Сургут

Аннотация. Данная статья демонстрирует логику создания системы беспроводной инфокоммуникационной системы телеметрии на компрессорной станции. В статье также дается представление о системе беспроводной передачи данных в телеметрических устройствах и некоторых ее особенностях и плюсах. Автор считает, что данная статья в первую очередь будет полезна студентам и стажерам, нацеленным на работу в сфере телекоммуникаций и автоматизации.

Ключевые слова: *беспроводные инфокоммуникационные системы телеметрии, Mesh-сеть, модернизация, повреждающие факторы.*

E. V. Gavrilenko

Surgut State University, Surgut

DEVELOPMENT OF WIRELESS INFOCOMMUNICATION TELEMETRY SYSTEM

Surgut

Abstract. This article demonstrates the logic of creating a wireless infocommunication telemetry system at a compressor station. The article also provides an idea of the wireless data transmission system in telemetry devices and some of its features and advantages. The author believes that this article will be primarily useful for students and interns aiming to work in the field of telecommunications and automation.

Keywords: *wireless infocommunication telemetry systems, mesh network, modernization, damaging factors*

Введение. Телеметрия — область техники, предметом которой является разработка технических средств приема информации для контроля за состоянием объектов на расстоянии. Системы беспроводной передачи данных широко применяются в телеметрических устройствах. Это обусловлено простотой инсталляции и высокой надежностью радиочастотных систем передачи данных. Во многих практических случаях обслужить или подвести проводные линии связи к объекту наблюдения либо чрезвычайно затруднено, либо невозможно физически. В промышленных телеметрических системах находят применение практически все стандарты беспроводной передачи данных.

Преимущества и особенности беспроводных инфокоммуникационных систем телеметрии. Беспроводные инфокоммуникационные системы телеметрии на компрессорных станциях представляют собой современную технологическую систему, достоинством которой является экономическая эффективность, достигаемая за счет значительного сокращения капитальных затрат на прокладку кабельных трасс и выполнение строительно-монтажных работ. Эксплуатационные расходы также снижаются благодаря уменьшению потребности в техническом обслуживании и возможности осуществлять дистанционный мониторинг и диагностику оборудования без постоянного присутствия персонала на опасных производственных участках.

В условиях сложных производственных площадок компрессорных станций, где традиционная кабельная инфраструктура часто подвергается воздействию агрессивных сред, механических вибраций и других повреждающих факторов, отсутствие физических линий связи исключает риски, связанные с коррозией кабелей, их повреждением грызунами или возникновением электромагнитных

наводок в силовых цепях. Это существенно повышает общую надежность системы управления технологическими процессами.

Гибкость и масштабируемость беспроводных решений позволяют оперативно модернизировать систему телеметрии, добавляя новые точки контроля и управления без остановки производственных процессов. Современные технологии беспроводной связи, такие как GSM и ZigBee обеспечивают необходимую скорость и надежность передачи данных даже в условиях сложной электромагнитной обстановки, характерной для компрессорных станций.

Основу системы составляют распределенные датчики и измерительные преобразователи, контроллеры, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании — компрессорных агрегатах, газоперекачивающих установках, системах охлаждения и трубопроводной арматуре. Эти устройства непрерывно измеряют критические параметры: давление газа, температуру газа, вибрации подшипников, расход газа, состав газовой среды, утечки газа, затем передают показания на контроллер телеметрии для дальнейшей передачи данных с приборов учета на диспетчерский пункт по одному из протоколов беспроводной передачи данных.

В отличие, например, от похожей концепции беспроводных сенсорных сетей, предназначенных в основном только для распределенного мониторинга, без жестких требований к реальному времени, для компрессорных станций беспроводная инфокоммуникационная система телеметрии предпочтительнее, так как такая система обеспечивает интеграцию с системами управления.

Состав беспроводной инфокоммуникационной системы телеметрии. Система построена на основе обобщения в единый комплекс различных аппаратно-программных средств. Распределенная сеть представляет собой беспроводную сеть телеметрии, узлы которой передают информацию в диспетчерский центр посредством технологий беспроводной связи. В состав сети входит некоторое количество распределенных в пространстве датчиков, а также контроллер

(точка накопления и архивирования данных), сервер и сайт оператора ЭВМ, обеспечивающие связь беспроводных модулей с базой данных и клиентскими приложениями, установленными на персональных компьютерах.

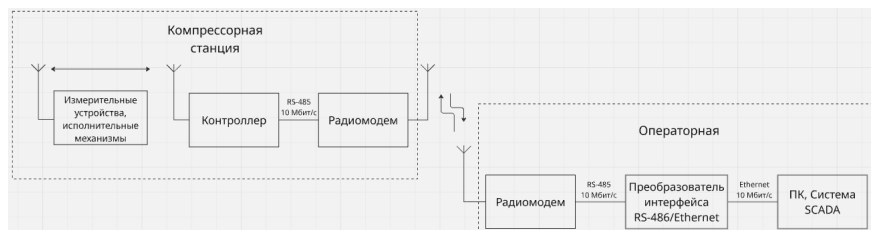


Рис. 1. Обобщенная схема беспроводной инфокоммуникационной системы телеметрии

Беспроводные датчики измерения критических параметров компрессорной станции устанавливаются непосредственно вблизи контроллера, с которым они могут связаться также по беспроводному каналу связи. Такие датчики, на типовой компрессорной станции, представляют собой устройства измерения давления (0–100 бар для газа, 0–10 бар для масла), температуры (–50... +200°C для газов и трубопроводов), вибрации (до 20 мм/с для подшипников), расхода газа (до 100 000 м³/ч), а также газоанализаторы для обнаружения утечек (0–100% НКПР для метана, 0–100 ppm для сероводорода). Дополнительно могут использоваться датчики уровня масла и охлаждающей жидкости с диапазоном измерений 0–100 см. Беспроводные датчики обычно работают в сетях GSM или ZigBee, они создают определенную нагрузку на сеть, передавая данные с периодичностью от 1 секунды (конкретные критические параметры) до нескольких минут (медленно меняющиеся величины). Средний объем передаваемых данных составляет 50–500 байт на датчик за измерение. Для станции со 100 датчиками, передающими каждые 10 секунд, суммарная нагрузка достигает 5–50 кбит/с.

Промоделируем нештатное происшествие. При обнаружении газоанализатором пониженной концентрации газа ниже уровня НКПР и первое время (допустим, 100 секунд) концентрация оставалась на том же уровне. В этом случае датчик замерял концентрацию газа каждые 10 секунд. Далее датчик обнаруживает, что концентрация газа превышает НКПР и посылает его значение на контроллер, который в свою очередь обращается к радиомодулю, чтобы тот передал данные на АРМ. В операторной развернуто специализированное программное обеспечение (например ПО типа SCADA), формирующее автоматизированную систему мониторинга с набором функциональных подсистем, каждая из которых решает конкретные задачи контроля технологических параметров компрессорной станции за счет удаленного мониторинга рабочих параметров и управления системой в реальном времени.

Используемые топологии для реализации беспроводной инфокоммуникационной системы телеметрии. ZigBee поддерживает топологии «точка-точка» и Mesh, что делает ее предпочтительным выбором на участках с отсутствием сотового покрытия. Ключевые преимущества ZigBee — работа в нелицензируемом частотном диапазоне (2,4 ГГц или 433 МГц), низкое энергопотребление и возможность питания от альтернативных источников энергии. Однако эта технология имеет ограничение по скорости передачи данных (до 240 кбит/с), чего, в принципе, достаточно для периодического опроса датчиков, но неприемлемо для передачи видеoinформации. В таких случаях требуются более мощные GSM-модули.

Оптимальной конфигурацией для ZigBee-сетей является Mesh-топология, где каждый датчик не только собирает и передает данные, но и выступает ретранслятором, увеличивая общую зону покрытия за счет многоточечной маршрутизации.

Контроллер отвечает за управление подключенными узлами и хранение их параметров конфигурации. Беспроводные датчики критических параметров компрессорной станции, оснащенные

ZigBee-модулями, комплектуются встроенными запоминающими устройствами и предназначены для сбора, обработки и передачи измерительной информации. Данные в реальном времени поступают в центр управления, где специализированное программное обеспечение поддерживает непрерывный мониторинг состояния сети.

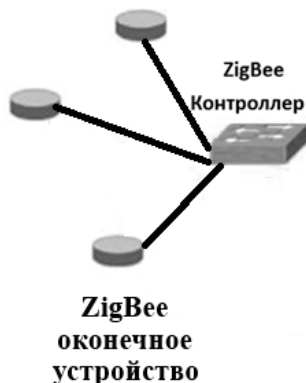


Рис. 2. Структура Mesh-сети

В целом важными аспектами такой телеметрической системы являются ее мобильность и возможность развертывания в труднодоступных местах, таких как территория компрессорной станции. Система обеспечивает оперативный сбор и передачу данных, что позволяет осуществлять постоянный контроль за технологическим процессом.

Сложности при проектировании. Проектирование беспроводной инфокоммуникационной системы телеметрии для компрессорных станций начинается с комплексного анализа технических и эксплуатационных условий. На первом этапе оцениваются особенности объекта: протяженность территории, наличие электромагнитных помех, требования к взрывозащите оборудования и условия окружающей среды, включая температурные режимы и вибрационные нагрузки. Эти факторы напрямую влияют на выбор технологий

и стандартов связи, архитектуры сети и типов датчиков, определяя дальнейшие проектные решения.

Важную роль играет интеграция с существующей инфраструктурой автоматизированных систем управления, что требует тщательного согласования протоколов передачи данных и интерфейсов взаимодействия. Одновременно учитываются требования к энергопотреблению, поскольку многие датчики должны работать автономно в условиях ограниченного электроснабжения.

Экономическое обоснование проекта строится на анализе его совокупной стоимости, включая не только первоначальные затраты на оборудование, но и расходы на эксплуатацию, обслуживание и возможную модернизацию системы. При этом ключевыми критериями становятся надежность, масштабируемость и соответствие отраслевым стандартам безопасности, так как отказоустойчивость системы напрямую влияет на бесперебойность работы всего технологического комплекса.

Вывод. Построение беспроводной инфокоммуникационной системы телеметрии представляет собой сложный комплекс устройств, норм и требований. При проектировании закладывается большое количество нюансов как технологического характера, так и экономики.

Список использованной литературы

1. Барабанова, Е. А. Распределенная система контроля технологических объектов нефтегазовой промышленности на базе беспроводной сенсорной сети / Е. А. Барабанова, Д. Б. Мальцев, В. Н. Есауленко, М. Ф. Руденко. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelennaya-sistema-kontrolya-tehnologicheskikh-obektov-neftegazovoy-promyshlennosti-na-baze-besprovodnoy-sensornoy-seti>. (дата обращения: 22.03.2017).
2. Ерёмин, Н. А., Столяров В. Е. Применение беспроводных решений и технологий в цифровой нефтегазовой добыче / Н. А. Ерёмин, В. Е. Столяров. — URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/>

tsifrovizatsiya/476259-primenenie-besprovodnykh-resheniy-i-tehnologiy-v-tsifrovoy-neftegazovoy-dobyche/. (дата обращения: 22.07.2019).

3. Буц, В. В. Современные решения и подходы к телемеханизации объектов линейной части / В. В. Буц, К. Г. Савенков, А. В. Рошин, С. А. Лавров. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46369019>. (дата обращения: 02.08.2021)

УДК 627.004

В. Э. Черепанова, А. Ю. Бабкин

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

СЖАТИЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
РЕШЕТКИ АППАРАТА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ

г. Сургут

Аннотация. В данной работе представлено исследование сжатия данных, полученных с ультразвуковой решетки.

Ключевые слова: сжатие данных, ультразвуковая решетка, ультразвуковая диагностика, алгоритм, медицина.

V. E. Cherepanova, A. Yu. Babkin

BUVO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

COMPRESSION OF DATA OBTAINED FROM THE ULTRASONIC
ARRAY OF THE ULTRASOUND DIAGNOSTIC DEVICE

Surgut

Abstract. This paper presents a study of data compression obtained from an ultrasonic array.

Keywords: *data compression, ultrasonic grating, ultrasound diagnostics, algorithm, medicine.*

Ультразвуковая решетка обеспечивает изменение положения фокуса без изменения положения самой решетки. Такая технология используется при ультразвуковой диагностике (УЗД). В медицине ультразвук применяется во многих областях. Наибольшую значимость он занимает в проведении диагностик. Ведь ультразвук по сравнению с другими методами обладает следующими преимуществами:

- высокая диагностическая информативность;
- способность оценивать динамические характеристики движущихся структур;
- безвредность обследования для пациента и врача.

При распространении ультразвуковой волны происходит передача энергии. Распространение сопровождается постепенным уменьшением интенсивности сигнала. Это ослабление обусловлено затуханием, поглощением и рассеянием энергии ультразвуковой волны.

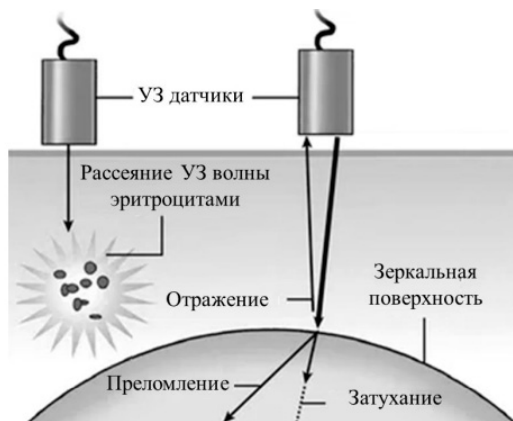


Рис. 1. Затухание ультразвука в ткани

Весь процесс ультразвукового сканирования можно разделить на следующие этапы:

- генерация ультразвуковых волн;
- проникновение ультразвуковых волн в ткани;
- взаимодействие ультразвука с тканями, отражение от границ раздела сред в виде различной силы «эха»;
- преобразование отраженных сигналов в электрический сигнал;
- регистрация электрического сигнала с помощью различных видов регистрации отраженных сигналов.

Ультразвуковая волна, проходя через ткани, может поглощаться. Оставшаяся часть волны может либо рассеяться, либо вернуться обратно к датчику в виде эха. Прохождение ультразвука через ткани зависит от плотности и эластических свойств, при этом эластичность существенно влияет на скорость распространения ультразвука.

Ультразвуковая диагностика использует два типа отражения волн: обычное эхо от неподвижных тканей (эхография) и отражение от движущихся объектов с изменением частоты (доплерография). Эхография — это способ получения информации о строении и работе органов, а также визуализации их срезов, максимально приближенных к реальному состоянию.

Доплерография представляет собой метод диагностики, основанный на эффекте Доплера. Этот эффект проявляется в изменении частоты ультразвуковых волн, которые испускаются неподвижным источником, отражаются от движущихся объектов и затем принимаются неподвижным приемником.

Аппараты УЗД обрабатывают большое количество данных. Передача большого объема данных при этом ограничена пропускной способностью, в результате чего наблюдается замедление работы системы и увеличение времени получения результатов, снижается эффективность ее работы. Высокое разрешение и частота кадров обеспечивает высокое качество изображения, но при этом приводит к большому объему данных, и это является проблемой.

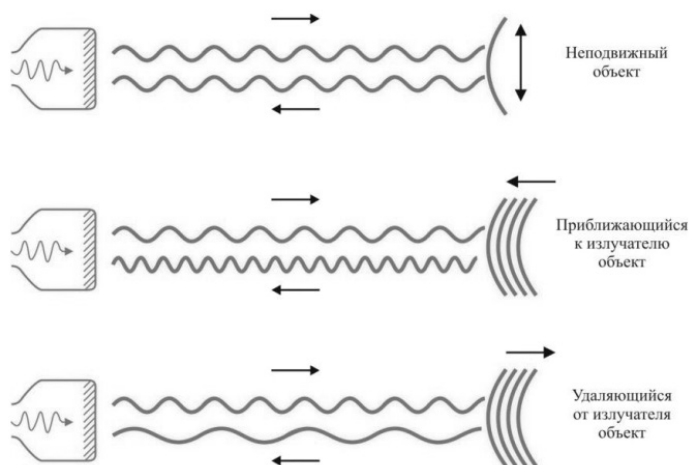


Рис. 2. Схематическое представление эффекта Доплера в зависимости от направления движения отражателя к или от приемника и при отсутствии движения

Уменьшение объема данных позволит оптимизировать работу системы УЗД. Существующие алгоритмы сжатия не учитывают специфику ультразвуковых волн, что не позволяет получить уменьшение объема данных. Таким образом, данная тема актуальна.

Решением проблемы является создание оптимального метода сжатия данных, в котором будет соблюдаться баланс между качеством изображения и степенью сжатия. Так как при сильном сжатии может произойти потеря информации, в то время как слабое сжатие не решает проблему объема данных, алгоритмы сжатия должны быть эффективны, чтобы не замедлять работу систем УЗД.

Таким образом, сжатие данных, полученных с ультразвуковой решетки, является актуальной задачей. Разработка эффективных методов сжатия, которые обеспечивают высокую степень сжатия без существенной потери информации, является важным направлением исследований в медицине.

Список использованной литературы

1. Физические основы визуализации медицинских изображений: учебное пособие / С. И. Хажина, В. В. Войтик, А. А. Кудрейко, М. Х. Зелеев, З. Д. Юсупова. — Уфа: ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2022. — 143 с. — URL: <https://library.bashgmu.ru/elibdoc/elib825.pdf> (дата обращения: 02.04.2025).

2. Ультразвук в медицине: учеб. пособие / А. В. Халиуллина, Б. И. Хайрутдинов; под ред. А. В. Аганова. — Казань: Издательство Казанского университета, 2022. — 116 с. — URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F175699800/Ultrazvuk.v.medicine.pdf> (дата обращения: 02.04.2025).

3. Биофизика сердца: учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 1. Неинвазивные методы исследования сердца / А. А. Кузнецов; Владимир. гос. ун-т имени А. Г. и Н. Г. Столетовых. — Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013. — 220 с. — URL: <https://dspace.www1.vlsu.ru/bitstream/123456789/3396/1/01267.pdf> (дата обращения: 03.04.2025).

4. Алгоритм сжатия на основе вычисления скорости изменения ультразвукового сигнала / О. А. Комемяк. — URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/56669/1/conference_tpu-2019-C120_p73-74.pdf (дата обращения: 03.04.2025).

УДК 621.314

С. В. Шулятицкий, В. В. Мищенко

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА

г. Сургут

Аннотация. В статье представлен детальный обзор электронных оптических трансформаторов тока (ТТЭО), их принципа работы, основанного

на эффекте Фарадея, и преимуществ по сравнению с традиционными индуктивными трансформаторами. Рассмотрены ключевые особенности применения ТТЭО, включая высокую точность измерений, широкий частотный диапазон и устойчивость к внешним воздействиям. Также обсуждаются возможные сложности, такие как требования к квалификации персонала и влияние электромагнитных помех, и перспективы внедрения ТТЭО в энергетических системах.

Ключевые слова: *трансформаторы тока, эффект Фарадея, электронные оптические трансформаторы, точность измерений, энергетические системы, электромагнитные помехи.*

S. V. Shulyatitsky, V. V. Mishchenko

Surgut State University, Surgut

OPTICAL-ELECTRONIC CURRENT TRANSFORMERS

Surgut

Abstract. The article provides a detailed overview of electronic optical current transformers (EOCT), their working principle based on the Faraday effect, and advantages over traditional inductive transformers. Key features of EOCT application are discussed, including high measurement accuracy, wide frequency range, and resistance to external influences. Possible challenges, such as personnel qualification requirements and electromagnetic interference, are also addressed, along with prospects for EOCT integration into power systems.

Keywords: *current transformers, Faraday effect electronic, optical transformers, measurement accuracy, power systems, electromagnetic interference.*

Введение. Современные энергетические системы требуют повышенной точности и качества измерений тока. Одним из инновационных решений, отвечающих этим требованиям, являются электронные оптические трансформаторы тока (ТТЭО). Эти устройства

значительно превосходят традиционные индуктивные аналоги по точности, диапазону частот и устойчивости к внешним воздействиям, что делает их незаменимыми для мониторинга и управления энергосетями.



Рис. 1. Электронно-оптические трансформаторы тока

Основу работы ТТЭО составляет эффект Фарадея, который заключается в изменении плоскости поляризации света под воздействием магнитного поля, где две световые волны с ортогональными циркулярными поляризациями вводятся в многовитковый контур из специального оптического волокна, внутри контура находится проводник с током. Если тока в проводнике нет, световые волны распространяются по волоконному контуру с одинаковой скоростью и на выход контура приходят одновременно. При наличии в проводнике электрического тока оптическое волокно оказывается в магнитном поле протекающего тока. При этом оптические свойства волокна изменяются, и скорость распространения световых волн по контуру становится разной, между волнами на выходе из контура возникает относительный фазовый сдвиг. Таким образом, задача измерения тока волоконно-оптическим методом сводится к точному измерению относительного фазового сдвига между световыми волнами в волоконном чувствительном контуре, находящемся

в продольном магнитном поле электрического тока. Это позволяет измерять ток без прямого контакта с высоким напряжением, что повышает безопасность и точность измерений. В отличие от традиционных трансформаторов, ТТЭО обладают компактными размерами, меньшим весом и не требуют компенсации потерь. Кроме того, они способны работать в широком частотном диапазоне (до 9 кГц), что значительно расширяет их применение.

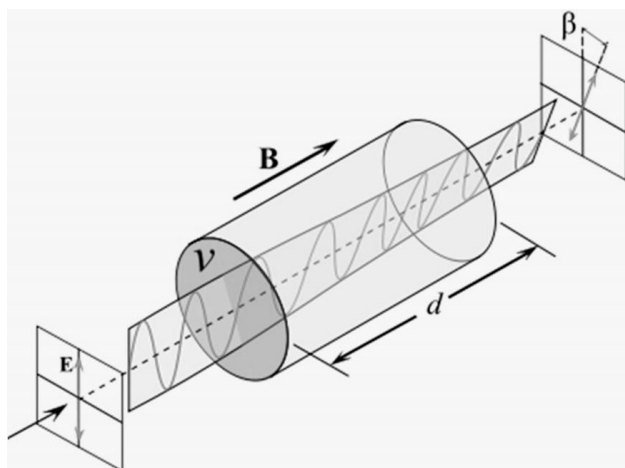


Рис. 2. Принцип измерения тока, основанный на эффекте Фарадея

Несмотря на множество преимуществ, внедрение ТТЭО сопряжено с определенными трудностями. Например, для их установки и обслуживания требуется квалифицированный персонал и специализированное оборудование. Кроме того, хотя ТТЭО обладают высокой устойчивостью к электромагнитным помехам, в условиях сильного внешнего фона могут возникать сбои. Однако эти проблемы решаются за счет грамотного проектирования и соблюдения стандартов эксплуатации.

Первоначальная стоимость ТТЭО выше, чем у традиционных трансформаторов, но их долгосрочная экономическая выгода

очевидна. Благодаря длительному сроку службы, снижению эксплуатационных затрат и высокой точности измерений ТТЭО окупают вложенные средства.

При этом оптические трансформаторы отличаются от традиционных аналогов тем, что данные сразу поступают в цифровом формате, что в свою очередь упрощает их обработку, оборудование легче и компактнее, а также выше пожаробезопасность и надежность. Аналогичные решения уже тестируются на ПС 500 кВ Тобол (Тюменская область) и ПС 220 кВ Борская (Нижегородская область).

В будущем ожидается дальнейшее расширение их применения, включая интеграцию в «умные» сети и промышленные объекты.

Сейчас устройства монтируют на подстанции 220 кВ Надым (Ямало-Ненецкий АО), которая обеспечивает выдачу мощности Уренгойской и Новоуренгойской ГРЭС.

Ранее аналогичные трансформаторы установили в Ханты-Мансийском АО — на подстанциях 500 кВ Сомкинская и Трачуковская, задействованных в электроснабжении нефтегазовых месторождений.

ТТЭО представляют собой перспективную технологию, способную повысить эффективность и надежность энергетических систем. Их внедрение соответствует современным стандартам, таким как ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010, и открывает новые возможности для развития энергетики.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р МЭК 60044-8-2010 «Трансформаторы измерительные. Часть 8: Электронные трансформаторы тока».
2. Иванов, А. В. Современные методы измерений в электроэнергетике / А. В. Иванов, С. К. Петров. — М.: Энергоиздат, 2020. — 256 с.
3. Сидоров, Н. П. Оптические технологии в электроэнергетике: принципы и применение / Н. П. Сидоров. — СПб.: Технолит, 2019. — 180 с.

4. Рекомендации CIGRE «Применение электронных трансформаторов тока в smart grid». — Рабочая группа B5-42, 2022.

5. Кузнецов, Е. А. Перспективы внедрения ТТЭО в цифровые подстанции / Е. А. Кузнецов // Энергетика и промышленность России, 2023. — № 5. — С. 34–39.

УДК 621.315.1

Н. Е. Завьялов

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

НОВЫЙ ПОДХОД К ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ МАЛОНАСЕЛЕННЫХ РАЙОНОВ

г. Сургут

Аннотация. В работе представлено описание устройства системы электроснабжения малонаселенных территорий путем максимального приближения высокого напряжения к потребителям электрической энергии, а именно замена мощных трансформаторных подстанций на небольшие.

Ключевые слова: малонаселенные территории, трансформаторные подстанции, линии электропередачи, надежность электроснабжения.

N. E. Zavyalov

Surgut State University, Surgut

A NEW APPROACH TO POWER SUPPLY IN SPARSELY POPULATED AREAS

Surgut

Abstract. The paper describes the device of an electric power supply system in sparsely populated areas by maximizing the proximity of high voltage

to consumers of electric energy, namely, the replacement of powerful transformer substations with small ones.

Keywords: *sparingly populated areas, transformer substations, power transmission lines, reliability of power supply.*

Введение. В последние десятилетия проблема электроснабжения малонаселенных пунктов, расположенных вдали от крупных городов, становится все более актуальной. Удаленность таких населенных пунктов от централизованных электросетевых объектов делает традиционные способы электроснабжения, включающие в себя строительство линий электропередачи, экономически нецелесообразными. При этом наличие надежного и доступного источника электроэнергии играет критическую роль в обеспечении повседневной жизни таких населенных пунктов, включая освещение, отопление и доступ к современным технологиям, необходимым для комфортного существования. Однако наличие различных альтернативных решений предполагает необходимость в систематическом анализе их эффективности с учетом различных условий, например таких как климатические условия.

Качественное электроснабжение малонаселенных пунктов возможно за счет внедрения современных технологий — возобновляемых источников энергии. Например, солнечные панели и ветровые установки могут быть использованы для минимизации зависимости от централизованных электрических сетей и повышения энергетической самостоятельности удаленных малонаселенных объектов. Однако, несмотря на очевидные преимущества, подобные технологии все еще остаются недостаточно известными и редко применяются в отдаленных регионах.

Недостатки традиционных подходов электроснабжения. Традиционные системы электроснабжения предполагают передачу электрической энергии от источников питания до потребителя через несколько этапов трансформации, в связи с чем процесс

передачи электрической энергии сопровождается потерями не только в линиях электропередач, но и в трансформаторах. При этом, если речь идет об удаленных от узлов централизованной энергосистемы малонаселенных территориях, подобные системы имеют ряд существенных недостатков.

Во-первых, строительство таких электросетевых комплексов, как мощные трансформаторные подстанции, требует значительных финансовых вложений. Для небольших удаленных населенных пунктов эти затраты могут оказаться нерентабельными. Кроме того, в случае аварийного отключения части электроустановки рассматриваемые районы могут оказаться без электроснабжения на длительное время, поскольку отсутствует поблизости квалифицированный персонал (необходимо ждать приезда оперативной бригады), кроме того, база с необходимыми ремкомплектами также чаще всего располагается в административных центрах.

Во-вторых, в случае нарушения работы крупной подстанции применяется аварийное отключение, от системы электроснабжения отключается большое количество потребителей, что может вызвать серьезные проблемы в обеспечении жизнедеятельности удаленных населенных пунктов, особенно в зимний период.

В-третьих, поскольку потери электрической энергии зависят от величины тока, протекающего по токоведущим частям, в традиционных системах распределения электрической энергии наблюдаются значительные потери электрической мощности в сетях 0,4 кВ.

В результате, несмотря на то что традиционные подходы электроснабжения обеспечивают потребности крупных городов и промышленных районов, их использование для малонаселенных пунктов оказывается малопродуктивным и дорогостоящим. Это подчеркивает необходимость разработки новых, более гибких и адаптивных решений для устойчивого электроснабжения удаленных малонаселенных территорий.

Перспективный способ обеспечения электрической энергией. С учетом недостатков традиционных подходов к электроснабжению малонаселенных пунктов предлагается новая методология, которая основывается на установке небольших трансформаторов в непосредственной близости от жилых зданий. Основным принципом заключается в создании локальных энергетических узлов, которые обеспечивают потребности населения без необходимости в крупной инфраструктуре, такой как мощные трансформаторные подстанции.

Предлагаемый в работе способ электроснабжения подразумевает использование малогабаритных трансформаторов и модульных систем, что позволяет сократить как финансовые, так и временные издержки на их установку. Такие трансформаторы можно разрабатывать с учетом специфики каждого района, учитывая, например, уровень электропотребления и особенности географического расположения. Поскольку небольшие трансформаторы могут функционировать в условиях ограниченного пространства, они могут быть установлены даже в труднодоступных местах, обеспечивая тем самым надежное электроснабжение.

Кроме того, установка трансформаторов непосредственно в жилых зонах значительно упрощает процесс обслуживания и ремонта. В случае неисправности или необходимости технического обслуживания специалисты могут быстро добраться до оборудования, что минимизирует время простоя и возможности отключения электроэнергии. Это является важным аспектом для малонаселенных территорий.

К тому же новая методология может быть интегрирована с возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечные панели и ветровые генераторы.

Таким образом, предложенная система электроснабжения позволяет не просто решить текущие проблемы с электроснабжением, но и подготовить основу для будущего развития удаленных малонаселенных пунктов.

Создание локальных энергетических узлов становится все более актуальным решением проблемы электроснабжения удаленных малонаселенных пунктов.

Локальные энергетические узлы могут эффективно использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечные панели, ветровые установки или малые гидроэлектростанции. Такие решения не требуют значительных капитальных вложений в создание длинных линий электропередач и мощных трансформаторных подстанций.

Ключевым преимуществом локальных энергетических узлов является их способность адаптироваться к потребностям местного населения. Каждый узел может быть индивидуально спроектирован с учетом условий конкретной территории, специфики потребления электроэнергии. Более того, использование местных источников энергии способствует микроэкономическому росту за счет создания новых рабочих мест, связанных с обслуживанием и управлением локальными узлами.

Несмотря на все преимущества, внедрение локальных энергетических узлов может столкнуться с определенными вызовами, связанными с правовыми и техническими аспектами. Необходимо провести комплексные исследования относительно их интеграции в существующие энергосистемы и разработать соответствующие регуляторные механизмы.

Вывод. В ходе проведенного исследования была выработана комплексная методология решения проблемы электроснабжения удаленных малонаселенных пунктов, направленная на улучшение качества жизни населения и создание условий для устойчивого развития территорий.

Установка небольших трансформаторов непосредственно вблизи потребителей позволит существенно уменьшить потери энергии, связанные с передачей электроэнергии. Такой подход ведет к снижению тарифов на электричество для конечных пользователей,

что делает электроснабжение более доступным, особенно в отдаленных и малонаселенных районах.

Важным выводом исследования является необходимость организации системного подхода к внедрению новых технологий, что включает в себя не только установку оборудования, но и развитие необходимых навыков у местного населения. Обучение специалистов, ответственных за эксплуатацию локальных энергетических узлов и трансформаторов, обеспечит долгосрочное и эффективное функционирование нововведений. Это создаст рабочие места и повысит уровень социальной уверенности среди населения, что, в свою очередь, будет способствовать росту вовлеченности жителей в локальное самоуправление.

Таким образом, предлагаемые решения в области электроснабжения малонаселенных пунктов подтверждают свою эффективность не только с экономической точки зрения, но и в контексте обеспечения устойчивого развития.

Список использованной литературы

1. Кудрин, Б. И. О концепции электроснабжения малых населенных пунктов / Б. И. Кудрин, Ю. В. Кошарная, П. Г. Кучин // Вестник ВИЭСХ. — 2012. — № 4(9). — С. 6–12.

2. Местников, Н. П. Децентрализованная система электроснабжения малочисленных населенных пунктов Якутии с использованием гибридных станций с солнечными панелями и суперконденсаторами / Н. П. Местников // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием : Секции 1–5, Нерюнгри, 29–31 марта 2018 года. — Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) СВФУ, 2018. — С. 103–105. — DOI 10.18411/a-2018-62.

3. Иванов, Г. В. Проектирование системы электроснабжения общественных зданий с интегрированными в нее возобновляемыми источниками энергии / Г. В. Иванов, Л. В. Владимиров,

Е. Ю. Кислицин // Вестник кибернетики. — 2022. — № 2(46). — С. 55–60. — DOI 10.34822/1999-7604-2022-2-55-60.

4. Гуков, П. О. Электроснабжение сельского населенного пункта с повышением надежности защиты линий 0,38 кВ / П. О. Гуков, М. И. Аксенова // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 06–07 июня 2019 года / Под общей редакцией В. А. Гулевского. Часть I. — Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. — С. 78–83.

5. Горбунова, Л. Н. Выбор схемы электроснабжения сельских населенных пунктов / Л. Н. Горбунова, Ч. В. Шыдаева // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : материалы Международной научной конференции, Красноярск, 19 ноября 2020 года. — Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2020. — С. 67–70.

УДК 004.032

Д. М. Аршинский

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЦЕПЯМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ PLC: ПРИНЦИПЫ, ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается технология передачи данных по цепям электропитания (PLC), которая представляет собой один из современных методов передачи информации с использованием существующих электрических сетей. PLC позволяет одновременно передавать

электрическую энергию и данные, интегрируя функции связи и энергетики. Исследуются основные принципы функционирования технологии. Данная работа подводит к выводу о значительном потенциале PLC в контексте развития интернета вещей, выделяя необходимость дальнейших исследований в этом направлении.

Ключевые слова: *промышленный интернет вещей, PLC, Power Line Communication, данные, обработка данных, электрические сети, система передачи данных телекоммуникационная технология.*

D. M. Arshinskiy

BI of HE, Surgut State University, Surgut

PLC POWER SUPPLY CHAIN DATA TRANSMISSION TECHNOLOGY — PRINCIPLES, CHARACTERISTICS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Surgut

Abstract. The article discusses the technology of data transmission over power supply circuits (PLC), which is one of the modern methods of information transmission using existing electrical networks. PLC allows simultaneous transmission of electrical energy and data, integrating communication and energy functions. The basic principles of technology functioning are investigated, including. The features and advantages are described. This work leads to the conclusion about the significant potential of PLC in the context of the development of the Internet of Things, highlighting the need for further research in this direction.

Keywords: *industrial Internet of Things, PLC, Power Line Communication, data, data processing, electrical networks, data transmission system, telecommunication technology.*

PLC (Power Line Communication) — это технология передачи данных, которая позволяет использовать существующие электрические линии для передачи информации. Это достигается за счет

модуляции сигналов данных на высокочастотных уровнях, которые могут передаваться по обычным электросетям [3].

Основные характеристики PLC: простота установки (не требуется прокладывать новые кабели); широкий охват (данные могут передаваться на большие расстояния через электрические линии) [3].

PLC позволяет интегрировать управление и мониторинг различных устройств, обеспечивая эффективную и экономически выгодную связь, и широко используется как в домашней автоматизации, так и в промышленных системах управления, а также и для соединения устройств в интеллектуальных зданиях [3].

Технология PLC начала развиваться в середине XX века. Обусловливалось это тем, что была необходимость передачи данных там, где было нерационально и нецелесообразно использовать телеграфы и телефонные линии. Первая разработка концепции передачи данных через электрическую сеть была осуществлена в 1950-х годах. В это время исследовались возможности передачи информации через низковольтные линии электропередачи [9, 1].

Активное развитие технологии началось в 1970-х годах. В это время были разработаны первые протоколы и стандарты для передачи данных по периферийным устройствам, использующим электрические сети. Начали проводить эксперименты с модуляцией сигналов для улучшения качества передачи [7, 4].

В 1990-х годах технология PLC стала более актуальной с появлением новых технологий модуляции, которые позволили значительно увеличить скорость передачи данных. Также началось внедрение коммерческих приложений, таких как системы умного дома и автоматизации [7, 4].

В начале 2000-х годов разработаны первые стандарты, такие как HomePlug и G.hn, которые способствовали массовому внедрению PLC. Устройства, поддерживающие эти стандарты, начали появляться на рынке, что сделало технологию доступной для широких масс [7, 4].

Дальнейшее развитие происходило с фокусом на улучшении надежности и скорости соединения. Разрабатывались новые варианты модуляции и схемы защиты от помех. Увеличившееся внимание к интернету вещей привело к росту интереса к технологии PLC [9, 7].

Сегодня PLC продолжает эволюционировать с акцентом на интеграцию с другими технологиями связи и улучшение уровня безопасности передачи данных. Системы PLC активно используются в умных городах, в системах распределенного энергетического контроля и для устройств IoT, что открывает новые горизонты для дальнейшего развития и применения технологии.

Таким образом, технология передачи данных по цепям питания PLC претерпела значительные изменения и продолжает играть важную роль в современном мире, связывая вопросы энергетики и связи.

В работе [4] автор приводит структуру области применения технологии PLC (рис. 1).

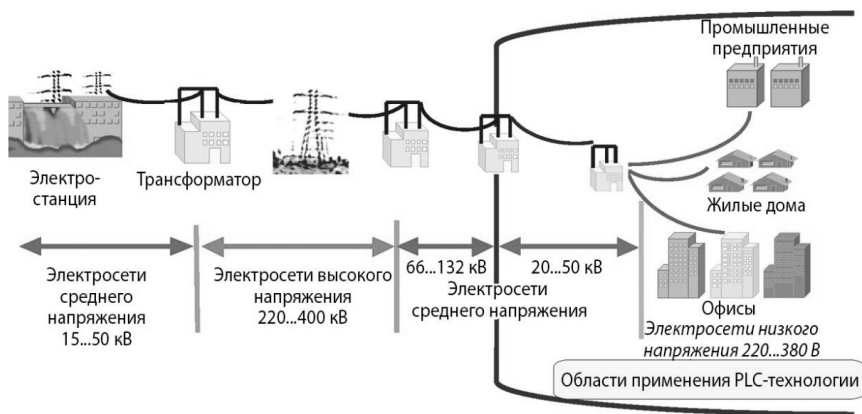


Рис. 1. Структура области применения технологии PLC [4]

Технология PLC активно применяется в сферах от жилых домов до промышленности. PLC позволяет интегрировать различные устройства в одном доме, такие как освещение, безопасность,

климат-контроль и бытовая техника, обеспечивая управление ими через электрическую сеть. Технология используется для связи между различными промышленными системами и устройствами, что способствует мониторингу и управлению производственными процессами на предприятиях. PLC применяется для передачи данных о состоянии электрических сетей, что позволяет эффективно управлять распределением энергии и проводить мониторинг нагрузки. Системы умного учета электроэнергии используют PLC для передачи данных о потреблении непосредственно от счетчиков. PLC служит основой для подключения различных IoT-устройств, обеспечивая их работу без необходимости прокладывать дополнительные кабели. Это особенно полезно в местах, где ограничена возможность прокладки новых линий, но сохраняется необходимость передачи данных, например, кустовые месторождения, промышленные базы или заводы. Технология PLC может быть использована в системах видеонаблюдения и сигнализации, обеспечивая передачу данных о безопасности объектов, что повышает уровень защиты. Системы контроля доступа, использующие PLC, обеспечивают связь между устройствами и центрами обработки данных, позволяя управлять безопасностью объектов и обеспечивать высокий уровень контроля [4, 2].

Таким образом, технологии PLC предоставляют множество возможностей для интеграции и автоматизации в самых различных сферах, делая их актуальными и востребованными в современном мире [4, 2].

Технология передачи данных по цепям питания (PLC) может эффективно интегрироваться с другими широкополосными технологиями, создавая гибридные системы связи. Приведем примеры взаимодействия [4]:

1. PLC и Wi-Fi. PLC может служить в качестве решения для расширения покрытия Wi-Fi. Используя существующие электрические сети, можно создать дополнительные точки доступа, обеспечивающие стабильный интернет в труднодоступных местах, хотя это и имеет ряд сложностей.

2. PLC и Ethernet. Комбинация PLC и Ethernet позволяет объединить преимущества обеих технологий. PLC может использоваться для передачи данных к точкам Ethernet, что обеспечивает надежное соединение в условиях, где прокладка кабелей сложна или невозможна.

3. PLC и Zigbee, Z-Wave. Эти беспроводные протоколы могут работать параллельно с PLC, обеспечивая связь между устройствами интернета вещей. PLC может быть основной технологией для передачи данных, в то время как Zigbee или Z-Wave будут использоваться для связи между конечными устройствами.

4. PLC и LoRaWAN. Системы, использующие LoRaWAN для передачи низкоскоростных данных, могут быть дополнены PLC для передачи информации на более высоких скоростях, обеспечивая интеграцию различных типов данных в единое решение.

Использование PLC-технологий создает возможности для передачи данных, расширения сетевой инфраструктуры и автоматизации на промышленных объектах [4].

Рассмотрим основные параметры проводных технологий, их достоинства и недостатки. Для этого воспользуемся данными, приведенными автором в [4], — таблица 1.

По данным, приведенным в таблице, видно, что технология PLC в настоящее время является своеобразной «золотой серединой» среди аналогичных проводных технологий.

Таблица 1. — Основные параметры проводных технологий

Наименование параметра	Технология					
	HFC	ADSL	VDSL		PLC	FTTH
Диапазон рабочих частот, МГц (полоса частот/канал, МГц/канал)	5...1000, (6...8)	до 1,1		до 2,2	1...30	1000

Пропускная способность, Мбит/(расстояние, км)	США: 3...4, Канада: до 10, Великобритания: 1...8, Франция: до 100	1,5 (5,4)... 12 (0,3)	13 (1,3)... 52 (0,3)	7,5 (2,7)... 26 (0,3)	200, пиковая, для узла сети: 2...4	1 Гбит/ канал
Максимальное расстояние, км	100 (с использованием усилителей)	5,4	1,3	2,7	3 (10...50 кВ); 0,2 (0,22... 0,38 кВ)	20
Параметры развертывания	Просто при наличии ТВ-кабеля. Большие затраты при создании новой сети	Просто при наличии точек подключения			Легко. Не требуется прокладка кабеля	Большие проблемы при прокладке кабеля
Преимущества	Можно использовать существующие сети кабельного ТВ	Возможность использования уже существующих точек подключения			Наличие разветвленной инфраструктуры	Очень широкий диапазон частот
Недостатки	Ограниченная пропускная способность. Асимметричность	Скорость передачи в большой степени зависит от расстояния. Асимметричность			Отсутствие единого стандарта	Большие затраты при создании сети

Линии электропередачи представляют собой перспективную физическую среду для передачи данных, что обусловлено рядом

ключевых факторов: широкой доступностью инфраструктуры; экономической эффективностью; использованием уже существующей инфраструктуры; современными технологиями PLC, способными передавать данные на высоких скоростях; устойчивостью к внешним помехам; интеграцией с другими системами [4, 8].

При этом следует учитывать и вызовы, такие как возможные проблемы с качеством сигнала на больших расстояниях и помехи, возникающие из-за работы электроприборов. Тем не менее использование линий электропередачи как физической среды для передачи данных предлагает множество преимуществ и возможностей для развития технологий связи [4, 8].

Бесспорно, беспроводные сети имеют множество преимуществ, в сравнении с проводной технологией PLC. Беспроводные сети позволяют устройствам подключаться к сети без проводов, что обеспечивает большую свободу передвижения и гибкость в размещении оборудования. Создание беспроводной сети требует значительно меньше времени и ресурсов. Установка маршрутизатора и настройка устройств обычно проще и быстрее, чем прокладка проводов. Беспроводные технологии могут покрывать большие расстояния без необходимости в дополнительных кабелях, что делает их идеальными для использования в больших и сложных пространствах. С беспроводными сетями можно легко подключать мобильные устройства, такие как смартфоны и планшеты, что особенно важно в современном мире с повышенной потребностью в мобильности. Беспроводные сети не требуют модификации электрической инфраструктуры, что снижает сложности и расходы, связанные с внедрением новых технологий. Добавление новых клиентов в беспроводную сеть, как правило, делается проще, чем в PLC. Беспроводные сети поддерживают современные протоколы связи, такие как Wi-Fi, Bluetooth и другие, что обеспечивает взаимодействие с множеством различных устройств и платформ. Беспроводные сети не зависят от состояния электросети, поскольку используют собственную

среду передачи (воздух), что уменьшает влияние электромагнитных помех от других устройств [4, 6, 5].

Однако беспроводные сети также имеют ряд недостатков:

1. Сигнальные помехи. Беспроводные сети подвержены влиянию электромагнитных помех, которые могут ухудшить качество соединения.

2. Дальность действия. Дальность действия беспроводных сигналов может быть ограничена, так как стены, потолки и другие препятствия могут ослабить, или блокировать сигнал, или снизить скорость соединения.

3. Защита. Беспроводные сети могут быть более уязвимыми к взломам и несанкционированному доступу, поэтому необходимы дополнительные меры безопасности, такие как шифрование и использование сложных паролей.

4. Число подключений. При подключении большого количества устройств к одной сети производительность может значительно снизиться.

5. Внешние факторы. Беспроводные соединения могут быть менее надежными, чем проводные, например, из-за влияния погодных условий.

6. Питание. Устройства требуют постоянного источника питания или возможности подзарядки, что может создавать трудности в ситуациях, где доступ к электросети ограничен

7. Настройка и спецификация оборудования. Для приема и передачи данных через беспроводные сети и PLC требуется определенное оборудование.

Эти недостатки показывают, что при выборе между беспроводной сетью и технологией PLC важно учитывать конкретные условия и требования использования, что делает необходимым и важным дальнейшие исследования в этом направлении.

Список использованной литературы

1. Шишкин, Ф. Д. Технология Power Line Communication и ее применение / Ф. Д. Шишкин, С. А. Бростилов, В. А. Трусов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. — 2015. — № 18. — С. 402–406.
- 2 Щедрин, С. Технология передачи данных по силовым линиям идет в массы / С. Щедрин // Компоненты и технологии. — 2006. — № 1(54). — С. 90–92.
3. Жилкина, Н. Альтернатива СКС? / Н. Жилкина // Журнал сетевых решений/LAN (электр. журн.). — 2006. — URL: <https://www.osp.ru/lan/2006/02/377789> (дата обращения: 15.04.2025).
4. Охрименко, В. PLC-технологии. Часть 1 / В. Охрименко // Электронные компоненты (электр. журн. № 10). — 2009. — URL: <https://russianelectronics.ru/plc-tehnologii-chast-1/> (дата обращения: 11.04.2025).
5. Пуделякин, Н. Передача данных от «умных» счетчиков электроэнергии (электр. журн.) / Н. Пуделякин. — 2022. — URL: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/7327/> (дата обращения: 15.04.2025).
6. Чернюк, А. Связь по электросети: кому и зачем это нужно (электр. журн.) / А. Чернюк. — 2015. — URL: https://telecom.cnews.ru/articles/svyaz_po_elektroseti_komu_i_zachem_eto_nuzhno (дата обращения: 14.04.2025).
7. Power Line Communications. Цифровая электроника вычислительная техника встраиваемые системы. — URL: <http://digitrode.ru/articles/77-power-line-communications.html> (дата обращения: 15.04.2025).
8. Pablo Gagliardo. Take advantage of power line communications in nextgen home networking & IPTV designs. — CommsDesign. — 2009. — URL: <https://www.embedded.com/take-advantage-of-powerline-communications-in-nextgen-home-networking-iptv-designs/> (дата обращения: 15.04.2025).

9. Wikipedia. Связь по ЛЭП. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Связь_по_ЛЭП (дата обращения: 15.04.2025).

УДК: 004.896

Ю. А. Путинцев

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

СЕНСОРНАЯ СЕТЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ИОТ-ШЛЮЗОВ, КОНВЕРТИРУЮЩИХ ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается проблема несовместимости технологий на разных участках беспроводных сенсорных сетей, используемых для мониторинга магистральных нефтепроводов. Предложено решение на основе промышленных IoT-шлюзов, конвертирующих протоколы передачи данных. Особое внимание уделено вопросам обеспечения бесперебойной работы в экстремальных климатических условиях Сибири.

Ключевые слова: *беспроводные сенсорные сети, IoT-шлюзы, мониторинг нефтепроводов, несовместимость технологий.*

Y. A. Putintsev

Surgut State University, Surgut

SENSOR NETWORK USING INDUSTRIAL IOT GATEWAYS
CONVERTING DATA TRANSFER PROTOCOLS

Surgut

Abstract. The article considers the problem of incompatibility of technologies in different sections of wireless sensor networks used to monitor

main oil pipelines. A solution based on industrial IoT gateways that convert data transfer protocols is proposed. Particular attention is paid to ensuring uninterrupted operation in the extreme climatic conditions of Siberia.

Keywords: *wireless sensor networks, IoT gateways, oil pipeline monitoring, incompatibility of technologies.*

Введение. Проблема несовместимости технологий на разных участках беспроводной сенсорной сети (БСС) в нефтегазовой отрасли остается актуальной, особенно для территориально распределенных промышленных объектов. Это приводит к снижению надежности мониторинга, усложнению процесса обслуживания, увеличению затрат компаний, использующих беспроводные сенсорные сети. Помимо этого, несовместимость технологий на разных участках сети может являться причиной задержек в передаче данных и проблем с интеграцией в единую систему управления.

Цель проекта. Повышение надежности и безотказности работы беспроводной сенсорной сети, минимизация потерь данных в компаниях, использующих данные технологии.

Проблематика. Проблема заключается в том, что при организации беспроводных систем телеметрии территориально распределенных промышленных объектов возникает несовместимость технологий на разных участках сети, что не обеспечивает необходимого качества работы всей системы телеметрии.

Эта проблема возникла и существует по сей день из-за нескольких факторов:

1) Историческая фрагментация стандартов. Ранние системы мониторинга разрабатывались разными компаниями под конкретные задачи, а также не было единого отраслевого стандарта для беспроводных датчиков, поэтому каждый производитель создавал свои решения.

2) Разные требования к сетям на разных участках. Удаленные участки требуют технологий с большой дальностью работы.

Критические зоны (компрессорные станции) нуждаются в высокоскоростных и надежных протоколах. Это приводит к использованию разных технологий в одной сети.

3) Разные поколения оборудования. Старое оборудование не поддерживает новейших протоколов.

Проблема рассматривается в нефтегазовой промышленности. Замена всей инфраструктуры на единый стандарт будет требовать огромных инвестиций. К тому же компании предпочитают точечные апгрейды, а не полный редизайн сети. Плюс ко всему — не существует одного конкретного «победившего» стандарта, одни технологии хороши для одних задач, другие технологии — для других.

Предлагаемое решение. Решение заключается в разработке сенсорной сети с учетом условий местности локальной привязки с использованием промышленных IoT-шлюзов, конвертирующих протоколы передачи данных.

Требования к системе

1) Обеспечение непрерывной работы устройств сенсорных сетей в момент передачи или приема информации.

2) Обеспечение должного качества передачи и приема сигнала независимо от расстояния.

3) Обеспечение возможности резервирования каналов связи системы.

4) Обеспечение совместимости технологий на разных участках сети.

5) Возможность масштабирования системы.

Сценарии использования

1. Сбор и передача данных о состоянии трубопровода.

2. Обход узлов связи при выходе их из строя.

3. Техническое обслуживание и диагностика сети.

4. Интеграция с системой управления трубопроводом.

Схема использующей системы, включающей разрабатываемый объект профессиональной деятельности и ее описание.

На рис. 1 отображена структурная схема организации беспроводной сенсорной сети мониторинга параметров технического состояния нефтепровода с использованием промышленных IoT-шлюзов, конвертирующих протоколы передачи данных.

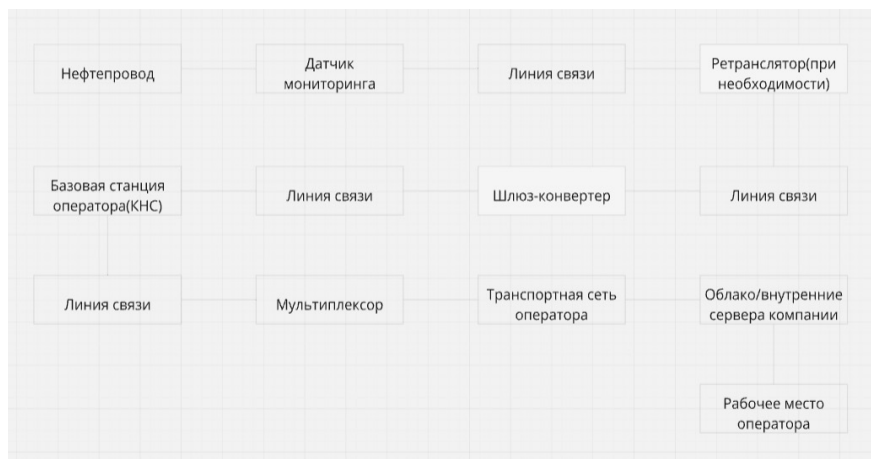


Рис. 1. Структурная схема организации беспроводной системы мониторинга

Основным объектом мониторинга является нефтепровод.

Датчики мониторинга фиксируют различные параметры технического состояния нефтепровода, такие как температура, давление, вибрация и другие, и передают информацию ретранслятору, если установка такового в конкретной части беспроводной сенсорной сети необходима, по протоколу NB-IoT. Стоит учесть, что в данной системе можно использовать LoRaWAN, но NB-IoT будет предпочтительнее, поскольку его основной диапазон частот свободен, в то время как основной диапазон частот LoRaWAN в России частично занят другими службами, что ограничивает мощность и дальность передачи.

Передача данных между каждым объектами внутри сети осуществляется по линиям связи.

От ретранслятора данные поступают на шлюз-конвертер, конвертирующий один протокол передачи данных в другой с целью обеспечения совместимости технологий на разных участках сети, по протоколу NB-IoT.

От шлюза-конвертера данные поступают на базовую станцию оператора, расположенную в данном случае на компрессорно-насосной станции (КНС), используется Ethernet — если подразумевается проводное подключение, Wi-Fi — если беспроводное, сотовая связь 4G/LTE — если КНС удалена.

Ретранслятор и шлюз-конвертер при необходимости можно объединить в одно устройство.

С базовой станции информация передается в транспортную сеть оператора посредством мультиплексора. С базовой станции данные переходят в мультиплексор посредством оптоволокна, поскольку необходимо обеспечить высокую пропускную способность из-за необходимости передавать видеоданные с КНС.

Мультиплексор агрегирует разные потоки данных, объединяет в общий транспортный канал медиатрафик с видеонаблюдения на КНС и данные телеметрии с датчиков. Затем мультиплексор передает объединенные данные в транспортную сеть оператора через цифровой поток E1, откуда они поступают в облако либо на внутренние серверы компании.

После этого информация отображается в устройстве на рабочем месте оператора через Web-интерфейс или SCADA-систему. Этим устройством может выступать промышленный компьютер.

Функциональная модель разрабатываемого объекта профессиональной деятельности и ее описание. Функциональная модель объекта проектирования, показанная на рис. 2, 3, 4, демонстрирует последовательность операций, необходимых для передачи данных и мониторинга газопровода. Схема позволяет проследить путь массивов данных, начиная с их приема и подачи на вход системы,

затем через различные этапы обработки, и в конечном итоге — получение информации о различных параметрах.

Ниже перечислены модули, обеспечивающие выполнение функций данной модели.

Модуль датчика разряда батареи электропитания осуществляет «Ф1. Оценка уровня разряда батареи электропитания».

Модуль резервного блока питания ответственен за «Ф2. Обеспечение резервного питания устройств».

Конвертер протоколов передачи данных выполняет «Ф3. Формирование и передача данных в исходном формате».

Модуль связи выполняет «Ф4. Управление и направление трафика» и «Ф5. Доставка информации из удаленных участков сети».

Модуль мультимплексора выполняет «Ф6. Агрегация, синхронизация и транспортировка данных».

Модуль промышленного компьютера выполняет «Ф7. Прием и визуализация данных о качестве связи».

Ключевой элемент функциональной модели — данные, поступающие с датчиков. Они содержат следующие ключевые характеристики:

1) Параметры сети: качество сигнала, уровень шумов, процент потерь пакетов, задержки передачи.

Эти показатели фиксируются специализированным модулем, размещенным на базовой станции.

2) Состояние элементов питания: уровень заряда аккумуляторов, напряжение, ток заряда/разряда, остаточный ресурс батарей.

Контроль энергообеспечения критически важен для поддержания бесперебойной работы системы и минимизации риска внеплановых отключений.

Собранные сенсорные данные служат исходной информацией для последующей обработки и аналитики. На их основе осуществляется:

- Мониторинг работоспособности сети.
- Оценка качества связи.

- Управление энергопотреблением.
- Формирование управляющих решений.

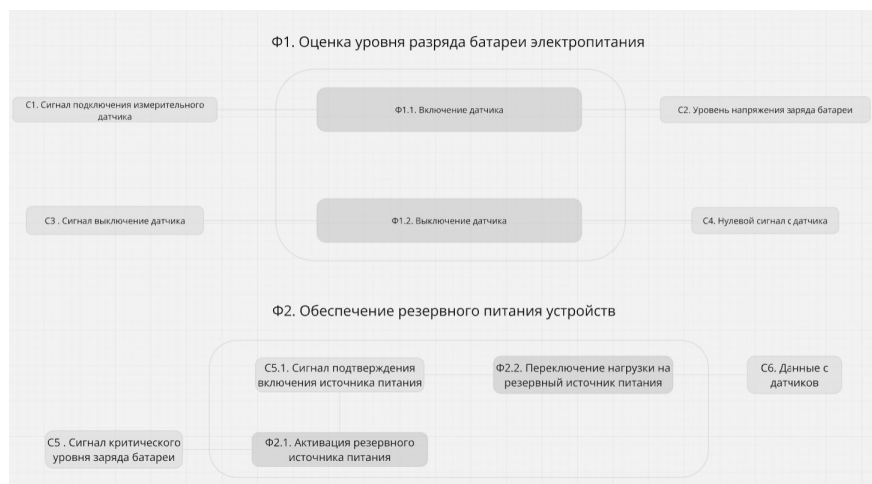


*Рис. 2. Ф1. Оценка уровня разряда батареи электропитания;
Ф2. Обеспечение резервного питания устройств*



*Рис. 3. Ф3. Формирование и передача данных в исходном формате;
Ф4. Управление и направление трафика*



Рис. 4. Ф5. Доставка информации из удаленных участков сети;

Ф6. Агрегация, синхронизация и транспортировка данных;

Ф7. Прием и визуализация данных о качестве связи

Заключение. Предложенное решение на основе промышленных IoT-шлюзов позволяет повысить надежность беспроводных сенсорных сетей в нефтегазовой отрасли. Реализация системы с учетом описанных требований обеспечит бесперебойный мониторинг параметров трубопроводов даже в экстремальных климатических условиях.

Список использованной литературы

1. Рогозинский, Г. Г. Применение методов сонификации потоков данных и сенсорных сетей в системе распределенной генерации звуковых образов / Г. Г. Рогозинский, А. В. Щекочихин// Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : сборник научных статей V международной научно-технической и научно-методической конференции. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. — Том 1. — 2016. — С. 520–524.

2. Дуйнова, Ю. А. Модифицированный алгоритм оптимизации обработки сообщений глобальной сети датчиков сигнализации /

Ю. А. Дуйнова, О. В. Панчук // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи. — Учредители: Белорусская государственная академия связи, г. Минск, Республика Беларусь, 2019. — № 1. — С. 14–15.

УДК 004.052.3

Н. А. Прислегин

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ПОВЫШЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ
РЕЗЕРВНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ МЕЖДУ ПРОМЫШЛЕННЫМИ
ОБЪЕКТАМИ КОМПАНИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА

г. Сургут

Аннотация. В представленной статье рассмотрен способ повышения отказоустойчивости резервной оптической линии связи между объектами топливно-энергетического комплекса в случае выхода из строя арендуемого у смежных партнеров телекоммуникационного оборудования, при авариях, а также при неблагоприятных природных условиях. В результате предлагается комплексный подход к резервированию телекоммуникационного оборудования, способствующий повышению качества резервных линий связи для подразделения, обслуживающего нефтедобывающую компанию.

Ключевые слова: *резервирование канала, отказоустойчивость, оптическая линия.*

N. A. Prislegin

Surgut State University, Surgut

INCREASING THE FAULT TOLERANCE
OF THE BACKUP COMMUNICATION LINE BETWEEN INDUSTRIAL
FACILITIES OF FUEL AND ENERGY COMPLEX COMPANIES

Surgut

Abstract. The presented article considers a method for increasing the fault tolerance of a backup optical communication line between fuel and energy complex facilities in the event of failure of telecommunications equipment leased from related partners, in case of accidents, and also in adverse natural conditions. As a result, a comprehensive approach to the backup of telecommunications equipment is proposed, which helps improve the quality of backup communication lines for a division servicing an oil producing company.

Keywords: *channel reservation, fault tolerance, optical line.*

Введение. Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) — критически важная отрасль, где бесперебойная связь и отказоустойчивость телекоммуникационной сети между промышленными объектами напрямую влияет на безопасность и эффективность работы. Современные системы управления требуют высокой надежности и живучести линий передачи данных, особенно в условиях внешних ситуаций. На сегодняшний день компании ТЭК используют комбинированные подходы к резервированию линий связи, включая аренду волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) у нескольких операторов и развертывание радиорелейных резервных каналов. Однако эти методы не лишены недостатков. В статье рассматривается комплексный подход к резервированию производственной сети связи, включающий в себя основную и резервную ВОЛС, а также радиорелейную линию.

Важным условием для стабильного функционирования сети является отказоустойчивость. Минутный сбой в работе может привести к печальным последствиям. Поэтому для резервирования компании ТЭК применяют такие подходы, как аренда волоконно-оптической линии связи у нескольких операторов связи, радиорелейный резерв. Комплексный подход к резервированию помогает повысить отказоустойчивость сети связи, но даже он не лишен недостатков. В ходе экспертного интервью с инженерами связи компании ТЭК было выявлено, что живучесть телекоммуникационной системы крайне важна для эффективного функционирования всех производственных процессов и является приоритетом перед таким параметром, как энергоэффективность.

Проблема. Основная проблема заключается в том, что линии связи, арендуемые у смежных партнеров, имеют низкую отказоустойчивость и часто выходят из строя, вследствие чего приходится брать в аренду сразу несколько точек входа резерва. Также необходимо обслуживать собственную радиорелейную линию связи. Использование оборудования у операторов связи делает телекоммуникационную инфраструктуру уязвимой, что может сильно ухудшить ситуацию во время нештатных ситуаций. Данные факторы негативно сказываются на стабильности корпоративной сети связи.

Решением проблемы является комплексный подход к резервированию сети связи. Использование радиорелейного резерва вместе с волоконно-оптической линией связи, географически разнесенной с основной, повысит отказоустойчивость и стабильность производственной инфраструктуры. Собственная резервная оптическая линия связи будет разрабатываться, учитывая все стандарты и потребности компании топливно-энергетического комплекса, что гарантирует качество связи и необходимую для нее пропускную способность. Также улучшение собственного резерва исключит такие нежелательные явления, как проблемы с совместимостью

оборудования. Имея полный контроль над телекоммуникационным оборудованием, уменьшится время на устранение вышедшего из работы узла связи. Обеспечение независимости от смежных партнеров положительно скажется на отказоустойчивости резервной линии связи.

Данный подход к проблеме избавит компанию от существующих недостатков сети, а также обеспечит стабильную и отказоустойчивую работу сети связи. Решение предоставляет возможность сократить текущие расходы на аренду оборудования у смежных партнеров, уменьшить риски выхода из строя линии связи, связанные с зависимостью от внешних операторов.

Принцип работы системы резервирования данных производственной сети связи. Система резервирования данных осуществляется следующим образом: мультиплексоры и терминалы SDH собирают данные с вторичных сетей. Собранные данные передаются по основной волоконно-оптической линии связи. В случае выхода из строя оборудования рабочей линии мультиплексор переключается на резервную оптическую линию связи — до восстановления ее работоспособности. Если выходят обе оптические линии связи, специалист переводит трафик на радиорелейную линию связи, пропускная способность такой линии резерва ниже, чем у проводной, поэтому наиболее правильным решением будет передавать критически важную информацию. Также стоит отметить, что волоконно-оптические линии связи лучше прокладывать по схеме 1+1, а также географически разнести маршруты передаваемых данных, тем самым повысив отказоустойчивость каждой отдельной линии. Таким образом, весь процесс включает сбор данных, их передачу, логическое переключение между линиями.

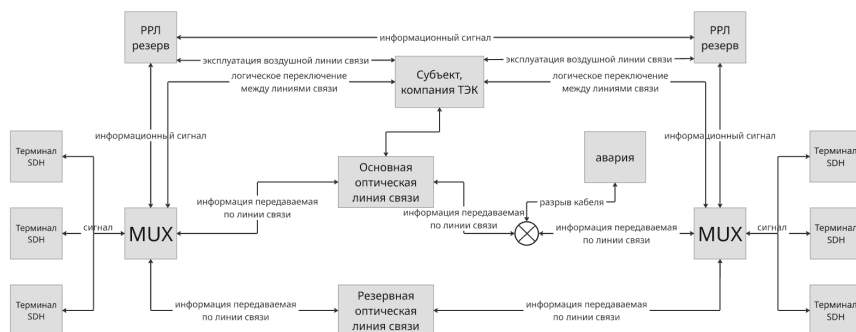


*Рис. 1. Позиционная схема деятельности оборудования
для резервирования данных производственной сети связи*

Заключение. Итогом решения проблемы будет комплексный подход к резервированию производственной сети связи, который полностью отвечает требованиям, ограничениям и условиям эксплуатации для компании, где необходимо обеспечить максимальную отказоустойчивость телекоммуникационной инфраструктуры.

Список использованной литературы

1. Фокин, В. Г. Синхронная цифровая иерархия: Часть 1. Схема мультиплексирования SDH: учеб. пособие. — Новосибирск: «Веди», 2006. — 83 с.
2. Фокин, В. Г. Синхронная цифровая иерархия: Часть 3. Сетевые решения с применением аппаратуры SDH: учеб. пособие. — Новосибирск: «Веди», 2007. — 153 с.
3. Джон Грин Построение отказоустойчивых сетей // Windows IT Pro/RE: сетевой журн. (электр. журн.). — 2003. — № 5. — URL: <https://www.osp.ru/winitpro/2003/05/176198>

УДК 654

В. В. Рыжаков, Н. Н. Герасимова

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

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТАКТИЛЬНОГО
ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

г. Сургут

Аннотация. В данной работе рассматриваются проблемы, препятствующие широкому внедрению тактильного интернета вещей (ТIIoT) в инфокоммуникационные системы управления объектами. Анализируются технические ограничения, связанные с высокой задержкой, ограниченной пропускной способностью, аппаратными характеристиками тактильных датчиков и исполнительных устройств, отсутствием стандартизированных протоколов и вопросами безопасности. Предлагаются возможные пути решения выявленных проблем. Оцениваются перспективы применения ТIIoT в различных областях, таких как промышленная автоматизация, телемедицина и робототехника.

Ключевые слова: *тактильный интернет вещей (ТIIoT), инфокоммуникационные системы, управление объектами, задержка, пропускная способность, тактильные датчики.*

V. V. Ryzhakov, N. N. Gerasimova

BUVO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION
OF TACTILE INTERNET OF THINGS IN THE INFORMATION
MANAGEMENT SYSTEMS

Surgut

Abstract. This paper considers problems that prevent the wide implementation of the tactile Internet of things (TIIoT) into the infocommunication

systems for managing objects. The technical restrictions related to high delay, limited throughput, hardware characteristics of tactile sensors and executive devices, the lack of standardized protocols and security issues are analyzed. Possible solutions to solved problems are offered. The prospects for the use of TIIoT in various fields, such as industrial automation, telemedicine and robotics, are evaluated.

Keywords: *tactile Internet of things (TIIoT), information systems, object management, delay, throughput, tactile sensors.*

В последние годы наблюдается значительный рост числа подключенных устройств в рамках концепции интернета вещей (IoT), что открывает новые возможности для мониторинга, управления и автоматизации в различных сферах. Однако традиционный IoT в основном ориентирован на передачу визуальной и аудиоинформации, упуская важный канал восприятия — тактильные ощущения. Тактильный интернет вещей (TIIoT), в свою очередь, представляет собой новый этап развития IoT, позволяющий передавать тактильные ощущения на расстоянии, предоставляя множество возможностей для принципиально новых приложений в промышленной автоматизации, телемедицине, робототехнике, дистанционном обучении и управлении инфраструктурой. Возможность удаленного взаимодействия с объектами позволяет операторам выполнять сложные задачи с высокой точностью и эффективностью [1; 2].

TIIoT можно определить как систему, обеспечивающую передачу тактильных ощущений между пользователем и удаленным объектом в режиме реального времени. Это достигается путем использования тактильных датчиков, исполнительных устройств и высокоскоростных сетей связи. Несмотря на значительный прогресс в разработке технологий TIIoT, его широкое внедрение в практическое применение сталкивается с рядом серьезных проблем.

Ключевыми препятствиями являются высокая задержка в передаче тактильной информации, ограниченная пропускная

способность каналов связи, аппаратные ограничения тактильных датчиков и исполнительных устройств, отсутствие стандартизированных протоколов обмена данными, а также проблемы безопасности и надежности системы. Преодоление этих проблем является важным этапом для реализации потенциала ТИот и его успешного применения в различных областях.

Целью данной статьи является анализ основных проблем, препятствующих широкому внедрению ТИот в инфокоммуникационные системы управления объектами, а также предложение возможных путей их решения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Выявить основные проблемы и ограничения ТИот.
- 2) Проанализировать существующие методы решения проблем.
- 3) Предложить новые подходы и технологии для преодоления ограничений.
- 4) Оценить перспективы внедрения ТИот в различных областях.

Сейчас все больше процессов автоматизируется и переходит в цифровой формат, поэтому особенно важно создавать системы, которые позволяют удаленно управлять объектами в реальном времени с тактильной обратной связью. ТИот не просто улучшает существующие технологии, но и открывает новые возможности для решения задач, которые ранее были невозможны или слишком опасны. Инвестиции в разработку и внедрение ТИот технологий имеют стратегическое значение для повышения конкурентоспособности предприятий, улучшения качества жизни людей и обеспечения устойчивого развития. Именно поэтому исследование и решение проблем, препятствующих широкому распространению ТИот, — одна из ключевых задач сегодня.

На рис. 1 представлено дерево текущей реальности, показывающее имеющиеся проблемы и следствия, к которым они могут привести.

1. **Задержка.** Даже небольшие задержки в передаче тактильной информации (более 1 мс) могут привести к нарушению координации движений, потере контроля и негативному пользовательскому опыту. При управлении объектами в реальном времени задержки могут иметь серьезные последствия. Причинами могут быть: ограничения каналов связи, задержки обработки данных, ограничения аппаратного обеспечения. Например, в хирургической робототехнике задержка в тактильной обратной связи может привести к повреждению тканей.

405

необходимо передать. Она может быть недостаточной из-за ограничений беспроводных сетей, высокой стоимости высокоскоростных каналов связи.

3. Аппаратные ограничения. Существующие тактильные датчики и исполнительные устройства имеют ограничения по точности, чувствительности, динамическому диапазону и надежности. Миниатюризация и энергоэффективность также являются важными проблемами. Возможные причины: технологические ограничения в материаловедении, микроэлектронике. Пример, где может понадобиться решение данной проблемы: разработка компактных и энергоэффективных тактильных датчиков для использования в мобильных устройствах и носимой электронике.

4. Протоколы передачи данных. Существующие сетевые протоколы (TCP/IP) не оптимизированы для передачи тактильной информации в реальном времени. Необходимы новые протоколы, учитывающие специфические требования ТИот (низкая задержка, высокая надежность). Протоколы TCP/IP ориентированы на надежную, а не на оперативную доставку данных. Например, возможна разработка протоколов на основе UDP с механизмами контроля перегрузки и приоритизации трафика.

5. Безопасность и надежность. Обеспечение безопасности и надежности передачи тактильной информации является значимым, особенно в системах управления жизненно важной инфраструктурой. Причины: риски кибератак, сбой оборудования, потери связи. Пример решения проблемы: разработка механизмов шифрования и аутентификации, устойчивых к атакам и сбоям.

6. Энергопотребление. Высокое энергопотребление тактильных датчиков, исполнительных устройств и систем связи может ограничить автономность ТИот-устройств. Причины: сложность аппаратных компонентов, требования к высокой скорости обработки данных. Может помочь разработка энергоэффективных алгоритмов обработки сигналов для ТИот-устройств.

7. Человеческий фактор. Разработка удобных и интуитивно понятных интерфейсов для ТИот-систем. Важно учитывать физиологические и психологические особенности человека при проектировании систем тактильной обратной связи. Причины возникновения проблемы: недостаточное понимание механизмов восприятия тактильных ощущений человеком. Пример: разработка систем калибровки и адаптации тактильной обратной связи к индивидуальным особенностям пользователя.

Чтобы решить эти проблемы, можно использовать несколько методов. Во-первых, внедрение сетей 5G и будущего 6G — они обеспечат высокую скорость и минимальные задержки. Во-вторых, «Edge Computing», то есть обработку данных ближе к источнику, что ускорит передачу тактильной информации. Также поможет сжатие данных и приоритизация тактильного трафика над другим. Современные беспроводные технологии, такие как Wi-Fi 6 и mmWave, увеличат пропускную способность, а агрегация каналов связи — общую скорость передачи. Кроме того, важно разрабатывать новые материалы и микро-/нанотехнологии для создания более чувствительных и компактных датчиков, а также энергоэффективные конструкции, чтобы снизить энергопотребление. Для надежности связи стоит применять адаптивные протоколы (например, на основе UDP), которые гарантируют доставку данных с минимальной задержкой и подстраиваются под условия сети. Безопасность можно усилить за счет шифрования, аутентификации и резервирования каналов. Наконец, нужно работать над удобными интерфейсами и системами калибровки, чтобы тактильная обратная связь подстраивалась под индивидуальные особенности пользователя.

Тактильный интернет вещей (ТИот) открывает огромные возможности в разных сферах. В промышленности он позволит удаленно управлять роботами для сложной сборки и обслуживания оборудования. В медицине — проводить дистанционные операции и реабилитацию пациентов. В робототехнике — работать в опасных

зонах и создавать роботов-помощников. А в образовании — обучать студентов практическим навыкам через тактильную обратную связь. Однако массовому внедрению ТИОТ мешают серьезные технические проблемы: высокие задержки связи, недостаточная пропускная способность, ограничения оборудования и отсутствие единых стандартов. Кроме того, остаются нерешенными вопросы безопасности, надежности и энергопотребления таких систем.

Для преодоления этих проблем были предложены различные методы, включая использование сетей 5G и 6G, «Edge Computing», алгоритмов сжатия данных, новых материалов и конструкций, а также разработку специализированных протоколов передачи данных. Особое внимание было уделено важности обеспечения безопасности и надежности ТИОТ-систем, а также разработке удобных и интуитивно понятных человеко-машинных интерфейсов.

Анализ перспектив применения ТИОТ в различных областях, таких как промышленная автоматизация, телемедицина, робототехника, дистанционное обучение, показал, что ТИОТ обладает огромным потенциалом для трансформации этих отраслей. Однако для реализации этого потенциала необходимы дальнейшие исследования [3].

Список использованной литературы

1. Исследование потенциала промышленного интернета вещей / Э. Е. Тихонов, И. В. Сеницына, Е. А. Богачева, Е. С. Дроздова // Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки. — 2024. — № 2(70). — С. 21–25. — EDN CVXQDP.

2. Сергиенко, М. В. Технологии беспроводной передачи данных в сетях промышленного интернета вещей / М. В. Сергиенко, А. Н. Алпатов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. — 2024. — № 1. — С. 128–136. — DOI 10.18137/RNU.V9I87.24.01.P.128. — EDN TJNFQU.

3. Карпекин, А. А. Промышленный интернет вещей: сущность и перспективы развития / А. А. Карпекин, А. А. Ногай // Экономика и предпринимательство. — 2024. — № 10 (171). — С. 487–491. — DOI 10.34925/EIP.2024.171.10.087. — EDN EWERVQ.

УДК 004.032

Д. М. Аршинский

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматривается концепция промышленного интернета вещей (IIoT), которая представляет собой интеграцию цифровых и физических систем для повышения эффективности и продуктивности в различных отраслях промышленности. Обсуждаются ключевые компоненты IIoT, такие как устройства, сенсоры и системы анализа данных, а также их роль в сборе и обработке информации. Также внимание уделяется преимуществам внедрения IIoT, включая повышение операционной эффективности, оптимизацию затрат и улучшение качества продукции. Статья адресована специалистам и студентам, интересующимся развитием интернета вещей и его влиянием на индустриальные процессы.

Ключевые слова: *промышленный интернет вещей, IIoT, Industrial Internet of Things, данные, обработка данных, сеть, система передачи данных, компоненты.*

D. M. Arshinskiy

BI of HE, Surgut State University, Surgut

INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS NETWORKS IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Surgut

Abstract. The article discusses the concept of the Industrial Internet of Things (IIoT), which is the integration of digital and physical systems to increase efficiency and productivity in various industries. Key IIoT components such as devices, sensors, and data analysis systems are discussed, as well as their role in information collection and processing. Attention is also being paid to the benefits of implementing IIoT, including increased operational efficiency, cost optimization, and improved product quality. The article is addressed to specialists and students interested in the development of the Internet of Things and its impact on industrial processes.

Keywords: *industrial Internet of Things, IIoT, Industrial Internet of Things, data, data processing, network, data transmission system, components.*

В последние десятилетия интернет стал неотъемлемой частью жизни миллионов людей по всему миру.

Мировые тренды: в мире количество пользователей интернета достигло более 5 миллиардов; рост в основном обусловлен развитием мобильных технологий и доступом к высокоскоростному интернету; большинство пользователей предпочитают использовать социальные сети и мессенджеры для общения; увеличивается интерес к электронным услугам, таким как онлайн-банкинг и электронная коммерция; растет доля технологического участия интернета в промышленности, в том числе и в электроэнергетике [6].

Развитие в России: в стране активно развиваются цифровые технологии; по данным на 2023 год, количество пользователей интернета в стране превышает 100 миллионов; главное направление — это

улучшение инфраструктуры, особенно в удаленных регионах; власти акцентируют внимание на развитии кибербезопасности и создании цифровых сервисов для населения [6].

Развитие интернета в России и в мире предопределило появление интернета вещей. Интернет вещей (IoT, Internet of Things) — объединение разных устройств в общую сеть, в которой они могут собирать информацию, обрабатывать ее и обмениваться данными между собой, с человеком и серверами в дата-центре или облаке [7]. Интернет вещей — это не просто система, сегодня так называют концепцию, объединяющую множество технологий для разработки систем автоматизации на основе данных, взаимодействующих с использованием сетевых решений [1, с. 8].

Самый простой и обобщенный пример применения интернета вещей — это так называемый умный дом, где управление гаджетами и устройствами возможно не только при нахождении в самом доме, но и удаленно, через интернет. Причем гаджеты не только получают сигналы управления через, например, смартфон хозяина, но и пересылают информационные и управляющие сигналы друг другу [7, 1].

Другим примером интернета вещей может служить какое-либо предприятие, например завод или районная подстанция, где датчики, устройства мониторинга, диагностики и управления объединены в одну сеть, с управлением из одного центра, который может находиться даже в другом населенном пункте [1]. В таком случае это уже будет называться промышленным интернетом вещей.

Промышленный интернет вещей (IIoT — Industrial Internet of Things) представляет собой концепцию, внутри которой все устройства и системы на предприятиях подключены к одной сети с целью сбора, обработки и обмена данными [1, 5].

Основные аспекты IIoT [1, 5]:

1. Устройства. Это могут быть различные сенсоры, машины, датчики и системы автоматизации, которые могут собирать и передавать данные в реальном времени.

2. Сбор данных. ПоТ позволяет собирать огромные объемы данных о производственном процессе, эффективности оборудования и условиях работы.

3. Анализ. С помощью аналитических инструментов возможно обрабатывать собранные данные для выявления закономерностей, увеличения производительности и снижения затрат.

Преимущества ПоТ [1, 5]:

1. Повышение эффективности — более эффективное использование ресурсов и оптимизация производственных процессов.

2. Предиктивное обслуживание — возможность предсказывать неисправности и проводить обслуживание оборудования до возникновения серьезных проблем.

3. Улучшение качества продукции — более точный контроль на всех этапах производства.

Рассмотрим структуру системы интернета вещей (рис. 1) [1, с. 10].



Рис. 1. Структура системы интернета вещей [1, с. 10]

В систему сбора данных (рис. 1) включены следующие устройства: контроллеры, микрокомпьютеры, сенсоры (датчики), актуатор и модуль передачи данных [1, с. 11].

Система сетевого взаимодействия может быть реализована на разных протоколах передачи данных и каналах. Используемые

протоколы проводного интерфейса: RS-232, I2C, SPI, Ethernet, RS-485, USB. Беспроводные стандарты: Bluetooth, Wi-Fi, GSM, LTE, LoRa. LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), мобильная связь.

Система хранения данных содержит различные базы данных. Также с этой целью возможно использование облачных сервисов. Данные, полученные от всех подключенных устройств, передаются по каналам связи в центры обработки данных, откуда они далее поступают в приложения конечных пользователей. Облачные сервисы возможно использовать для хранения и резервирования.

Система управления и мониторинга — это приложения, которые в режиме реального времени обрабатывают данные для использования их конечным пользователем. Эта система должна подключаться по каналам связи к устройствам, получать информацию из баз данных и после ее обработки визуализировать ее.

Рассматривая такое понятие, как промышленный интернет вещей, на более глубоком уровне, можем обратить внимание, что автором статьи [2] предложена компоновка структуры IIoT, приведенная на рис. 2.

В представленной работе автором статьи [2] выдвинуты и обоснованы следующие гипотезы:

1) IIoT выступает в качестве ключевого драйвера развития цифровой трансформации промышленного производства. Особенно стоит обратить внимание на сферу приборостроения, основанного на применении цифровых инструментов и ресурсов;

2) основные направления дальнейшего развития IIoT для успешной цифровой трансформации промышленного производства и, в частности, приборостроения: переход производства на экономику сервисов — «оборудование как услуга»; трансформация облачных IIoT-платформ в инструмент кардинального повышения эффективности производственных систем; создание на основе IIoT и других цифровых технологий «интеллектуальной цифровой сети» как Интернета будущего, характеризуемого интеллектуальными

устройствами, предоставляющими «проницательные» (персонализированные и предсказательные) цифровые услуги.

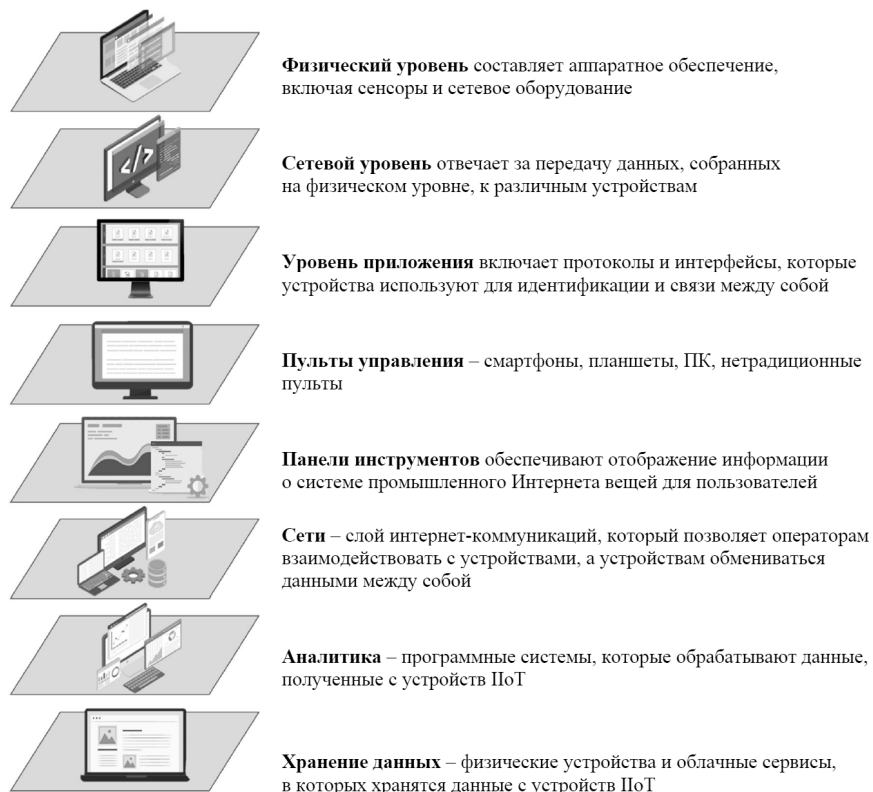


Рис. 2. Уровни IIoT [2]

Рассмотрим перспективы развития промышленного интернета вещей.

1. Увеличение автоматизации: применение искусственного интеллекта и машинного обучения для дальнейшей автоматизации производственных процессов и снижения человеческого фактора, а также повышения эффективности производства.

2. Интеллектуальные фабрики: развитие концепции «умных фабрик», где устройства и системы взаимодействуют друг с другом. Повышенная гибкость в производстве и возможности настроек и дальнейшей эксплуатации и модернизации.

3. Предиктивная аналитика: использование данных для прогнозирования поломок и необходимого обслуживания оборудования, а также снижение простоев и затрат на ремонт.

4. Энергетическая эффективность: оптимизация потребления энергии с помощью IoT-решений, внедрение возобновляемых источников энергии и управление ими.

5. Безопасность данных: усиление мер по защите необходима. Благодаря этому возможна защита информации от возможных кибератак, обнаружение уязвимостей, разработка стандартов и протоколов, предназначенных для обеспечения безопасности в IoT.

6. Интеграция с блокчейн-технологиями: применение блокчейна для обеспечения прозрачности и отслеживаемости цепочек поставок, улучшения доверия между участниками рынка.

7. Глобальная доступность: расширение доступа к IoT-технологиям для малых и средних предприятий, упрощение внедрения и снижение барьеров входа на рынок.

Перспективы промышленного интернета вещей обещают значительные изменения в производственном секторе, способствуя увеличению эффективности, снижению расходов и улучшению качества продукции.

В количественном выражении можно обратить внимание на следующие источники информации:

1. По данным источника [9], решения для профилактического обслуживания, основанного на базе IoT, по ожиданиям, снизят затраты на техническое обслуживание заводского оборудования на значение около 40%. За счет данных проектов обслуживания в 2025 г. данные решения могут принести экономическую выгоду. Предполагаемая выгода составляет около 630 млрд долл. в год [9].

2. Согласно исследованию [9], к 2025 г. улучшения операций, вызванные приложениями IoT, могут стоить более 470 миллиардов долларов в год [9]. Приложения IoT для производства связаны с такими операциями, как мониторинг и оптимизация производительности оборудования, контроль качества производства и взаимодействие человека с машиной.

3. Также в [8, 9] приводятся сведения, что приложения IoT для мониторинга использования машин могут повысить производительность производства на 10–25% и создать в 2025 г. глобальную экономическую стоимость до 1,8 трлн долл. [8, 9].

Сложности развития промышленного интернета вещей в России.

1. Недостаток инфраструктуры: ограниченное покрытие сетей передачи данных, особенно в отдаленных и сельских районах, нехватка современных диспетчерских и управляющих систем.

2. Отсутствие стандартов и регулирования: неопределенность в законодательстве, касающемся IoT, что затрудняет его развитие; разные подходы к стандартам могут привести к несовместимости устройств.

3. Высокая стоимость: затраты на внедрение оборудования, программного обеспечения и техническую поддержку могут быть значительными в зависимости от специфики, требований к оборудованию. Это может выбиваться из бюджета для малых и средних предприятий при резком введении данной технологии. Помимо этого, стоит учитывать затраты на обучение персонала.

4. Недостаток квалифицированных специалистов: нехватка кадров с нужными навыками в области IoT, больших данных и искусственного интеллекта; необходимость в дополнительном обучении и повышении квалификации работников.

5. Киберугрозы и безопасность данных: повышенный риск кибератак и уязвимостей в системах IoT; необходимость внедрения надежных мер безопасности.

6. Отсутствие доверия и понимания технологии; нежелание некоторых компаний инвестировать в новые технологии из-за нехватки знания об их преимуществах; скептицизм относительно реальной отдачи от инвестиций.

7. Сложности интеграции с существующими системами: затруднения в интеграции IoT-решений с традиционными производственными процессами; необходимость адаптации существующей инфраструктуры.

8. Рынок IoT требует значительных долгосрочных вложений, что может быть непривлекательно для бизнеса, ориентированного на краткосрочные прибыли.

9. Совместимость. Необходимо соблюсти совместимость оборудования и протоколов передачи.

Рассмотрим особенности использования и трудности использования промышленного интернета вещей в электроэнергетике.

Особенности использования промышленного интернета вещей в электроэнергетике [4, 3].

1. Непрерывный мониторинг: постоянный сбор данных с оборудования позволяет оперативно реагировать на изменения и предотвращать аварии.

2. Аналитика в реальном времени: использование аналитических инструментов для обработки больших объемов данных и принятия решений на основе полученных инсайдов.

3. Интеграция с существующими системами: возможность соединения новых IoT-устройств с устаревшими системами, что способствует модернизации инфраструктуры.

4. Прогнозирование ошибок: алгоритмы машинного обучения помогают заранее выявлять потенциальные неисправности и проводить профилактическое обслуживание.

5. Адаптация к изменению спроса: умные сети могут динамически адаптироваться к изменению потребления, улучшая балансировку нагрузки.

Трудности использования промышленного интернета вещей в электроэнергетике [4, 3].

1. Кибербезопасность: увеличение числа подключенных устройств создает дополнительные риски для безопасности данных и систем.

2. Стандартизация: отсутствие единой стандартизации устройств и протоколов может привести к несовместимости и затруднениям в интеграции.

3. Инвестиции в инфраструктуру: высокие затраты на внедрение и обслуживание IoT-решений могут стать значительным барьером для некоторых компаний.

4. Управление большими данными: обработка и анализ гигантских объемов данных требуют мощных обработчиков и могут стать вызовом для IT-инфраструктуры.

5. Обучение персонала: необходимость подготовки сотрудников для работы с новыми технологиями и аналитическими инструментами может потребовать времени и ресурсов.

6. Сложности в обеспечении надежности: проблемы с работой сети или оборудования могут привести к сбоям в системах и недостатку надежности.

7. Зависимость от поставщиков: долгосрочные контракты с поставщиками технологий могут ограничивать гибкость и возможность выбора решений.

Выводы. Промышленный интернет вещей существенно меняет подходы к управлению в электроэнергетике, но требует внимательного рассмотрения трудностей, связанных с его внедрением и эксплуатацией. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта разработки и интернета вещей, определения роли и места промышленного интернета вещей, а также прогноза основных направлений развития промышленного интернета вещей можно заключить: промышленный интернет вещей становится следующим революционным скачком развития, сравнимым с изобретением парового двигателя или индустриализацией электричества [2].

Список использованной литературы

1. Папуловская, Н. В. Основы интернета вещей: учебно-методическое пособие / Н. В. Папуловская; М-во науки и высшего образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. — 104 с.
2. Кубасов, И. А. Промышленный интернет вещей как революционный скачок развития / И. А. Кубасов // Надежность и качество сложных систем. — 2023. — № 2 (42). — С. 83–89.
3. Назарова, Ю. А. Анализ перспектив применения технологии интернета вещей в электроэнергетической отрасли / Ю. А. Назарова, А. С. Корзин, А. С. Демидов // Computational nanotechnology. — 2021. — № 4. — С. 9–18.
4. Трифонов, Г. К. Перспективы использования интернета вещей в современной российской электроэнергетике // Вестник науки. — 2024. — № 9 (78). — С. 560–564.
5. Промышленный интернет вещей. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленный_интернет_вещей (дата обращения: 11.04.2025).
6. Иноклиент. Сколько пользователей интернета в мире? (2025). — URL: <https://inclient.ru/users-internet-stats/> (дата обращения: 12.04.2025).
7. IoT для умных часов и IIoT для умных станков: что такое интернет вещей и каким он бывает. — URL: <https://cloud.vk.com/blog/iot-dlya-umnyh-chasov-iiot-umnyh-stankov-internet-veshchej/> (дата обращения: 12.04.2025).
8. IIoT — Industrial Internet of Things (Промышленный интернет вещей). — URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 09.04.2024).
9. IoT in Manufacturing: The Ultimate Guide. — URL: <https://articles.abilogic.com/593043/iot-manufacturing-ultimate-guide-vinnoavate.html> (дата обращения: 10.04.2025).

УДК 62-783.2

Д. А. Рыбин

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
БЕСПРОВОДНЫХ ДАТЧИКОВ УТЕЧКИ МЕТАНА В СИСТЕМАХ
МОНИТОРИНГА ГАЗОПРОВОДОВ

г. Сургут

Аннотация. В статье рассматриваются методы повышения энергоэффективности беспроводных датчиков утечки метана на газопроводах, вследствие чего повышается безопасность беспроводной сети. Рассмотрены условия работы датчика при отрицательных температурах. Проанализированы сенсоры беспроводных датчиков и протокол передачи информации с точки зрения энергоэффективности. Рассмотрены сценарии оповещения при низком заряде аккумулятора.

Ключевые слова: *беспроводные датчики, энергоэффективность, сенсоры, аккумулятор.*

D. A. Rybin

Surgut State University, Surgut

METHODS TO IMPROVE ENERGY EFFICIENCY OF WIRELESS
METHANE LEAKAGE SENSORS IN GAS PIPELINE MONITORING
SYSTEMS

Surgut

Abstract. The article considers methods of increasing energy efficiency of wireless sensors of methane leakage on gas pipelines, as a result of which the safety of wireless network is increased. The conditions of sensor operation at subzero temperatures are considered. Sensors of wireless sensors and

information transmission protocol from the point of view of energy efficiency are analyzed. Low battery alarm scenarios are analyzed.

Keywords: *wireless sensors, energy efficiency, sensors, battery.*

Введение. Энергоэффективность беспроводных датчиков в газопроводах является одной из важных проблем, которая напрямую влияет на безопасность всей системы. Беспроводные датчики используются для мониторинга состояния газопроводов и играют ключевую роль в обеспечении безопасности и надежности всей системы. В статье [1] описывается, что основной причиной использования беспроводных датчиков является безопасность тех, кто находится рядом с газопроводом, и предотвращение аварий. Одной из основных проблем беспроводных датчиков является их зависимость от источников питания. Если датчик утечки метана останется без энергии, он не сможет своевременно обнаружить и сигнализировать об утечке, что может привести к авариям. Поэтому повышение энергоэффективности беспроводных датчиков является важным аспектом, который позволяет обеспечить их непрерывную работу и, следовательно, увеличить безопасность всей системы газопроводов.

Повышение энергоэффективности беспроводных датчиков может быть достигнуто за счет внедрения современных технологий сенсоров, аккумуляторов, протоколов передачи. Такие решения могут значительно снизить их энергопотребление. Это позволит датчикам работать дольше без необходимости частой замены батарей, что особенно важно для удаленных и труднодоступных участков газопроводов.

Таким образом, повышение энергоэффективности беспроводных датчиков в газопроводах является ключевым фактором для обеспечения их бесперебойной работы и увеличения безопасности всей системы. Внедрение энергоэффективных решений позволяет минимизировать риски, связанные с отказом датчиков, и обеспечить надежный мониторинг состояния газопроводов, что в конечном

итоге способствует повышению общей безопасности и надежности эксплуатации.

Сравнительный анализ модулей беспроводного датчика. Основной целью данного исследования является анализ и обоснованный выбор модулей беспроводного датчика утечки метана с целью более энергоэффективной работы беспроводных датчиков. При анализе будут рассмотрены основные виды сенсоров, аккумуляторов и протоколы передачи данных.

Рассмотрим основные методы повышения энергоэффективности в беспроводных датчиках утечки метана.

- Выбор энергоэффективного сенсора, энергопотребление в зависимости от сенсора может отличаться в десятки раз, поэтому выбор сенсора очень важен при выборе датчика. Будут рассмотрены следующие сенсоры: MEMS, NDIR, полупроводниковые, каталитические. MEMS-сенсоры из представленного выше списка являются самыми энергоэффективными; помимо этого, они обладают большим сроком службы и высокой точностью и по сравнению с NDIR стоят относительно дешево. NDIR-сенсоры, в свою очередь, обладают высокой точностью и большим сроком службы, выше чем у MEMS сенсоров, но стоимость таких сенсоров выше, а энергопотребление в среднем больше. Полупроводниковые и каталитические сенсоры являются устаревшими технологиями, которые сейчас редко используются за счет развития вышеописанных видов сенсоров. Главным преимуществом полупроводниковых сенсоров является их стоимость по сравнению с другими аналогами. Важно отметить, что сенсор может находиться при экстремальных температурных условиях, поэтому следует обращать внимание на рабочую температуру. Следует выбирать сенсоры, работающие при температуре от -20 и ниже.

- Аккумуляторы: при выборе аккумулятора, установленного в датчик, следует опираться на условия эксплуатации датчиков. Самыми распространенными типами аккумуляторов являются литийионные аккумуляторы (Li-Ion). Главным недостатком таких аккумуляторов является потеря емкости при отрицательных температурах, что является существенным минусом при работе на удаленных участках трубопровода в условиях Крайнего Севера. Вместо Li-Ion аккумуляторов предлагается использовать кремний-углеродные (SiC). В отличие от Li-Ion SiC поддерживают работу при минусовых температурах, а также обладают увеличенной удельной емкостью на 20% по сравнению с литийионными аккумуляторами. Главным минусом является то, что кремний значительно сужается и расширяется при зарядке и разрядке, что понижает срок службы аккумулятора. Но на удаленных участках в условиях Крайнего Севера такие аккумуляторы будут безопаснее для сети при эксплуатации, чем Li-Ion.
- Протоколы передачи информации, которые будут использоваться для передачи информации. Датчики отправляют сигналы на шлюз, а затем уже со шлюза данные отправляются на центральный сервер. Одними из важнейших критериев при выборе протокола передачи будут: энергопотребление на передачу и прием, дальность действия, возможность уходить в режим энергосбережения, безопасность использования этого протокола. Будут рассмотрены протоколы передачи LoRaWAN, Zigbee и NB-IoT. Самым энергоэффективным является Zigbee благодаря режиму глубокого сна и краткому сеансу связи, однако Mesh-сети увеличивают сети из-за ретрансляции данных. NB-IoT протокол имеет ограниченную дальность в труднодоступных регионах. Оптимальным выбором протокола будет

LoRaWAN имеющая дальность связи до 15 километров, что крайне важно для удаленных участков, а также возможность использовать режим энергосбережения в отсутствие активности датчика.

Заключение. Данное исследование демонстрирует, что не существует универсальных модулей беспроводных датчиков утечки метана, выбор модулей зависит от конкретных требований к датчику. Для оптимальной работы беспроводного датчика, учитывающего такие параметры, как энергоэффективность, безопасность, влияние окружающей среды на работу датчика, точность измерений и цена самого датчика, следует использовать следующие модули беспроводного датчика:

MEMS-сенсоры являются одними из самых энергоэффективных сенсоров, при такие сенсоры имеют большой срок службы, малое время отклика и высокую точность. Такие сенсоры зачастую работают при температурах от -40 до $+60$. Эти факторы делают MEMS-сенсоры самым оптимальным выбором.

SiC-аккумуляторы получили большое распространение в последнее время, благодаря этому производители все чаще используют такие аккумуляторы при производстве своих датчиков.

Протокол передачи LoRaWAN имеет высокую энергоэффективность и дальность связи до 15 километров, что делает его оптимальным при выборе протокола.

Список использованной литературы

1. Особенности датчиков утечки газов [Электронный ресурс] // Промаир : [сайт]. — URL: <https://promair.by/company/interesno-znat/osobennosti-datchikov-utechki-gazov/#:~:text=1,%D0%B2%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%BC%20%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B8%20%D0%BD%D0%B5%20%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%B>

Е%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D1%83%D1%8E%D1%82%D1%81%D1%8F (дата обращения: 26.04.2025).

2. Бушмелев, П. Е. Беспроводная сенсорная сеть обнаружения утечек газа на магистральных газопроводах / П. Е. Бушмелев, С. У. Увайсов, И. И. Плюснин, К. И. Бушмелева. [Электронный ресурс]: [сайт]. — URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/32uga6q2vo/72654296.pdf> (дата обращения: 26.04.2025).

3. Бунимелев, П. Е. Система мониторинга объектов газотранспортной сети на основе беспроводных модулей / П. Е. Бушмелев, С. У. Увайсов, К. И. Бушмелева, И. И. Плюснин [Электронный ресурс] cyberleninka: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-obektoy-gazotransportnoy-seti-na-osnove-besprovodnyh-moduley/viewer> (дата обращения: 26.04.2025).

УДК 621.315

*А. Абдулазизов, С. П. Магомедов, В. С. Потупчик,
А. А. Стрекаловских, В. Е. Черенков, М. А. Чехлов*

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИИ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ

г. Сургут

Аннотация. Статья посвящена проектированию станции беспроводной передачи электроэнергии. Рассматриваются преимущества беспроводной передачи энергии, однако, несмотря на них, беспроводная передача энергии сталкивается с рядом технических и практических вызовов, которые необходимо преодолеть для ее широкого использования. В статье описаны практические цели создания технического объекта и пути их достижения.

Ключевые слова: станция, беспроводная передача энергии, проектирование, практические цели, архитектурно-функциональная модель, антенный блок, передающий блок.

*A. Abdulazizov, S. P. Magomedov, V. S. Potupchik,
A. A. Strekalovskikh, V. E. Cherenkov, M. A. Chekhlov*

¹ Surgut State University, Surgut

WIRELESS POWER TRANSMISSION STATION DESIGN

Surgut

Abstract. The article is devoted to the design of a wireless power transmission station. The benefits of wireless power transmission are considered, but despite them, wireless power transmission faces a number of technical and practical challenges that must be overcome in order to be widely used. The article describes the practical goals of creating a technical object and ways to achieve them

Keywords: *station, wireless power transmission, design, practical goals, architectural and functional model, antenna unit, transmitting unit.*

Беспроводная передача электроэнергии — это инновационное решение, позволяющее воплотить передачу энергии без использования традиционных проводных каналов. Этот метод обладает следующими преимуществами: отсутствие необходимости в прокладке кабелей, снижение затрат на обслуживание, надежность и пожаробезопасность, обеспечение энергией удаленных и труднодоступных объектов, а также возможность регулировки снабжения энергией. Но все же, несмотря на все преимущества, беспроводная передача энергии сталкивается с рядом технических и практических вызовов, которые необходимо преодолеть для ее широкого использования. Для этого мы решили спроектировать станцию беспроводной передачи энергии. Остановимся на практических целях создания

технического объекта. Практические цели: требования, ограничения, условия. Требования: обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения, соответствие стандартам безопасности, минимизация потерь энергии при передаче. Ограничения: пропуск планового технического обслуживания и ремонта оборудования запрещен, невыполнение требований государственных стандартов, санитарных норм и правил пожарной безопасности недопустимо. Условия: избежание интерференции с другими радио- и микроволновыми сигналами. Основные функции в архитектурно-функциональной модели станции: Ф1. (рис. 1) Передача электрической энергии, Ф5. (рис. 2) Подавление помех, Ф7. (рис. 3) Тушение пожаров в реальном времени, Ф10.1 (рис. 4) Защита от перегрузок и коротких замыканий, Ф10.2 Защита от ударов молний, Ф10.3 Защита от утечек тока.



Рис. 1.1. Ф1 Функциональная модель



Рис. 1.2. Ф1 Архитектурная модель

В выборе передатчика энергии мы остановились на параболической антенне, концентрация и направленность пучка СВЧ-энергии позволит увеличить КПД передачи. На приемной стороне комбинация антенны-ректенны с небольшим количеством мощных концентраторов энергии и множественной матрицы ретрансляторов также положительно влияет на эффективность передачи. Бесперебойность

электрообеспечения обеспечивается путем быстрого переключения между резервным и основным каналами посредством наличия микроконтроллеров переключения. Энергия поступает на систему накопления энергии LiFePo4 1000 кВт, находящуюся на крыше дома, питающую все квартиры. Подзарядка батареи происходит в реальном времени.

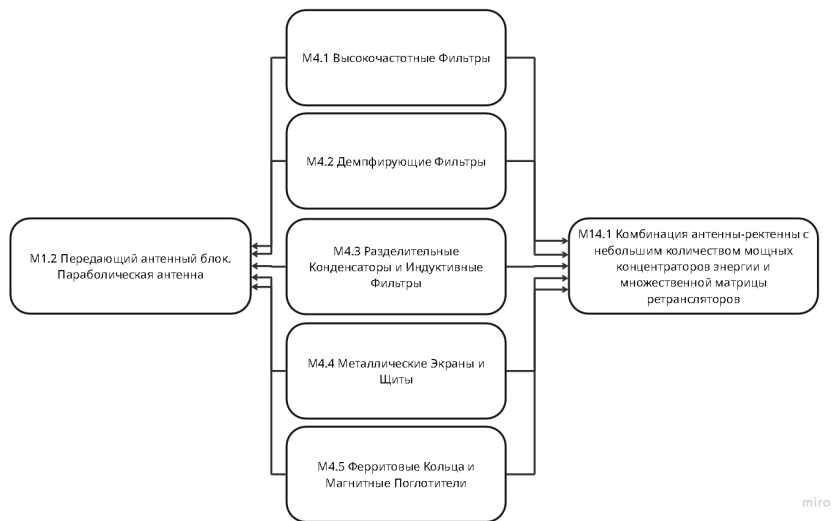


Рис. 2. Ф5. Архитектурная модель

Для поглощения или отражения нежелательных частот и электромагнитных волн следует установить демпфирующие фильтры и металлические экраны, и щиты соответственно. Также магнитные поглотители рядом с приемником помогут справиться с электромагнитными колебаниями. Добиться подавления паразитных колебаний и шумов можно путем добавления разделительных конденсаторов и индуктивных фильтров, а высокочастотные фильтры удалят гармонические составляющие и нежелательные частоты из сигнала. Чтобы справиться с помехами все вышеперечисленное должно входить как в передающий, так и в принимающий блок.

Ф7. Тушение пожаров в реальном времени

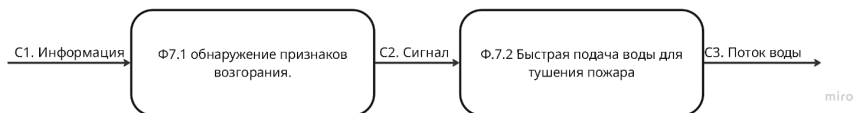


Рис. 3.1. Ф7. Функциональная модель



Рис. 3.2. Ф7. Архитектурная модель

Датчики дыма и тепла позволяют своевременно идентифицировать пожар и устранить его с помощью автоматических спринклеров.



Рис. 4.1. Ф10 Функциональная модель

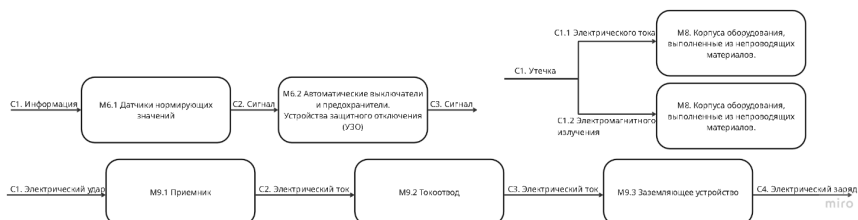


Рис. 4.2. Ф10 Архитектурная модель

Ф10.1 При использовании устройств защитного отключения перегрузки и короткие замыкания не приведут к нежелательным

последствиям. Ф10.2: Во избежание воздействия молний на станцию необходимо наличие молниезащиты. Ф10.3: Для обеспечения изоляции оборудования и удержания СВЧ-сигналов с целью минимизации воздействия на окружающую среду требуется изготавливать корпус оборудования из непроводящих материалов.

Благодаря использованию передовых технологий и методов защиты, станция обеспечит надежное и безопасное электроснабжение, минимизируя потери энергии и предотвращая негативное воздействие на окружающую среду. Проектирование станции включает в себя комплекс мер, направленных на обеспечение бесперебойной работы системы, защиту от помех и аварийных ситуаций, а также соответствие всем необходимым стандартам и нормам. Это позволит создать инновационное решение, которое будет способствовать улучшению качества жизни и повышению уровня комфорта для жителей многоквартирных домов.

Список использованной литературы

1. Кошкин, Ф. В., Технологии беспроводной передачи энергии и их внедрение в повседневную жизнь человека / Ф. В. Кошкин, К. Ю. Дубовсков, В. В. Шинкарев, У. К. Полуэктов // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности С. 146
2. Лу, С. Технологии беспроводной зарядки. Часть 1. Теоретические основы и способы аппаратной реализации / С. Лу, П. Ванг, Д. Ниято, Д. И. Ким, Ч. Хан // Беспроводные технологии. — С. 59–61.
3. Старостина, С. С. Физические принципы и перспективы применения технологии беспроводной передачи электрической энергии / С. С. Старостина, М. С. Елецков // Старт в науке. — 2022. — С. 261–262.
4. Марченко, В. Д. Методы преобразования СВЧ-энергии в постоянный электрический ток / В. Д. Марченко, О. А. Суханова, И. В. Трифанов // Решетневские чтения. — С. 521–522.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Научное издание

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ

Сборник научных трудов

по материалам VI Международной научно-практической конференции

г. Сургут, 24–25 апреля 2025 года

Компьютерная верстка: Елена Семенова

Издается в авторской редакции

Издательство «Знание-М»

Подписано в печать 06.10.2025. Формат 60х84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура «Times». Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25,11. Заказ № 8989. Тираж 50 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в издательстве «Логос»

Издано в учебных и научных целях.