

# Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России

сборник  
научных  
трудов

2022



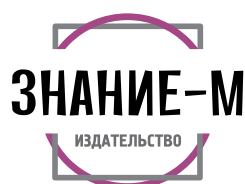
**III Всероссийская с международным участием  
научно-практическая конференция**

Сургут, 21-22 апреля 2022 г.

# ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ  
III Всероссийской с международным участием  
научно-практической конференции

г. Сургут, 21-22 апреля 2022 г.



Москва

2022

УДК 621.31(063)  
ББК 31.2я73  
П78

*Под общей редакцией канд. физ.-мат. наук **В. В. Рыжакова**,  
заведующего кафедрой радиоэлектроники и электроэнергетики  
Сургутского государственного университета*

**Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России :**  
П78 сборник научных трудов III Всероссийской с международным участием  
научно-практической конференции (г. Сургут, 21-22 апреля 2022 г.) / под  
общ. ред. В. В. Рыжакова. — Москва : Издательство «Знание-М», 2022. —  
476 с.

ISBN 978-5-00187-389-1  
DOI 10.38006/00187-389-1.2022.1.476

Сборник содержит статьи на русском языке по широкому кругу вопросов в области электроэнергетики, электротехники, электроники, телекоммуникаций, инфокоммуникаций и связи и смежных им, которые обсуждались на III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России», 20–21 апреля 2022 года, Россия, г. Сургут.

Издание адресовано специалистам-практикам, научным сотрудникам, аспирантам и докторантам. Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей. Статьи представлены в авторской редакции. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. На дату публикации Сургутскому государственному университету принадлежат эксклюзивные права на первую публикацию каждой статьи, представленной в сборнике, а также неэксклюзивные права на их репродукцию в любом виде. Остальные права на каждую статью сборника остаются за авторами.

УДК 621.31(063)  
ББК 31.2я73

ISBN 978-5-00187-389-1

© Издательство «Знание-М», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### **СЕКЦИЯ 1. Энергосбережение и энергоэффективность в электроэнергетических системах и электрических сетях**

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИКЛА ОАПВ

**Бурмистрова Е. А.** ..... 14

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ  
ОТ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА В СЕТЯХ С НИЗКОЙ  
ИНТЕГРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

**Ананьина Т. В., Иванова Е. В., Переладов М. Е., Сальников В. Г.**..... 20

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ  
НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Завьялов Д. В., Кислицин Е. Ю.**..... 29

АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РЕГИОНА,  
ПЕРСПЕКТИВНОГО ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

**Лаптев Д. С., Чирятьев К. В., Кислицин Е. Ю.**..... 35

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЫ ОТ БЕРЕГОВОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**Смыков Ю. Н.**..... 43

ОПЕРАТИВНАЯ БЛОКИРОВКА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ НА ЦИФРОВЫХ  
ПОДСТАНЦИЯХ

**Садовская Л. В., Федяев В. С., Шнайдер Н. А.**..... 51

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЗИА

**Зобян А. А.** ..... 58

ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ	
<b>Владимиров Л. В., Момотов А. Е.</b> .....	61
СРАВНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6–10 кВ и 20 кВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ	
<b>Манусов В. З., Иванов Г. В., Талмазан Д.</b> .....	68
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В НУЛЕВОМ ПРОВОДЕ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПОРТА	
<b>Дворцов П. П., Иванова Е. В., Переладов М. Е., Садьников В. Г.</b> .....	77
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ	
<b>Кислов А. П., Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Талипов О. М., Кузанов Б., Фазлыев Д. М.</b> .....	84
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПОТОК ВЕТРА	
<b>Кайдар А. Б., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Талипов О. М., Макажанов Н. Е., Макажанов Е. Е.</b> .....	94
МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА С ОДНО- И ДВУХКОЛЕСНЫМИ ТУРБИНАМИ	
<b>Кайдар А. Б., Марковский В. П., Шапкенов Б. К., Абдрахманов Б. Т., Мусекенова Г. О., Жанбырбаев А. Р.</b> .....	100
ДИАГНОСТИКА СТАРЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	
<b>Чирков В. А., Гуленко И. А., Самусенко А. В.</b> .....	106
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ	
<b>Кондрашкина Е. Г., Захаров И. А.</b> .....	114
РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ	
<b>Курпита Д. В.</b> .....	118

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ <b>Рысев П. В., Шульга К. С.</b> .....	122
ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СЕТЬ <b>Редченко В. А.</b> .....	128
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЖИЛЫХ ДОМОВ МИКРОРАЙОНА ПОСРЕДСТВОМ ПРОТОКОЛА LORAWAN <b>Юсупов С. Р.</b> .....	132
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ КАК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <b>Кондрашкина Е. Г., Витвицкий В. А.</b> .....	150
АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ <b>Кондрашкина Е. Г., Зиннатуллин А. У., Шулятицкий С. В.</b> .....	154
ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОРТОГОНАЛЬНЫХ СХЕМАХ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА <b>Халатов М. С., Нейман Л. А., Нейман В. Ю.</b> .....	157
ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ <b>Чирятьев К. В., Лаптев Д. С., Кислицин Е. Ю.</b> .....	162
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ <b>Вильбергер М. Е., Попов Н. С., Аносов В. Н., Погосян А. А.</b> .....	167

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ УСТАНОВОК  
КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ  
**Кочуров Н. А., Кислицин Е. Ю., Мищенко В. В.**..... 174

ОСОБЕННОСТИ МЕНЕДЖМЕНТА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ  
**Резанов Г. А.** ..... 180

**СЕКЦИЯ 2. Проблемы и перспективы  
развития электроэнергетики**

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ ДЛЯ ВЕТРЯНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ  
**Вербовенко Н. И.** ..... 184

ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕЖИМ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПИТАНИИ СУДОВ  
И ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ С БЕРЕГА  
**Денчик Ю. М., Иванова Е. В., Иванов М. Н., Иванов Д. М., Сальников В. Г.,  
Кислицин Е. Ю.**..... 188

ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ ВНУСТРИСКВАЖИННЫХ  
УСТАНОВОК КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КУСТА  
НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ  
**Ермакова Е. Н., Антипин Д. П.**..... 195

УСТОЙЧИВОСТЬ УЗЛОВ НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ (6-10) кВ  
КАК ПАРАМЕТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ  
**Иванов М. Н., Сальников В. Г., Кислицин Е. Ю., Иванов Д. М.** ..... 201

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЗАРЯДНО-ЗАЩИТНОЙ СТАНЦИИ БПЛА,  
РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ОПОРЕ ЛЭП, НА ОСНОВЕ ВИЭ  
**Косенко А. А., Путинин Я. С., Чернова А. Д., Соколова Т. Ю.**..... 205

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ  
**Владимиров Л. В., Савинов С. А.**..... 212

РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРЕСТЬЯНСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Уразалимова Д. С., Макажанов Н. Е.,  
Жанбырбаев А. Р.** ..... 217

THE MECHANICAL MODELLINGS OF THE WIND ENERGY CONVERSION  
SYSTEM AND THEIR SPECIFIC FUNCTION IN THE ENERGY CONVERSION  
PROCESS

**Kaidar A. B., Issenov S. S., Kislov A. P., Azamatov M. T., Sagaliev A.,  
Aitpayev A. E.**..... 224

OVERVIEW OF WIND TURBINE SYSTEMS

**Kaidar A. B., Issenov S. S., Kislov A. P., Sharpenov B. K., Makazhanov N. E.,  
Fazlyev D. M.**..... 229

СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ  
СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6-10 кВ и 20 кВ

**Манусов В. З., Иванов Г. В., Талмазан Д.** ..... 236

ПРЕИМУЩЕСТВО ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ ОПЕРАТИВНОЙ  
БЛОКИРОВКИ. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ  
ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯХ

**Кочеров А. А.**..... 248

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ ПРИ ПРЕРЫВАНИЯХ И ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ

**Петрухин А. В.** ..... 253

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ:  
В ЧЕМ ИХ НЕОБХОДИМОСТЬ

**Стрельникова И. А.** ..... 258

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ  
ЭНЕРГЕТИКИ

**Тугалёв Н. А.**..... 264

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗНАЧЕНИЕ ТОКОВ  
ВЫСШИХ ГАРМОНИК ПРИ ПУСКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Никончук А. С.** ..... 270



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<b>Бородина Е. А., Герасимова Н. Н., Макаручук В. Э.</b> .....	275
ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ	
<b>Владимиров Л. В., Попков Н. А.</b> .....	280
ОБЗОР СПОСОБОВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	
<b>Рысбаева Г. Б., Умурзакова А. Д.</b> .....	288
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	
<b>Петров В. В., Штрамель А. А., Соколова Т. Ю.</b> .....	297
ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СЕТЯХ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ И ВИЭ	
<b>Соколова Т. Ю., Кибец А. С., Темиргалиев Р. Р.</b> .....	303
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ БЕЗУДАРНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕЖДУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ И ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ	
<b>Домахин Е. А., Котин Д. А., Вильбергер М. Е., Ляпин Н. Ю.</b> .....	312
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВЕТРЯНЫМ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ	
<b>Жураев М. Р., Евдокимов А. А., Рахматулин Р. М.</b> .....	318
ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<b>Гирич Е. С., Рахматулин Р. М.</b> .....	327

**СЕКЦИЯ 3. Проблемы и перспективы  
развития телекоммуникаций**

СОВРЕМЕННЫЙ ВИНИЛОВЫЙ ПРОИГРЫВАТЕЛЬ NEFTER

**Кондрашкина Е. Г., Герасимова Н. Н., Макачук В. Э., Ковалев Д. Ю.,  
Зубченко А. В., Рыжаков В. В. .... 332**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ  
ПРОВЕДЕНИИ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

**Плаксин С. Д. .... 337**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ  
МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ БИЗНЕС-ЗАДАЧ

**Плаксин А. Д. .... 341**

ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗЬ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**Ахтияров А. Г. .... 344**

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ  
ДАННЫХ

**Мицул В. А. .... 349**

БЕСПРОВОДНАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ  
ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОФИСНЫХ  
И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

**Пелевин П. В. .... 355**

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА ДЛЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ  
МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ «СЛУЧАЙНЫЙ ЛЕС»

**Селиванов А. И. .... 358**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОМОБИЛЬНЫМИ  
УСТРОЙСТВАМИ

**Пономарев В. С. .... 363**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ <b>Абдулаев М. И.</b> .....	367
КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УТЕЧЕК МЕТАНА НА МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ <b>Семенова Л. Л.</b> .....	371
РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК МЕТАНА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ НА БАЗЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ <b>Измоденова Д. А., Митрошин К. О.</b> .....	377
МОБИЛЬНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА С СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ <b>Панахов Ш. П.</b> .....	382
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ <b>Страхов Д. Ю., Рыжаков В. В.</b> .....	386
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ АРХИТЕКТУРЫ ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ С ПОДДЕРЖКОЙ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА <b>Федотов А. О.</b> .....	392
ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОКАНАЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ <b>Щербакова В. В.</b> .....	396
МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ. IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM НА ПРОИЗВОДСТВЕ <b>Морозов К. В.</b> .....	402
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ СВЯЗИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ <b>Авдеев В. В., Емельянова М. Е., Прохорова Е. В.</b> .....	404

**УСТОЙЧИВОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЕЙ  
МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ**

**Гапоненко Н. А.** ..... 411

**ЦИФРОВЫЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ МНОГОФАЗНЫХ  
СИГНАЛОВ**

**Алмазова Е. Г., Дёмко А. И.**..... 414

**СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАГРУЗКИ НА КАНАЛ СВЯЗИ  
В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ**

**Загитов С. Р., Прохорова Е. В.**..... 420

**БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ ПОВЫШЕННОЙ ЖИВУЧЕСТИ**

**Соловьёв В. С., Альтенгоф А. С.** ..... 423

**СЕКЦИЯ 4. Научно-методические вопросы преподавания  
инфокоммуникаций и электроэнергетики в вузе**

**ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ:  
БАКАЛАВРИАТ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**

**Дёмко А. И.**..... 428

**ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТУДЕНТОВ  
ПЕРВОГО КУРСА НАПРАВЛЕНИЯ «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»**

**Бородина Е. А.**..... 435

**АСПЕКТЫ ПРАКТИКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ  
ДИСЦИПЛИН**

**Смыков Ю. Н., Горелов С. В.**..... 443

**ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ЦЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ «SISS:  
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»**

**Кондрашкина Е. Г.** ..... 449

ПОРЯДОК ВЫПОЛЕНИЯ РАЗДЕЛА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ МАРКЕТИНГУ  
ПРОГРАММЫ КРУГЛОГОДИЧНОЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ  
«SIESS: ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ» В РАМКАХ ВВОДНОГО КУРСА  
«КРЕАТИВНЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»

**Рыжаков В. В.** ..... 454

ТИПЫ И ВИДЫ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ  
ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ БАКАЛАВРИАТА, МАГИСТРАТУРЫ  
И АСПИРАНТУРЫ КАФЕДРЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Кислицин Е. Ю.** ..... 459

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАМ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫМ  
ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ БАКАЛАВРИАТА, МАГИСТРАТУРЫ  
И АСПИРАНТУРЫ КАФЕДРЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Иванов Г. В.** ..... 466

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ

**Владимиров Л. В.** ..... 471

# **СЕКЦИЯ 1**

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ  
И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ  
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ  
И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

УДК 621.311

***Бурмистрова Е. А.***

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

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИКЛА ОАПВ

Общие рекомендации по методике оценки величины  
тока подпитки дуги и восстанавливающегося напряжения  
на аварийной фазе

*г. Сургут*

**Аннотация.** Произведен анализ основных мер повышения эффективности цикла ОАПВ. Данные рекомендации проанализированы на математической модели цикла ОАПВ в части оценки величины тока подпитки и восстанавливающегося напряжения.

**Ключевые слова:** *воздушная линия, короткое замыкание, однофазное автоматическое повторное включение, ток подпитки дуги, технические рекомендации, восстанавливающееся напряжение.*

***Burmistrova E. A.***

Surgut State University, г. Surgut

## TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF USING THE SPAR CYCLE

General recommendations on the methodology  
for estimating the magnitude of the arc feed current  
and the recovering voltage in the emergency phase

*Surgut*

**Abstract.** An analysis of the main measures of the effectiveness of the SPAR cycle was carried out. These recommendations are analyzed on the mathematical model of the SPAR cycle in terms of measuring the feed current and recovering voltage.

**Keywords:** *aerial power line, short circuit, single-phase auto-reclosing, seed current, technical recommendation, transient recovery voltage.*

## Технические рекомендации по повышению эффективности использования ОАПВ

Однофазное автоматическое повторное включение линий электропередачи (ОАПВ) при наиболее частых видах аварий на ЛЭП (однофазных коротких замыканиях) является эффективной мерой повышения надежности энергоснабжения по магистральным ВЛ и устойчивости работы энергосистем, когда аварийная фаза отключается на несколько секунд, а поток мощности полностью не прерывается. Основная задача, возникающая при применении ОАПВ, — это установление оптимальной и требуемой для его успешного осуществления длительности бестоковой паузы в конкретной проектируемой или эксплуатируемой ВЛ 500 кВ.

Для исследования переходных процессов в течение бестоковой паузы ОАПВ формулируются следующие требования к модели:

- учет распределенности параметров длинной линии с учетом потерь в земле, проводах и других элементах;
- возможность управления выключателями, расположенными на одной из фаз с двух сторон;
- управление состоянием дуги при помощи управляемого коммутатора;
- возможность изменения режима передачи мощности от передающей к приемной системам и эквивалентных параметров систем;
- возможность учета компенсирующих реакторов в начале и конце ВЛ, в том числе и с применением 4-го луча;
- модель должна отрабатывать как квазистационарные режимы, так и переходные процессы, вызванные коммутациями либо другими изменениями в схеме.

Разрабатываемая модель построена на базе программного комплекса VMAES [8]. Расчетная электрическая схема модели приведена на рисунке 1.1.

Структурно модель представляет собой блок трехфазной ВЛ, состоящей из двух отрезков произвольной длины с усредненными параметрами с учетом потерь в каналах прямой и нулевой последовательностей, двух моделей систем — со своими трехфазными симметричными ЭДС с изменяемым углом  $\delta$  и эквивалентными сопротивлениями по прямой и нулевой последовательностям, управляемыми по времени выключателями на аварийной фазе в режиме О-В-О, двух групп трехфазных реакторов с учетом потерь в меди.

Квазистационарные режимы при использовании данной программы являются при применении численного метода расчета «шаг за шагом» составляющими переходного процесса от одного состояния к другому. Выход на стационарный режим передачи энергии происходит в программе при помощи плавного подъема питающих ЭДС по линейному закону в течение 5-6 периодов промышленной частоты.



Это необходимо для того, чтобы избежать интенсивных переходных процессов, которые могут наблюдаться при внезапном включении схемы на ненулевые мгновенные значения трехфазной системы ЭДС.

Шаг расчета по времени в программе выбирается исходя из наиболее короткого отрезка ВЛ по принципу — эту длину волна со скоростью света должна преодолеть за время не менее 3-4 шагов. Так, например, при длине самого короткого отрезка ВЛ 30 км время пробега волны по нему составляет 0,1 мс, и шаг расчета целесообразно выбрать не менее 0,02 мс.

Поскольку расчеты, проводимые с использованием программы, захватывают значительный диапазон по времени (до 50 периодов промышленной частоты), то с целью получения минимальных погрешностей численного метода целесообразно еще в 5-10 раз уменьшать шаг расчета. Критерием достаточности дробления шага является совпадение результатов расчета при двух значениях шага по времени, отличающихся между собой в 2-5 раз.

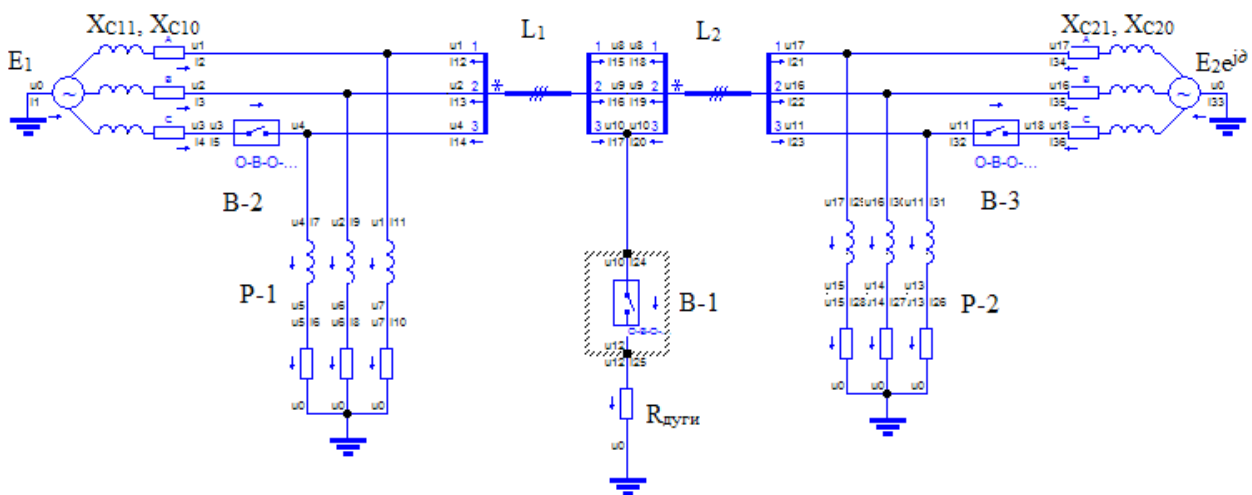


Рисунок 1.1. Модель ВЛ-500кВ для исследования переходных процессов в цикле ОАПВ.  
О-В-О — управляемый выключатель

### Общие рекомендации по методике оценки величины тока подпитки дуги и восстанавливающегося напряжения на аварийной фазе

Для магистральных ВЛ 500-750 кВ незначительной протяженности (менее 150 км) величина тока подпитки дуги и восстанавливающееся напряжение определяются главным образом электростатическим влиянием неотключенных фаз и могут быть оценены без большой погрешности в сосредоточенных схемах замещения ВЛ. Для усредненных параметров ВЛ 500 кВ величина тока подпитки составляет 10-15 А на 100 км длины линии, величина восстанавливающегося на-

пряжения не превышает  $(0,14-0,18)U_{\phi}$  или 40-50 кВ<sub>эфф</sub>. Ток подпитки содержит для таких ВЛ только периодическую составляющую, время гашения дуги подпитки не превышает 0,4 сек., пауза ОАПВ может быть выбрана длительностью не менее 0,5 сек.

Электромагнитная составляющая тока подпитки дуги и восстанавливающегося напряжения для таких линий может не учитываться.

Для магистральных ВЛ протяженностью более 150 км, оснащенных линейными шунтирующими реакторами, следует производить оценки параметров бестоковой паузы *только с использованием расчетных моделей*, учитывающих распределенность параметров ВЛ, фактические эксплуатационные ситуации, а также корректный учет потерь в земле, проводах и шунтирующих реакторах.

Существенное влияние на характер процесса горения дуги оказывает сопротивление ее канала, которое также необходимо учитывать. Наличие апериодической составляющей в кривой тока подпитки, которая наблюдается при коротких замыканиях на удалении от шунтирующего реактора, не может не учитываться при оценке времени горения дуги подпитки во избежание необоснованного уменьшения паузы ОАПВ и вероятности неуспешности повторного включения.

Для оценки характеристик апериодической составляющей расчетным случаем должно явиться отключение однофазного КЗ, возникшего на максимальном удалении от шунтирующего реактора, т. е. на противоположном конце ВЛ. Постоянная времени апериодической составляющей тока подпитки определяется как  $L_{\text{фазы}}/R_{\Sigma}$ , где  $R_{\Sigma}$  — суммарное эквивалентное сопротивление контура «реактор — фаза ВЛ — канал дуги — земля». В дополнении к оценке апериодической составляющей также необходимо оценивать величину периодической составляющей тока подпитки и применять традиционные меры (например применение 4-лучевого реактора с реактором в нейтрали трехфазной группы).

Величина и форма восстанавливающегося напряжения равноважны для корректной оценки факта восстановления электрической прочности дугового канала и должны быть учтены при выборе допустимого времени повторного включения фазы ВЛ выключателями. Оценка  $U_{\text{восст}}(t)$  может быть произведена только с учетом всех определяющих факторов:

- электростатической составляющей;
- электромагнитной составляющей при расчетных углах передачи мощности;
- распределенности параметров ВЛ;
- места короткого замыкания по длине ВЛ;
- учета потерь во всех элементах линии электропередач.

Неучет данных факторов, а в особенности неучет реальных потерь и распределенности параметров ВЛ, может привести к ошибочным результатам оценки опасных резонансных областей по длине ВЛ, связанных с применением шунтирующих

реакторов для компенсации реактивной мощности [2]. При учете всех этих факторов не наблюдается существенных резонансных областей, и оценки, приведенные в РД [2], являются чересчур пессимистическими с точки зрения их опасности.

В таблице 1 систематизированы технические мероприятия, традиционно применяющиеся при проектировании и эксплуатации ВЛ 500-750 кВ, а также критически оценены с позиции результатов проведенных экспериментов.

**Таблица 1.** Технические мероприятия и оценка их эффективности

Технические мероприятия	Традиционный подход к оценке эффективности	Критическая оценка
4-лучевой реактор с применением реактора в нейтрали	Компенсирует междофазную емкость и снижает $I_{\text{подп}}$ и $U_{\text{восст}}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижает периодическую составляющую <math>I_{\text{подп}}</math> и <math>U_{\text{восст}}</math>;</li> <li>• Увеличивает постоянную времени апериодической составляющей и не влияет на ее амплитуду</li> </ul>
Двухстороннее шунтирование аварийной фазы	Полностью решает проблему снижения $I_{\text{подп}}$ и $U_{\text{восст}}$	Не является эффективным средством в режиме передачи мощности и коротких замыканиях на 1/3 начала и конца ВЛ, приводя к увеличению $I_{\text{подп}}$
Отключение реактора на время паузы ОАПВ	Избегает попадания $U_{\text{восст}}$ в резонансную область, но исключает компенсацию $I_{\text{подп}}$	Частично снижает $I_{\text{подп}}$ и $U_{\text{восст}}$ , ликвидирует апериодическую составляющую
4-лучевой реактор с применением выключателя в нейтрали	Частично компенсирует $I_{\text{подп}}$ и $U_{\text{восст}}$ , но не решает полностью проблему гашения дуги	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ликвидирует апериодическую составляющую <math>I_{\text{подп}}</math></li> <li>• Возможно попадание в резонансную область <math>U_{\text{восст}}</math> при некоторых сочетаниях параметров</li> </ul>
4х-лучевой реактор, с применением резистора в нейтрали	Не является эффективным средством и практически не снижает $I_{\text{подп}}$ и $U_{\text{восст}}$	Эффективно снижает постоянную времени апериодической составляющей

Таким образом, на основании приведенных в таблице 1.1 оценок, наиболее эффективными мерами по повышению эффективности паузы ОАПВ (что естественно связано с минимальным временем бестоковой паузы и обеспечением безаварийного повторного включения фазы) являются:

- отключение шунтирующего реактора на время паузы ОАПВ;
- применение резистора в нейтрали 4-лучевого реактора.

Традиционно применяемая мера — реактор в нейтралине — является эффективной и должна сопровождаться тщательным анализом возможной апериодической составляющей тока подпитки с использованием уточненных моделей.

### Список использованной литературы

#### *Книги*

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

#### *Статьи из сборников*

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

УДК 621.311

*Ананьина Т. В.<sup>1</sup>, Иванова Е. В.<sup>2</sup>, Переладов М. Е.<sup>3</sup>, Сальников В. Г.<sup>4</sup>*

<sup>1, 2, 3, 4</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,  
г. Новосибирск

## ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ОТ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА В СЕТЯХ С НИЗКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** Описана зависимость взаимодействия коэффициента диэлектрических потерь от температурного коэффициента в сетях с низкой интегральной характеристикой. Приведена схема процесса взаимодействия влияния факторов на качество функционирования исследуемой электрической сети. Предложен алгоритм нахождения потерь мощности с низкими интегральными характеристиками.

**Ключевые слова:** *качество электроэнергии, потери мощности, фазовая скорость волны, кондуктивная электромагнитная помеха.*

*Ananina T. V.<sup>1</sup>, Ivanova E. V.<sup>2</sup>, Pereladov M. E.<sup>3</sup>, Salnikov V. G.<sup>4</sup>*

<sup>1, 2, 3, 4</sup> FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

## DEPENDENCE OF THE DIELECTRIC LOSS COEFFICIENT ON THE TEMPERATURE COEFFICIENT IN NETWORKS WITH LOW INTEGRAL CHARACTERISTIC

*Novosibirsk*

**Abstract.** The dependence of the interaction of the dielectric loss coefficient on the temperature coefficient in networks with a low integral characteristic is described. A diagram of the process of interaction of the influence of factors on the quality of functioning of the electrical network under study is given. An algorithm for finding power losses with low integral characteristics is proposed.

**Keywords:** *power quality, power losses, wave phase velocity, conducted electromagnetic interference.*

В условиях Крайнего Севера нередки случаи передачи электроэнергии в сетях с потерями, в частности в сетях низкими интегральными характеристиками. Это происходит из-за климатических особенностей данного региона.

В соответствии с планом развития водного транспорта до 2030 года [1] и планом развития инфраструктуры Северного морского пути [2] необходимо повышать качество электроэнергии, а именно выполнить математическое описание сетей с потерями, таких как сетей с низкими интегральными характеристиками, и осуществить план мероприятий по минимизации потерь мощности в данных сетях.

Рассмотрим линию электропередач как однородную изотропную среду с потерями. Обычно потери связывают с преобразованием электромагнитной энергии, переносимой электромагнитной волной в тепловую энергию. Механизмов здесь может быть два. Во-первых, электромагнитная волна своим электрическим полем создает в материальных средах ток проводимости в соответствии с третьим материальным уравнением, равным  $J = \sigma E$ , и чем больше будет проводимость, тем больше будет создаваться ток проводимости, вызывающей тепловые потери. Другой механизм описания тепловых потерь вводится через инерционность процессов поляризации и намагниченности в реальных материальных средах. Мы этими процессами будем пренебрегать. Говорят, если проводник обладает ненулевой проводимостью, то она обладает потерями. Ненулевая проводимость приводит к тому, что абсолютная диэлектрическая становится комплексной, и её как комплексную величину мы можем записать либо через проводимость и частоту, либо через тангенс угла диэлектрических потерь:

$$\dot{\epsilon}_a = \epsilon_a - j \frac{\sigma}{\omega} = \epsilon_a (1 - jtg\delta). \quad (1)$$

Наличие такой комплексной диэлектрической проницаемости приводит к тому, что волновое число становится также комплексным, и комплексное волновое число мы можем записать следующим образом:

$$\dot{k} = \omega \sqrt{\dot{\epsilon}_a \mu_a} = \omega \sqrt{\mu_a \epsilon_a (1 - jtg\delta)} = \beta + j\alpha. \quad (2)$$

Как и любое другое комплексное число, мы можем его разделить на вещественную и мнимую части. Вещественную часть обозначим буквой  $\beta$ , а мнимую часть обозначим буквой  $\alpha$ . Найдем эти величины. Для этого возведем полученное уравнение в квадрат и выделим в этих частях действительные и мнимые части, и приравняем их друг другу. Тогда получим следующую систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} \beta^2 - \alpha^2 = \omega^2 \mu_a \epsilon_a; \\ 2\beta\alpha = -\omega^2 \mu_a \epsilon_a tg\delta. \end{cases} \quad (3)$$

Из этой системы мы можем получить  $\beta^2$ , выразив  $\alpha$  из одного из уравнений и подставив его в другое уравнение:

$$\beta^2 = \frac{\omega^2 \mu_a \varepsilon_a}{2} \left( 1 \pm \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \right). \quad (4)$$

Здесь присутствует некая неоднозначность: мы видим знаки плюс и минус. Поскольку  $\beta$  должно быть вещественным числом, так как представляет собой комплексную часть комплексного волнового числа, мы должны в правой части поставить знак «+», и соответственно,  $\beta$  мы должны записать как «±»:

$$\beta = \pm \omega \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left( 1 + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \right)}. \quad (5)$$

Подставив эту  $\beta$  в систему уравнений, мы можем получить  $\alpha$ . Из второго уравнения системы мы можем видеть, что  $\alpha$  и  $\beta$  должны иметь разные знаки, поэтому для выражения  $\alpha$  стоит не «±», а «∓»:

$$\alpha = \mp \omega \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left( 1 - \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \right)}. \quad (6)$$

Для вычислений удобнее иметь эти коэффициенты оба положительные. Для того чтобы  $\alpha$  и  $\beta$  были положительными, мы должны переписать комплексное волновое число по-другому. Мы можем его записать

$$\dot{k} = \beta - j\alpha; \quad (7)$$

$$\dot{k} = -\beta + j\alpha. \quad (8)$$

Поскольку  $\alpha$  и  $\beta$  должны иметь разные знаки, то волновой множитель будет выражаться

$$e^{-jkz} = e^{-\alpha z} e^{-j\beta z}; \quad (9)$$

$$e^{-jkz} = e^{\alpha z} e^{j\beta z}. \quad (10)$$

То есть в первом случае мы имеем волну, распространяющуюся в сторону положительных направлений координаты  $z$ , а во втором случае — в сторону отрицательных направлений координаты  $z$ .

Поскольку мы изначально договорились, что источник поля находится в области отрицательных значений  $z$ , мы должны рассматривать волну, которая распространяется в сторону положительных направлений  $z$ , и соответственно, мы оставляем первое решение, а второе отбрасываем. Тогда мы можем записать выражение для  $\beta$  в конечном виде со знаком плюс, и  $\beta$  называют коэффициентом фазы:

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}\right)}. \quad (11)$$

И аналогично можем записать выражение для  $\alpha$  со знаком плюс, и  $\alpha$  называют коэффициентом затухания:

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left(1 - \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}\right)}. \quad (12)$$

При этом коэффициент фазы определяет скорость изменения фазы вдоль направления распространения волны, а коэффициент затухания определяет скорость амплитуды волны в направлении распространения. Фазовая скорость волны в проводнике с потерями будет записываться через действительную часть комплексного волнового числа, то есть через коэффициент фазы:

$$V_\phi = \frac{\omega}{\operatorname{Re} k} = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}\right)}}. \quad (13)$$

Длина волны также будет записываться через действительную часть комплексного волнового числа, или через коэффициент фазы  $\beta$ :

$$\lambda = \frac{2\pi}{\operatorname{Re} k} = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{V_\phi}{f} = \frac{1}{f \sqrt{\frac{\mu_a \varepsilon_a}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}\right)}}. \quad (14)$$

Выражение для фазовой скорости и длины волны входит в тангенс угла диэлектрических потерь, который связан с проводимостью следующим образом, и в выражение для его вычисления входит частота

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_a}. \quad (15)$$

Это означает, что фазовая скорость в проводнике с потерями будет зависеть от частоты. О таких проводниках, в которых фазовая скорость зависит от частоты, говорят, что они обладают частотной дисперсией, то есть проводник с потерями обладает частотной дисперсией.

Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости позволяет оценить изменение диэлектрической проницаемости с изменением температуры:

$$T_{k\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_a} \frac{d\varepsilon_a}{dT}.$$



При изменении температуры среды происходит изменение диэлектрической проницаемости, соответственно, происходит изменение свойств проводника. На рисунке 1 представлены зависимости различных факторов на изменение качества электрических сетей с низкими интегральными характеристиками [3].

Характеристическое сопротивление в среде с потерями также становится комплексной величиной. Если мы подставим в его выражение комплексную диэлектрическую проницаемость, то можем представить в следующем виде характеристическое сопротивление:

$$\dot{Z}_c = \sqrt{\frac{a}{\varepsilon_a (-jtg\delta)}} = |\dot{Z}_c| e^{j\varphi_c} \quad (16)$$



Рисунок 1. Схема взаимодействия влияния факторов на качество функционирования исследуемой электрической сети

Как и любое комплексное число, мы можем записать его в показательной форме, выделив модуль  $|\dot{Z}_c|$  и аргумент  $\varphi_c$ . Модуль такого комплексного числа будет записываться как

$$|\dot{Z}_c| = \sqrt{\frac{\mu_a \cos\delta}{\varepsilon_a}} \quad (17)$$

а аргумент  $\varphi_c$  — как

$$\varphi_c = \frac{\delta}{2}. \quad (18)$$

При этом модуль комплексного числа будет определять отношение модулей векторов  $E$  и  $H$  в распространяющейся волне в проводнике с потерями, а аргумент характеристического сопротивления будет определять разность фаз между векторами  $E$  и  $H$  в распространяющейся волне в проводнике с потерями. Например, при проводимости, стремящейся к нулю, то есть когда проводник становится идеальным диэлектриком, фаза характеристического сопротивления становится равной нулю, а само характеристическое сопротивление становится равным характеристическому сопротивлению проводнику без потерь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } \sigma \rightarrow 0; \\ \varphi_c \rightarrow 0; \\ |\dot{Z}_c| \rightarrow \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}. \end{array} \right. \quad (19)$$

С увеличением проводимости до бесконечности, то есть приближением к идеальному проводнику, фаза характеристического сопротивления стремится к  $\pi/4$ , а модуль характеристического сопротивления стремится к нулю, то есть фаза при увеличении проводимости изменяется от 0 до  $\pi/4$ , а характеристическое сопротивление — от  $\sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}$  до 0:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } \sigma \rightarrow \infty; \\ \varphi_c \rightarrow \frac{\pi}{4}; \\ |\dot{Z}_c| \rightarrow 0. \end{array} \right. \quad (20)$$

Тогда введя такое характеристическое сопротивление, мы можем в общем случае записать поле плоской однородной электромагнитной волны в среде с потерями, распространяющейся вдоль координаты  $z$ . Вектор  $E$  имеет  $x$ -ую и  $y$ -ую составляющие. Вектор  $H$  также имеет  $x$ -ую и  $y$ -ую составляющие. Здесь мы добавляем ко всем слагаемым в выражениях множитель  $e^{-\alpha z}$ , который определяет уменьшение амплитуды векторов поля при распространении волны:

$$\dot{\vec{E}} = \vec{x}_0 E_{mx} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} + \vec{y}_0 E_{my} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} \quad (21)$$

$$\dot{\vec{H}} = -\vec{x}_0 \frac{E_{my}}{|\dot{Z}_c|} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} e^{-j\varphi_c} + \vec{y}_0 \frac{E_{mx}}{|\dot{Z}_c|} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} e^{-j\varphi_c} \quad (22)$$

Для упрощения рассмотрим волну, в поле которой вектор  $E$  имеет только одну  $x$ -ую составляющую. Тогда мы можем переписать полученные выражения, используя только первое слагаемое. Вектор  $E$  имеет только  $x$ -ую составляющую, тогда вектор  $H$  будет иметь ортогональную и  $y$ -ую составляющую. Оба эти вектора записываются через функции косинуса, при этом вектор  $H$  имеет дополнительное запаздывание по фазе относительно вектора  $E$  на  $\delta/2$ :

$$\vec{E} = \vec{x}_0 E_{mx} e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z), \quad (23)$$

$$\vec{H} = \vec{y}_0 \frac{E_{mx}}{|\dot{Z}_c|} e^{-\alpha z} \cos\left(\omega t - \beta z - \frac{\delta}{2}\right). \quad (24)$$

Построим эти векторы в некотором сечении  $z = z_0$ . Построим эти векторы в зависимости от времени (рисунок 2). Вектор  $E$  имеет только  $x$ -ую составляющую, зависящую от  $\cos(\omega t)$ , и вектор  $H$  будет иметь только  $y$ -ую составляющую, зависящую от  $\cos\left(\omega t - \frac{\delta}{2}\right)$ , то есть он имеет дополнительную разность фаз  $\delta/2$  по отношению к вектору  $E$ , и расстояние между нулями этих графиков будет равно  $\frac{\delta}{2\omega}$ .

Если же мы рассмотрим некоторый момент времени  $t = t_0$ , то можем построить в декартовой системе координат распределение векторов  $E$  и  $H$  для волны в проводнике с потерями (рисунок 3). Вектор  $E$  будет уже записываться через функцию косинуса, умноженную на  $e^{-\alpha z}$ , то есть это будет убывающая гармоническая колеблющаяся функция. Вектор  $H$  также включает в себя  $e^{-\alpha z}$ , и здесь мы можем увидеть, как уменьшаются амплитуды векторов  $E$  и  $H$  в пространстве. Дополнительно к этому имеется разность фаз в пространстве между векторами  $E$  и  $H$ , которая определяется как  $\frac{\delta}{2\beta}$ .

Плотность потока мощности для волны в проводнике с потерями мы можем записать через вектор  $E$  и  $H$ . Такое векторное произведение мы можем записать через определитель или написать в следующем виде:

$$\dot{\vec{P}} = \frac{1}{2} [\dot{\vec{E}}, \dot{\vec{H}}^*] = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \vec{x}_0 & \vec{y}_0 & \vec{z}_0 \\ \dot{E}_x & \dot{E}_y & 0 \\ H_x^* & H_y^* & 0 \end{vmatrix} = \frac{1}{2} \vec{z}_0 (\dot{E}_x H_y^* - \dot{E}_y H_x^*), \quad (25)$$

где  $\vec{E}^*$ ,  $\vec{H}^*$  — комплексно-сопряженные величины.

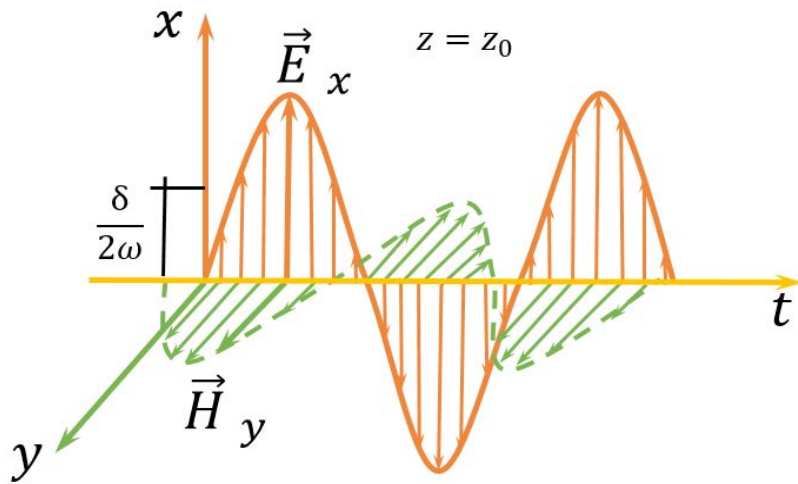


Рисунок 2. Изменение поля плоской волны во времени

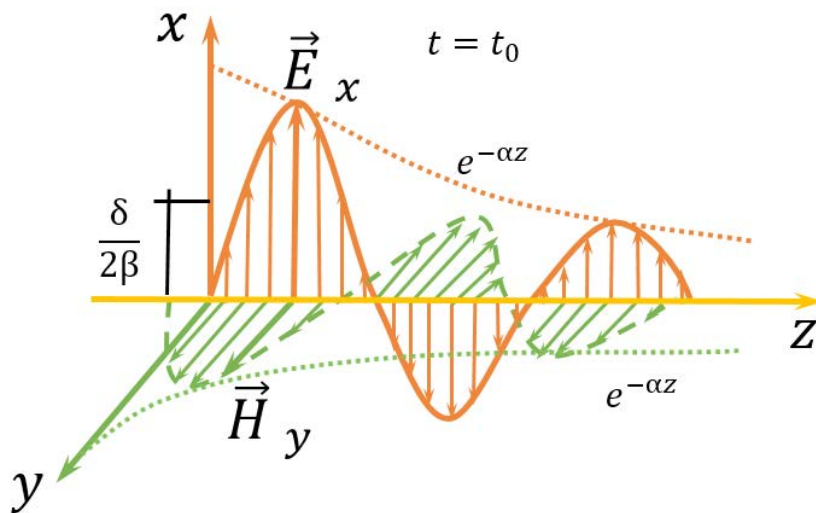


Рисунок 3. Изменение поля плоской волны в пространстве

Если вектор  $E$  будет иметь только одну  $x$ -ую составляющую, то выражение упростится, и мы можем получить зависимость вектора Пойтинга от координаты  $z$ , то есть плотность потока мощности убывает быстрее, чем амплитуда поля:

$$\dot{\vec{P}} = \vec{z}_0 \frac{1}{2} \frac{E_{mx}^2}{|Z_c|} e^{-2\alpha z} e^{j\frac{\delta}{2}}. \quad (26)$$

Средний за период поток мощности будет определяться как действительная часть от комплексного вектора Пойтинга и также будет убывать как  $e^{-2\alpha z}$ . Дополнительно плотность потока мощности будет уменьшаться как  $\cos \frac{\delta}{2}$ :

$$\vec{P}_{cp} = \operatorname{Re} \dot{\vec{P}} = \vec{z}_0 \frac{1}{2} \frac{E_{mx}^2}{|\dot{Z}_c|} e^{-2\alpha z} \cos \frac{\delta}{2}. \quad (27)$$

Тем самым мы нашли выражение для компонентов поля кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи в проводнике с потерями и плотность потока мощности переносимой волной в проводнике с потерями. Мы рассмотрели только диэлектрические потери. Введением магнитных потерь выведенное выражение можно вывести заново.

### Список использованной литературы

1. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 29 февраля 2016 г. № 327-р — 77 с.
2. План развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2019 г. № 3120-р — 21 с.
3. Ситников, Г. В. Потери активной мощности в электрической сети при несимметричных и несинусоидальных режимах напряжения / Г. В. Ситников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. — 2013. — № 2. — С. 223–227.

УДК 621.31

*Завьялов Д. В.<sup>1</sup>, Кислицин Е. Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> МУП «Сургутские районные электрические сети»

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

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКИ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

г. Сургут

**Аннотация.** При осуществлении контроля качества электроэнергии должна проводиться также и оценка соответствия показателей установленным нормам. Последующий анализ сводится к выявлению стороны виновной в ухудшении этих показателей. В данной статье рассмотрено влияние резкопеременной нагрузки на качество электроэнергии питающей сети на примере изолированной сети, работающей на город Норильск и заводы в округе. Произведен анализ показателей качества ТЭЦ-3 Норильской энергосистемы.

**Ключевые слова:** *показатели качества электроэнергии ПКЭ, резкопеременная нагрузка, частота, доза фликера.*

*Zavyalov D. V.<sup>1</sup>, Kislitsin E. Yu.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> MUE «Surgut regional electrical networks»

<sup>2</sup> Surgut State University, Surgut

## ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE ALTERNATING LOAD ON THE QUALITY OF ELECTRICITY

**Abstract.** When monitoring the quality of electricity, an assessment of the compliance of indicators with established standards should also be carried out. The subsequent analysis is reduced to identifying the party responsible for the deterioration of these indicators. In this article, the influence of a sharply variable load on the quality of electricity in the supply network is considered using the example of an isolated network operating for the city of Norilsk and factories in the district. An analysis of the quality indicators of CHPP-3 of the Norilsk energy system was carried out.

**Keywords:** *indicators of the quality of the electric power of the PCE, sharply variable load, frequency, flicker dose.*

В современных тенденциях развития электроэнергетики всё чаще появляется как в быту, так и на производствах различных предприятий электрическое оборудование с резкопеременным характером работы и (или) нелинейными вольт-амперными характеристиками. Резкопеременная нагрузка характеризуется резкими увеличениями или спадами мощности и тока. Примерами электроприемников с нелинейными вольт-амперными характеристиками являются индукционные плиты, различные преобразователи, выпрямители, дуговые сталеплавильные печи, светодиодное освещение и источники света, выполненные в виде газоразрядных ламп. Наличие в электрической сети подобного электрооборудования — один из основных факторов снижения показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в системах электроснабжения.

Определение ПКЭ является довольно сложной задачей, так как процессы, протекающие в электрических сетях, обладают молниеносно изменяющимся характером. Важный факт состоит в том, что все нормируемые ПКЭ не могут быть замерены напрямую — их необходимо рассчитывать. Стоит отметить, что заключение можно дать только после статической обработки результатов. По этой причине для определения ПКЭ необходимо выполнить большой объем измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статической обработкой результатов.

Контроль осуществляется с помощью специализированных сертифицированных приборов, которые проводят измерение действующих значений и расчет всех необходимых параметров для анализа качества электрической энергии.

Контроль качества электрической энергии посредством измерений осуществляется энергоснабжающими организациями в точках общего присоединения потребителей к сетям общего назначения. Потребители могут проводить измерения ПКЭ в собственных сетях в местах, ближайших к этим точкам.

Важный факт состоит в том, что обеспечение потребителя электроэнергией с высокими показателями качества способствует повышению эффективности работы как электрооборудования потребителя, так и всей электрической сети в целом.

ПКЭ нормируются государственным стандартом ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Критериями ПКЭ, чаще всего подвергающимся воздействию резкопеременной нагрузки, являются отклонение напряжения, отклонение частоты, доза фликера и несимметрии напряжения.

Согласно ГОСТ, отклонение напряжения в точках передачи электрической энергии не должно превышать  $\pm 10\%$  номинального значения напряжения в течение 100% времени интервала за одну неделю.

Повышенное напряжение приводит к перегреву статоров асинхронных двигателей, перегреву сердечников трансформаторов, что, в свою очередь, может спровоцировать их выход из строя. Пониженное напряжение способствует снижению крутящего момента электродвигателей, уменьшению светового потока и перерасходу электроэнергии на производствах.

Отклонение напряжения определяется по формуле:

$$\delta U_{(-)} = \left[ \frac{U_c - U_{изм(-)}}{U_{ном}} \right] \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\delta U_{(+)} = \left[ \frac{U_{изм(+)} - U_c}{U_c} \right] \cdot 100\%. \quad (2)$$

Из формулы (1) и (2):

$U_c$  — значение напряжения, равное стандартному номинальному напряжению сети в данной точке;

$U_m$  — значение напряжения, меньше или больше номинального напряжения.

Отклонение частоты при нормальном режиме работы электрической сети не должно превышать  $\pm 0,2$  Гц в течение 95% времени десятисекундного интервала времени в одну неделю и  $\pm 0,4$  Гц в течение 100% интервала в одну неделю. В случае работы электрической сети в послеаварийном режиме допускается отклонение частоты от  $+0,5$  Гц, до  $-1$  Гц продолжительностью не более 90 часов в год [1].

Повышенная частота в энергосистеме приводит к увеличению расхода топлива на электростанции, и, как следствие, повышается себестоимость электроэнергии, также увеличиваются потери в сетях. Пониженная частота приводит к тому, что снижается производительность различного оборудования, установленного на производствах.

Отклонение частоты определяется по формуле:

$$\Delta f = f_{изм} - f_c \quad (3)$$

Из формулы (3):

$f_{ном}$  — номинальное значение частоты в данной точке сети, Гц;

$f_m$  — измеренное значение частоты в данной точке сети в интервале времени 10 сек, Гц.

Что касается несимметрии напряжения, то в точке передачи электрической энергии коэффициент несимметрии по обратной последовательности  $K_{2U}$  и по ну-



левой последовательности  $K_{0U}$ , не должны превышать 2% в течение 95% времени десятиминутного интервала в одну неделю и 4% в течение 100% времени десятиминутного интервала в одну неделю.

По мере увеличения количества потребителей, имеющих резкопеременный характер работы, и потребителей с нелинейной вольт-амперной характеристикой, и при каждом подключении нового потребителя электроэнергии к электрической сети необходимо производить оценку возможного влияния нового потребителя на ПКЭ. По этой причине все чаще приходится учитывать возможные отклонения напряжения, частоты, нарушения симметрии и синусоидальности формы кривой напряжения в трехфазных сетях.

В качестве объекта исследования была выбрана Норильская ТЭЦ-3, работающая на независимую энергосистему города Норильска и снабжающая электрической энергией как сам город, так и множество крупных предприятий в округе, в том числе и ПАО «Норильский никель».

Из-за наличия в данной энергетической сети большого количества предприятий большой мощности суточный график нагрузки характеризуется резкими увеличениями и спадами мощности, что, в свою очередь, говорит о том, что такие предприятия оказывают негативный эффект на ПКЭ. В связи с этим особо остро стоит вопрос о регулярном наблюдении и мониторинге показателей качества электроэнергии, что, в свою очередь, позволяет выявлять и предотвращать любое отклонение от нормативных значений

С помощью специализированного сертифицированного оборудования были измерены действующие значения частоты и напряжения на шинах ГРУ-10кВ Норильской ТЭЦ-3 в течение суток. В дальнейшем анализ данных измерений позволяет определить соответствие ПКЭ требуемым значениям.

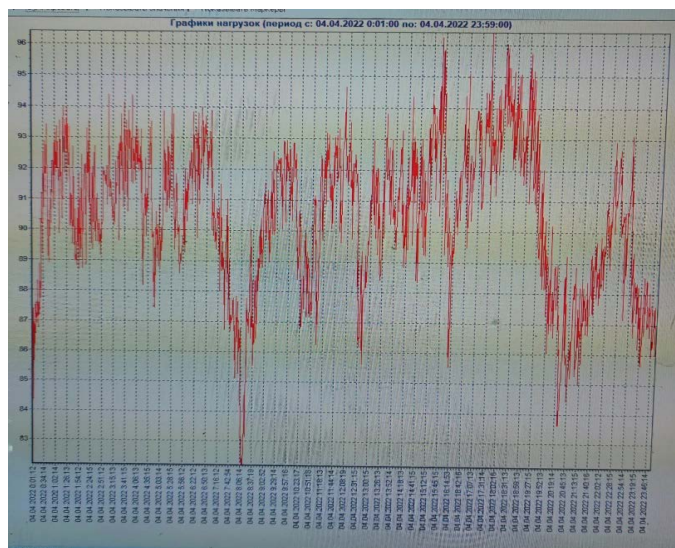


Рисунок 1. Суммарный график нагрузки ТЭЦ-3

Анализируя график нагрузки Норильской ТЭЦ-3, можно сделать вывод, что из-за наличия в энергосистеме большого количества различных крупных производств минимум нагрузки приходится на 8:00, 18:00, а также на 24:00, когда происходит остановка большого количества оборудования из-за пересменки рабочих на производствах. Пик нагрузки приходится на 18:00.

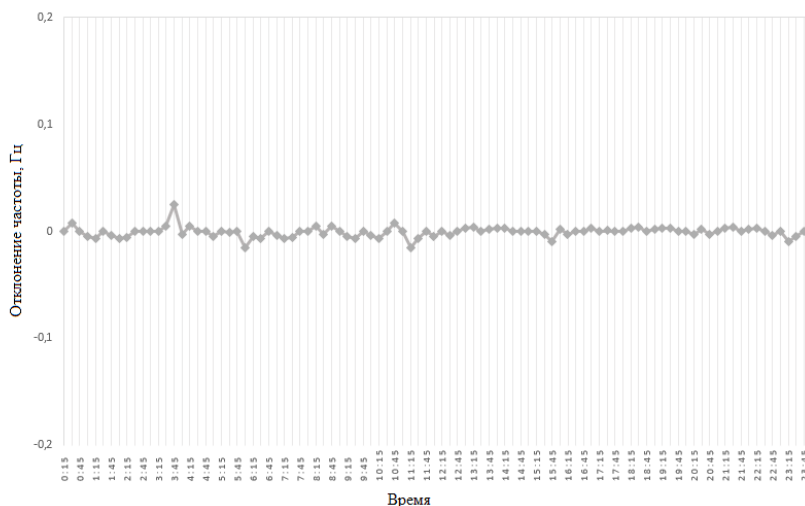


Рисунок 2. График отклонения частоты

Из рисунка 2 видно, что отклонение частоты не превышает  $\pm 0,2$  Гц, следовательно, можно сделать вывод, что в данной энергосистеме не наблюдается недопустимых отклонений частоты, несмотря на наличие мощных электроприемников с резкопеременной нагрузкой.

При этом максимальное отклонение частоты составляет:

$$\Delta f = 50,02 - 50, \tag{4}$$

$$\Delta f = 0,02 \text{ Гц}. \tag{5}$$

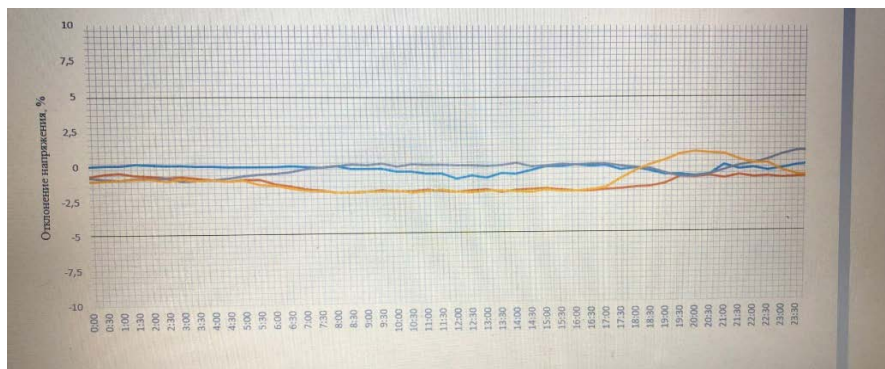


Рисунок 3. График отклонения напряжения ГРУ-10кВ, I, II, V, VI секции шин

Из рисунка 3 видно, что отклонение напряжения на всех секциях шин удовлетворяет требуемым значениям, при этом максимальное отклонение напряжения наблюдается на VI секции шин и составляет

$$\delta U_{(-)} = \left[ \frac{10,5 - 10,29}{10,5} \right] \cdot 100\%, \quad (6)$$

$$\delta U_{(-)} = 1,95\%. \quad (7)$$

Анализируя полученные результаты измерений, можно сделать вывод, что отклонение напряжения в точках передачи электрической энергии на ГРУ-10 кВ удовлетворяет требуемым критериям, определенных ГОСТом. Отклонение напряжения не превышает  $\pm 10\%$ , несмотря на наличие потребителей, имеющих резкопеременный характер работы. Отклонение частоты не превышает  $\pm 0,2$  Гц.

Таким образом, можно сделать вывод, что имеющиеся потребители не оказывают негативного влияния на энергосистему в силу применения большого количества аппаратуры, осуществляющей регулирование частоты вращения турбины и регулирующей мощность генерации.

### Список использованной литературы

1. Борисов А. А. Определение качества электрической энергии в трехфазной сети : методические указания к выполнению лабораторных работ / А. А. Борисов, В. М. Зырянов. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2010. — 57 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е издание : утверждены приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. N 204 : введены в действие : 1 января 2003 г.

УДК 621.31

*Лаптев Д. С.<sup>1</sup>, Чирятев К. В.<sup>2</sup>, Кислицин Е. Ю.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Филиал ПАО «ОГК-2» Сургутская ГРЭС-1, г. Сургут

<sup>2</sup> ПАО «Сургутнефтегаз», УВСИНГ, УЭХ, г. Сургут

<sup>3</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», г. Сургут

## АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РЕГИОНА, ПЕРСПЕКТИВНОГО ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Важнейшей задачей энергетического сектора России было и остается обеспечение надежным и бесперебойным электроснабжением всех уголков страны. Успешно решая эту задачу, Россия встает на путь активного социально-экономического развития, а также в стране увеличивается уровень безопасной жизнедеятельности для населения. В отдельных районах страны ресурсные возможности возобновляемых источников энергии во много раз превосходят возможности традиционных источников энергии. Учитывая данные особенности, одним из вариантов электроснабжения таких районов может служить использование нетрадиционных, возобновляемых и местных энергоресурсов. Целью статьи является комплексный анализ потенциала ветроэнергетических ресурсов Краснодарского края, а также исследование возможности и целесообразности размещения ветроэнергетических электростанций на территории данного региона.

**Ключевые слова:** *ветроэнергетические установки, ветроэнергетика, ветроэнергетические ресурсы, возобновляемые источники энергии, электроснабжение.*

*Laptev D. S.<sup>1</sup>, Chiryatev K. V.<sup>2</sup>, Kislitsin E. Yu.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Branch of PJSC OGC-2 Surgut Power Station — 1, Surgut

<sup>2</sup> PJSC Surgutneftegaz, Surgut

<sup>3</sup> Surgut State University, г. Surgut

## ANALYSIS OF WIND POWER RESOURCES OF A REGION THAT IS PERSPECTIVE FOR LOCATION OF WIND POWER PLANTS

*Surgut*

**Abstract.** The most important task of the Russian energy sector has been and remains to provide reliable and uninterrupted power supply to all corners of the country. Successfully

solving this problem, Russia embarks on the path of active socio-economic development, and the level of safe life for the population increases in the country. In some regions of the country, the resource potential of renewable energy sources is many times greater than that of traditional energy sources. Given these features, one of the options for supplying such areas with electricity can be the use of non-traditional, renewable and local energy resources. The purpose of the article is a comprehensive analysis of the potential of wind energy resources in the Krasnodar Territory, as well as a study of the possibility and feasibility of placing wind power plants in the region.

**Keywords:** *wind power plants, wind power, wind power resources, renewable energy sources, power supply.*

Показатель надежной работы всех компонентов и частей системы энергообеспечения является жизненно необходимой характеристикой энергетической отрасли мира и России в частности. Плодотворность деятельности отраслей народного хозяйства крайне зависима от данного показателя, поскольку при отсутствии надежного электроснабжения уменьшается качество и количество производимых в стране продуктов и изделий. Также с этим показателем тесно связаны здоровье и благополучная жизнь людей, ведь при низком показателе надежности существует риск частых перебоев в энергоснабжении или вовсе его отсутствие, что плохо влияет на социально-экономическое развитие страны.

Краснодарский край является интенсивно развивающимся регионом, с динамичным развитием его экономики и активным притоком инвестиций. Он занимает лидирующие позиции в стране по активности строительства жилых и промышленных объектов, а также из года в год возглавляет список регионов Южного федерального округа (ЮФО) по потреблению электрической энергии (таблица 1) [8]. Одновременно с этим в области выработки электроэнергии Краснодарский край находится в числе аутсайдеров среди регионов округа. Доля собственной выработки электрической энергии составляет 40% от полного объема электропотребления. Оставшаяся доля в 60% покрывается от энергосистем соседних регионов.

Краснодарский край является самым южным регионом Российской Федерации и располагается в отдалении от мощных электростанций, непосредственно между Черным и Азовским морями, занимая тем самым достаточно выгодную позицию для активного развития ветроэнергетики. Очевидным путем повышения энергоэффективности края является максимальное использование местного потенциала ветровых энергоресурсов.

Анализируя территориальное распределение скорости ветра по Краснодарскому краю, видно, что вдоль побережья Черного и Азовского морей средняя скорость ветра выше по сравнению с центральной и восточной частью региона (рисунок 1).

Очевидно, что в этих окрестностях выше и мощность ветрового потока. В зависимости от изменения рельефа ветры в регионе различаются.

Таблица 1. Потребление электроэнергии по субъектам Южного федерального округа

Субъект РФ	Объем потребления электроэнергии, млн кВт·ч						
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
<b>ЮФО</b>	<b>68919</b>	<b>68256</b>	<b>70027</b>	<b>69645</b>	<b>73785</b>	<b>74361</b>	<b>75724</b>
Республика Адыгея	1344	1397	1451	1435	1446	1435	1649
Республика Калмыкия	497	491	490	504	537	573	732
Республика Крым	5824	5514	5678	5861	6107	6283	6354
Краснодарский край	21613	24045	25475	25495	26211	26137	27264
Астраханская область	4463	4494	4442	4317	4288	4370	4312
Волгоградская область	17236	14165	13773	13270	15580	16239	16423
Ростовская область	17942	18150	18718	18763	19616	19324	18990

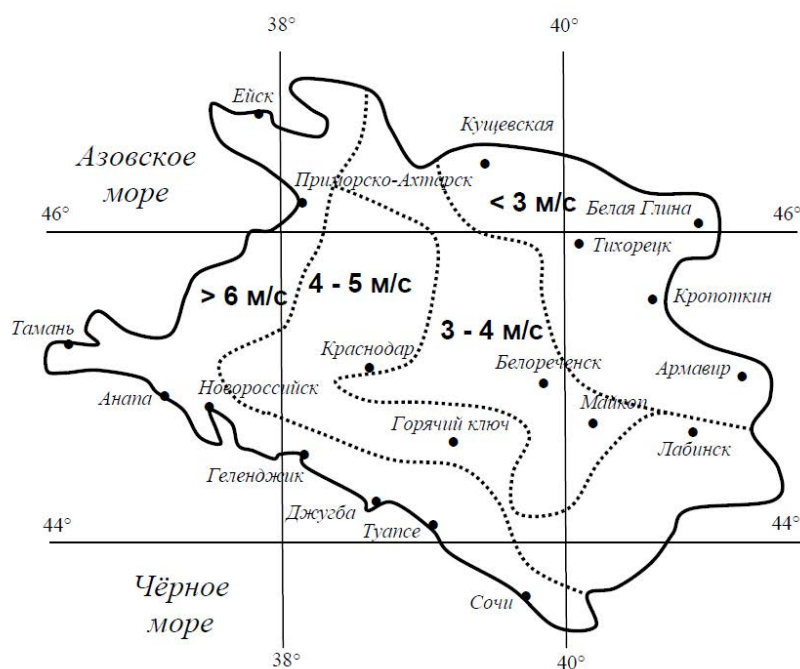


Рисунок 1. Территориальное распределение скорости ветра по Краснодарскому краю

На ветровой режим влияет взаимодействие рельефа региона с общей циркуляцией атмосферы. В течение всего года над Краснодарским краем преобладает широтная циркуляция, особенно четко выраженная в холодное полугодие. Зимой, вследствие остывания материка и образования над центральными частями Евразии антициклона, а над Черным морем — области низкого давления, преобладают

ветры восточных румбов. Летом циркуляция воздушных масс ослаблена, и в этот период активизируются ветры западных румбов [2].

Среднегодовая скорость ветра в границах региона варьируется в широких пределах — от 1,3 до 9,3 м/с в зависимости от высоты. В среднем 16–29 дней в году сила ветра в регионе составляет более 14 м/с. Наиболее продолжительными по времени присутствия районами с такой силой ветра являются побережья Азовского и Черного (его северная часть) морей. Там такие показатели силы ветра держатся до 40–59 дней в году [2].

Анализируя показатели удельной мощности ветроэнергетических ресурсов по территории Краснодарского края, видно, что минимальный показатель в  $85 \text{ Вт/м}^2$  наблюдается в восточной части региона, максимальные же показатели до  $136 \text{ Вт/м}^2$  фиксируются в районе побережья Черного моря. Таким образом, максимальное и минимальное значения удельной мощности ветроэнергетических ресурсов региона различаются в чуть более чем 1,5 раза (рисунок 2) [5].

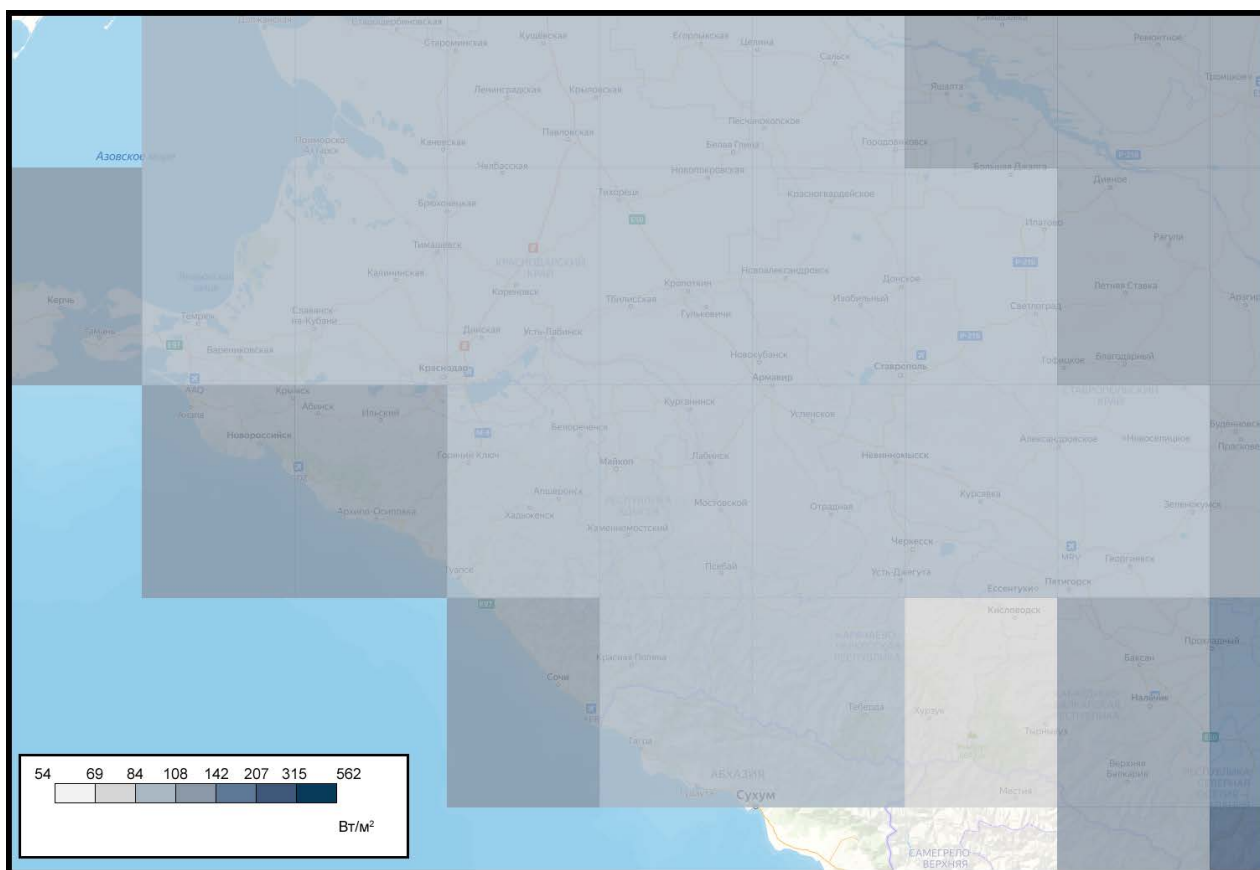


Рисунок 2. Плотность энергии ветрового потока Краснодарского края

Показатели средней годовой скорости ветра на основных метеостанциях края, зафиксированные на высоте 10–30 м, изменяются в пределах от 1,2 до 4,3 м/с (та-

блица 2) [4]. В Краснодарском крае есть и отличившиеся районы. Так, по максимально зафиксированной среднегодовой скорости ветра Маркотхскому перевалу принадлежит рекордный показатель. Там средняя годовая скорость ветра фиксируется на отметке 8,8 м/с [2]. Стоит добавить, что средние годовые скорости ветра Краснодарского края мало изменяются от года к году, а следовательно, Маркотхскому перевалу смело можно давать звание «абсолютного чемпиона» по значению среднегодовой скорости ветра в регионе.

Таблица 2. Среднегодовая скорость и плотность мощности ветра

Расположение метеостанции	Средняя скорость ветра, м/с	Мощность, Вт/м <sup>2</sup>
Краснодар	1,9	94
Адлер	2,5	115
Анапа	4,3	136
Геленджик	2,4	113
Горячий ключ	1,2	93
Лабинск	2,4	85
Ейск	2,8	98
Новороссийск	4,1	136
Приморско-Ахтарск	2,5	98
Темрюк	4,1	100
Кущёвская	1,8	94
Красная поляна (Сочи)	1,2	98
Белореченск	1,9	94

Согласно данным Министерства топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Краснодарского края, величина потребления электроэнергии в регионе от года к году стабильно увеличивается. Прогнозируется, что к 2025 году потребление электроэнергии на Кубани достигнет значения 30,67 млрд кВт\*ч (рисунок 3) [7], что практически в четыре раза меньше технического потенциала ветроэнергетики края с показателем в 116,1 млрд кВт\*ч [6]. Данный факт позволяет утверждать, что ветровые ресурсы Краснодарского края могут рассматриваться как основные ресурсы, которые могут быть использованы для энергообеспечения региона. Здесь стоит отметить, что под техническим потенциалом ветроэнергетики края понимается преобразование теоретического потенциала ветров в полезную энергию при соблюдении требований по охране природной среды. По мнению специалистов данной отрасли энергетики,



запуск ветроэлектрических станций (ВЭС) в крае поможет значительно уменьшить присутствующий в регионе дефицит энергии.



Рисунок 3. Фактическое потребление электроэнергии и прогноз потребления электроэнергии по Краснодарскому краю на 2022-2025 годы

По оценкам специалистов на территории Краснодарского края существуют районы вдоль побережья, которые являются наиболее перспективными участками с точки зрения возведения комплекса мощных ВЭС. К таким районам относятся: Бугазская коса, Таманский п-ов, коса Чушка, города: Анапа, Геленджик, Темрюк, Новороссийск, а также районы Приморско-Ахтарска и Ейска. Кроме того, вышесказанное можно подкрепить тем, что ранее в окрестностях этих территорий специалисты рассматривали возможность постройки масштабных ВЭС, а также просчитывали их допустимые мощности (таблица 3) [3].

Таблица 3. Оценка ветроэнергетических ресурсов Краснодарского края

Место предполагаемого расположения ВЭС	Допустимая мощность ВЭС, МВт
Бугазская коса	100 – 150
Таманский п-ов	100 – 150
Коса Чушка	50 – 100
Окрестности г. Темрюк	100 – 150
Окрестности г. Анапа	100 – 150
Побережья на участке г. Новороссийск – г. Геленджик	150 – 300
Окрестности г. Приморско-Ахтарск	100 – 150
Окрестности г. Ейск	100 – 150
<b>ИТОГО:</b>	<b>800 – 1150</b>

Из данных таблицы видно, что суммарная номинальная мощность после строительства всех предполагаемых к возведению ВЭС может достичь 1150 МВт. Этот показатель достигается при размещении порядка 380 ветроустановок мощностью 3 МВт, при условии размещения их в один ряд вдоль Черноморской береговой линии, которая имеет протяженность около 290 км [1].

В местах предполагаемого возведения ВЭС и окрестностях присутствует довольно обширная электрическая сеть с ЛЭП класса напряжения 110-220, а также дорожно-транспортная структура, с помощью которой легко обеспечивается достаточно быстрая доставка необходимого для строительства ВЭС оборудования, с минимальными финансовыми затратами [6].

Доля использования ВИЭ в Краснодарском крае невелика. В общем энергобалансе региона она не превышает 2%. Использование потенциала ветровой энергии может заместить краю до 1,2 тыс. МВт электрической энергии, вырабатываемой традиционными методами.

Силами инвестиционных компаний в регионе проводится оценка целесообразности с финансовой точки зрения проектирования и монтажа комплекса ветроустановок. Незадолго до начала мирового кризиса несколько компаний заявили о намерении построить ветроэнергетические станции в наиболее перспективных и предрасположенных для этого городах региона: Анапе, Геленджике, Темрюке, Новороссийске, Туапсе, Сочи и др. Общая мощность будущего ветропарка могла бы составить порядка 1000 МВт и обошлась бы компаниям в 1,6 млрд евро.

Для исследования целесообразности строительства ВЭС в конце 2007 года в Ейском районе был установлен, сертифицирован и запущен в эксплуатацию ветроизмерительный комплекс. В течение 2008 года комплекс в автоматизированном режиме собирал и обрабатывал ветроинформацию. Результаты обработки данных подтвердили экономическую целесообразность строительства ветроэлектростанции в данном регионе. По предварительным подсчетам, 12 ветротурбин в поселках Октябрьском, Широчанка и Мирном способны на 100% удовлетворить потребности района в электричестве. По подсчетам специалистов, срок окупаемости составляет порядка 7-8 лет, после этого она будет давать чистую прибыль около 20 лет.

Таким образом, принимая во внимание все вышесказанное, можно утверждать, что в Краснодарском крае присутствует дефицит энергообеспечения. Но вместе с тем регион обладает высокими ветроэнергетическими ресурсами. Многие специалисты, тесно связанные с данной отраслью энергетики, утверждают, что запуск ветроэлектрических станций в указанном регионе поможет значительно увеличить долю выработки электрической энергии, предназначенной для собственного потребления, вместе с тем увеличится и доля использования ВИЭ в регионе. Смело можно утверждать, что Краснодарский край является одной из лучших

площадок для старта и развития ветроэнергетики. Малые ВЭС могут заменить дизельные станции, что уменьшит вред экологии и позволит активно развивать и осваивать туристические территории, такие как горнолыжные курорты и турбазы, куда проведение электроснабжения является достаточно финансово затратным мероприятием.

### Список использованной литературы

1. Бекирова К. Н., Зелинская М. В. Анализ стратегических возможностей преодоления энергодефицита и повышения уровня энергетической самообеспеченности Краснодарского края // Вестник Адыгейского государственного университета. — Серия 5 : Экономика. — 2016. — №1(175). — С. 24-33.
2. Белюченко И. С. Экология Краснодарского края (Региональная экология) // Учебное пособие. — Краснодар : ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ», 2010. — 356 с.
3. Бурение грунтовых зондов, установка энергетических колодцев. Технологии бурения скважин [Электронный ресурс] : Предпроектное исследование ресурсов и перспектив использования виз для повышения эффективности энерго-снабжения Краснодарского края. — URL: <http://teplozond.ru/> (дата обращения 26.03.2022).
4. Ветрогенераторы (ветряные электростанции) [Электронный ресурс] : Ветра в Краснодарском крае. — URL: <http://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/yug/krasnodarskij-kraj> (дата обращения 26.03.2022).
5. ГИС Возобновляемые Источники Энергии [Электронный ресурс] : Ветровые ресурсы. — URL: <https://gisre.ru/maps/wind-data> (дата обращения: 22.03.2022).
6. Григораш О. В., Хамула А. А., Квитко А. В. Ресурсы возобновляемых источников энергии Краснодарского края // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — №92. — С. 630-641.
7. Министерство топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Краснодарского края [Электронный ресурс] : Электроэнергетика. — URL: <https://newgkh.krasnodar.ru/activity/elektroenergetika> (дата обращения: 19.03.2022).
8. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] : Потребление электроэнергии по субъектам Российской Федерации. — URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 22.03.2022).

УДК 621.316.925

***Смыков Ю. Н., старший преподаватель***

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ  
СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ  
СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ОТ БЕРЕГОВОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** Статья посвящена поиску путей обеспечения электромагнитной совместимости при электроснабжении судовой электроэнергетической системы от источника ограниченной мощности — автономной системы электроснабжения. Анализируются результаты исследования кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи по провалу напряжения. Обоснован эффективный режим этой электрической сети с учетом применения опережающего регулирования по напряжению в условиях детерминированной вероятности возникновения электромагнитной помехи.

**Ключевые слова:** *кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха; электромагнитная совместимость; системы электроснабжения; помехоподавляющие технические средства.*

***Smykov Yu. N., Senior Lecturer***

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

ENSURING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY  
IN THE POWER SUPPLY OF THE SHIP'S ELECTRIC  
POWER SYSTEM FROM THE COASTAL AUTONOMOUS  
POWER SUPPLY SYSTEM

*Novosibirsk*

**Abstract.** The article is devoted to the search for ways to ensure electromagnetic compatibility in the power supply of a ship's electric power system from a source of limited power — an autonomous power supply system. The results of the study of conductive low-frequency electromagnetic interference by voltage drop are analyzed. The effective mode of

this electrical network is justified, taking into account the use of preventive voltage regulation in conditions of a deterministic probability of electromagnetic interference.

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

## 1. Актуальность

При рассмотрении центра электрических нагрузок энергосистемы нашей страны мы увидим закономерное смещение в сторону Европейской части. Подключение новых потребителей часто связано с различными техническими и организационными сложностями, важную роль в этом играют значительные расстояния для передачи электрической мощности. Сложившаяся ситуация подразумевает применение ограниченных автономных систем электроснабжения, особенно при развитии территории Арктики и районов Крайнего Севера. Источником электрической энергии в этих условиях все чаще становится газопоршневая электростанция (ГПЭС).

Активно развивается инфраструктура Северного морского пути, и новые технические решения являются востребованными. При этом ретроспективный анализ свидетельствует о том, что электроснабжение судна с берега обладает высокой экологической и экономической значимостью, является общепринятым в международном сообществе.

Исходя из вышесказанного, необходимо рассмотреть аспекты применения ограниченных автономных систем электроснабжения в условиях подключения к ним судовой электроэнергетической системы в стояночном режиме.

Одним из значимых факторов следует выделить то, что мощность судовых потребителей, ввиду повышения энерговооруженности судов, постоянно возрастает и является, как правило, соизмеримой по мощности относительно автономной береговой системы электроснабжения. Асинхронные электродвигатели являются наиболее распространенным потребителем как на промышленных предприятиях, так и в САЭС (судовой автоматизированной электроэнергетической системе). Данное обстоятельство является базовым как при рассмотрении регулирующих эффектов по частоте и напряжению, так и в вопросах эксплуатации судна во время стоянки в акватории порта, а особенно при получении электроснабжения от береговой автономной системы электроснабжения. Нормы показателей качества электроэнергии в электрических сетях согласно требованиям ГОСТ 32144-2013:

1. Провал напряжения  $\delta U_{\Pi}$  — ниже 90%.
2. Длительность провала напряжения  $\Delta t_{\Pi}$  — до 1 мин.

Данное требование распространяется вне зависимости от системы электроснабжения (изолированная система электроснабжения или нет).

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

## 2. Задача. Цель

При питании от источника соизмеримой мощности возникновение кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи может привести к дальнейшему снижению напряжения на двигателе  $U$ . Прогрессирующее снижение напряжения получило название лавины напряжения.

При номинальном напряжении значение максимальной мощности превышает номинальную мощность практически вдвое. С уменьшением напряжения в питающей сети значение опрокидывающего момента (максимальной мощности) резко снижается (см. рисунок 1 и рисунок 2).

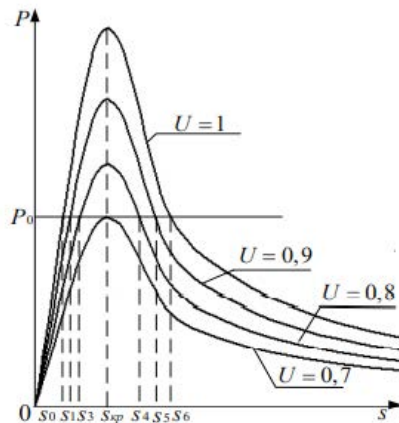


Рисунок 1. Влияние снижения напряжения сети на полезную мощность асинхронного электродвигателя

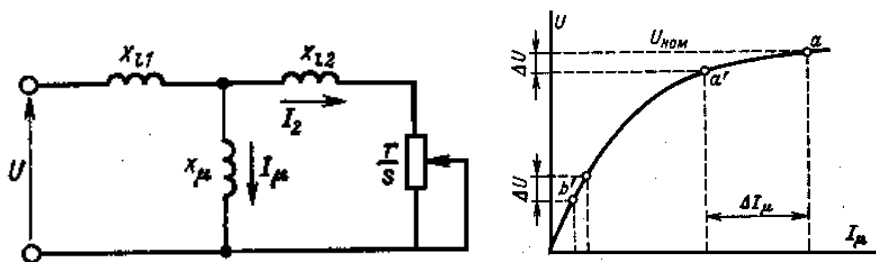


Рисунок 2. Схема замещения АД и зависимость тока намагничивания от напряжения питания АД

Максимальный момент прямо пропорционален квадрату напряжения [2]:

$$M_{max} = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_c \cdot C_1 \cdot (x_1 + C_1 \cdot x'_2)},$$

где  $p$  — число пар полюсов;

$m_1$  — количество фаз питающего напряжения;

$\omega_c$  — угловая скорость поля;

$x_1$  — индуктивное сопротивление обмотки статора;

$x'_2$  — приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора.

$$C_1 = \frac{r_1 \cdot r_{12} + x_1 \cdot x_{12}}{r_{12}^2 + x_{12}^2}$$

В двигателях общего назначения  $C_1 \approx 1,02 \div 1,06$ .

При уменьшении напряжения потребляемая реактивная мощность нагрузки снижается. Однако при больших снижениях напряжения реактивная мощность увеличивается из-за останковки не отключившихся от сети асинхронных двигателей. При отключении двигателя с заторможенным ротором возникают значительные перенапряжения до 5Uф, так как при работе двигателя в его индуктивности рассеяния запасается магнитная энергия [3]:

$$W_M = \frac{L_s}{2} \cdot i_{cp}^2,$$

где  $L_s$  — индуктивность рассеяния двигателя;

$i_{cp}$  — ток среза.

Электромагнитная помеха ЭМП по провалу напряжения не только оказывает негативное воздействие, описанное ранее, но и может служить источником возникновения противоположной по воздействию на потребитель ЭМП по перенапряжению. Данное обстоятельство обостряет тот факт, что экипаж судна принципиально находится в условиях заведомо низкого уровня электробезопасности по сравнению с береговыми установками. Качка, повышенная влажность, металлические переборки со всех сторон и так далее — все это требует дополнительной неуклонной проработки и повышения уровня электробезопасности. Поэтому возникновение подобного развития событий крайне негативно, а кроме этого, ремонт и замена судового электрооборудования обладает рядом индивидуальных особенностей, например: сложностью логистики, специальным исполнением узлов и механизмов, ограниченным пространством для про-

ведения ремонта, большим количеством сопутствующих работ и выполнением регламентирующих процедур. В сложившихся условиях в первую очередь проведен ретроспективный анализ применения технических устройств и технических мероприятий в условиях берегового электроснабжения. Выявлена высокая востребованность к проработке решений, так как переход на электропривод имеет повсеместный характер, например, суда электроходы грузоподъемностью 2000 т, которые подразумевают зарядку своих ходовых аккумуляторных батарей от береговых сетей.

### 3. Решение

С технической стороны вопрос снижения или подавления ЭМП по провалу напряжения имеет ряд решений, которые, в отличие от предложенного автором способа, требуют значительных финансовых вложений. Кроме этого, необходимо резервировать для их установки дополнительное место и учитывать при рассмотрении надежности.

Для подавления ЭМП по провалу напряжения находят применение следующие устройства и технические мероприятия:

1. Маховик.
2. Статический компенсатор.
3. Активный фильтр.
4. Комплекс устройств быстродействующего АВР.
5. Активный регулятор напряжения.
6. Современные микропроцессорные устройства релейной защиты.
7. Статические источники бесперебойного питания.
8. Синхронный электродвигатель, работающий в параллель.

Наряду с этими устройствами, для применения в автономных системах электроснабжения при подключении к ним судовой электроэнергетической системы представляет интерес применение опережающего регулирования по напряжению в условиях детерминированной вероятности возмущающего воздействия.

На рисунке 3 представлена результирующая кривая, при рассмотрении которой определяется начало ЭМП по провалу напряжения и время длительности данной помехи, при этом под цифрой один обозначена внешняя характеристика синхронного генератора, а под цифрой два — регулирование напряжения этого же генератора регулятором напряжения.

Таким образом, для береговой системы подключение соизмеримой по мощности судовой автоматизированной системы судна или группы судов является источником ЭМП по провалу напряжения, при этом появляется возможность определить такие параметры, как  $\Delta U_{\text{нач}}$  и  $\Delta U_{\text{мах}}$  при  $t_{\text{мин}}$ , указанные на рисунке 3.



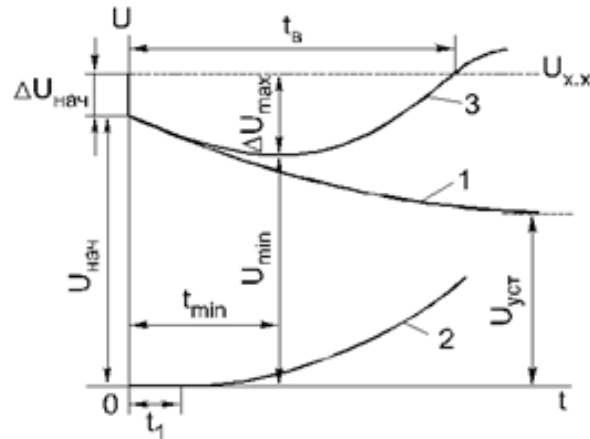


Рисунок 3. Влияние наброса нагрузки

Величина напряжения в первый момент после пуска электродвигателя  $U_{нач}$  и установившееся значение напряжения на зажимах генератора без регулятора  $U_{уст}$  определяются как [1]

$$U_{нач} = E'_d \cdot \frac{x_{\partial\partial}'}{x_{\partial\partial}' + x'_d},$$

$$U_{уст} = E_d \cdot \frac{x_{\partial\partial}}{x_{\partial\partial} + x_d},$$

где  $E'_d$ ,  $E_d$  — соответственно э.д.с. переходного и установившегося режимов ( $E'_d = E_d = 1$  о.е.);

$x'_d$ ,  $x_d$  — индуктивные сопротивления обмотки статора генератора, соответствующие переходному и установившемуся режимам;

$x_{дв}$  — индуктивное сопротивление двигателя.

Уравнение для определения минимального значения напряжения генератора при пуске асинхронного двигателя с учетом заблаговременного повышения тока возбуждения в условиях детерминированной вероятности возмущающего воздействия (наброса нагрузки) имеет следующий вид:

$$U_{мин} = U_{уст} + (U_{нач} - U_{уст}) \cdot e^{-t_{минопи} / T'_d} + K_2 \cdot K \left[ t_{минопи} - T'_d (1 - e^{-t_{минопи} / T'_d}) \right],$$

$$T'_d = T_{d0} \frac{x_{\partial\partial}' + x'_d}{x_{\partial\partial} + x_d},$$

где  $T'_d$  — постоянная времени обмотки возбуждения генератора при замкнутой обмотке статора на сопротивление  $x_{дв}$ ;

$T_{d0}$  — постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке статора генератора;

$K$  — коэффициент, характеризующий скорость нарастания напряжения возбуждения (для генераторов с самовозбуждением  $K = 15\text{--}20$ );

$t_{\min}$  — время, при котором напряжение генератора имеет минимальное значение.

Регулирование напряжения и частоты по принципу «Ожидаемого возмущения» определяется следующими особенностями:

1. Вероятность появления возмущающего воздействия в локальной энергосистеме; при электроснабжении судна с берега или в ином случае, когда возможно и предусмотрено получение сигнала о процессе подготовки подключения мощного потребителя, определяется

$$P_{\text{дет}}[x] = \begin{cases} 1 - e^{-x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

где  $x$  — коэффициент детерминации.

$$t_{\min \text{ опп}} = T'_d \cdot \ln \left( \frac{U_{\text{нач}} - U_{\text{уст}}}{K_2 \cdot K \cdot T'_d} + 1 \right) - \frac{20 \cdot P_{\text{дет}}}{K}$$

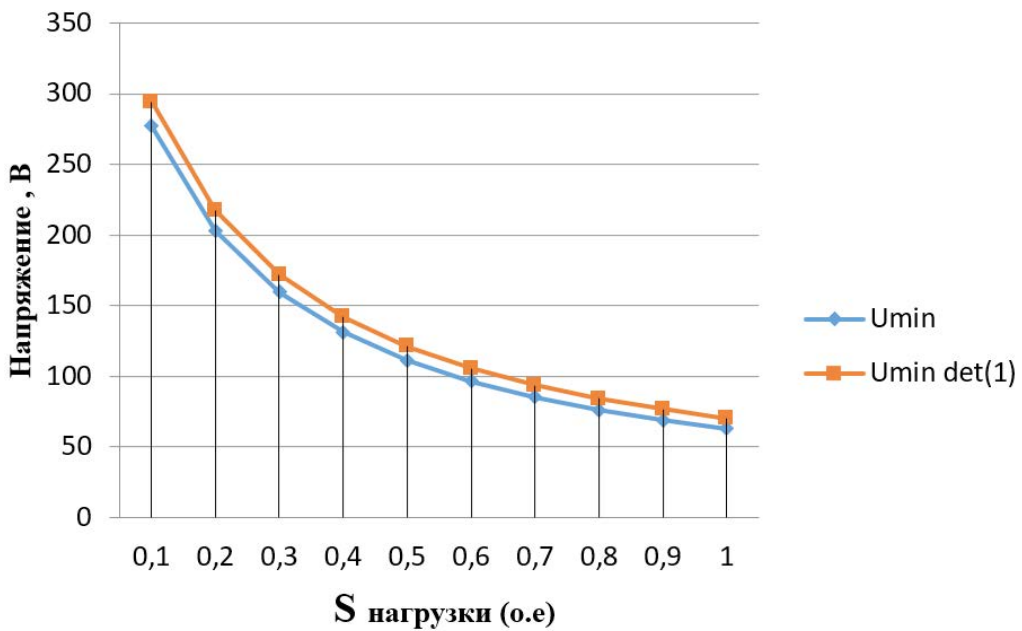


Рисунок 4. Влияние на ЭМП по провалу напряжения за счет опережающего регулирования по напряжению в условиях детерминированной вероятности возмущающего воздействия

Вывод: Обеспечение качества электрической энергии при эксплуатации электрооборудования и средств автоматики является сложной многофакторной задачей. Одним из путей реализации является применение опережающего регу-

лирования по напряжению в условиях детерминированного возмущающего воздействия. Основной особенностью данного метода является заблаговременное регулирование по напряжению, т. е. до возникновения кондуктивной низкочастотной помехи по провалу напряжения с учетом детерминированной вероятности (1) возникновения данной помехи, которая определяется исходя из технологического процесса или путем обработки больших данных.

Положительными особенностями данного метода являются минимальные финансовые затраты, обусловленные созданием дополнительного информационного канала передачи данных о наличии детерминированной вероятности возмущающего воздействия. Таким образом появляется еще одна возможность полного или частичного подавления ЭМП по провалу напряжения в автономных системах электроснабжения при подключении судовой электроэнергетической системы судна, работающей в стояночном режиме, что в условиях повышения энергооборуженности судов является значимым вкладом в развитие и повышения качества функционирования электропередачи «берег — судно».

### **Список использованной литературы**

1. Зырянов В. М. Основы расчета и проектирования судовых электроэнергетических систем : Учебное пособие / В. М. Зырянов, О. П. Кузьменков, А. Б. Мосиенко. — Новосибирск : Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. — 97 с.
2. Копылов И. П. Электрические машины : Учебник для вузов. — Москва : Энергоатомиздат, 1986. — 360 с.
3. Электромагнитная совместимость потребителей [Текст] : монография / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. — Москва: Машиностроение, 2012. — 351 с.

### **References**

1. Zyryanov V. M. Fundamentals of calculation and design of ship electric power systems: Textbook / V. M. Zyryanov, O. P. Kuzmenkov, A. B. Mosienko. — Novosibirsk : Novosibirsk State Academy of Waters. transp., 2005. — 97 p.
2. Kopylov I. P. Electric machines : Textbook for universities. — Moscow : Energoatomizdat, 1986. — 360 p.
3. Electromagnetic compatibility of consumers [Text] : monograph / I. V. Zhezhelenko, A. K. Shidlovsky, G. G. Pivnyak, etc. — Moscow : Mashinostroenie, 2012. — 351 p.

УДК 621.31

*Садовская Л. В., Федяев В. С., Шнайдер Н. А.*

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

## ОПЕРАТИВНАЯ БЛОКИРОВКА РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ НА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** В статье представлены варианты создания оперативной блокировки разъединителей на цифровых подстанциях электрических сетей. Предложены схемы организации передачи и хранения оперативной информации управления на цифровых подстанциях, описаны основные функции цифровых систем управления, проанализированы достоинства введения устройств блокировки с программно-логическим управлением.

**Ключевые слова:** *оперативная блокировка разъединителей, интеллектуальные электронные устройства, логическая схема управления.*

*Sadovskaya L. V., Fedyaev V. S., Shnaider N. A.*

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

## OPERATIONAL BLOCKING OF DISCONNECTORS AT DIGITAL SUBSTATIONS

*Novosibirsk*

**Abstract.** The article presents options for creating an operational interlock of disconnectors at digital substations of electrical networks. Schemes for organizing the transmission and storage of operational control information at digital substations are proposed, the main functions of digital control systems are described, and the advantages of introducing blocking devices with program-logical control are analyzed.

**Keywords:** *operational blocking of disconnectors, intelligent electronic device, logical control scheme.*

Развитие электроэнергетики предусматривает создание современных цифровых подстанций (ПС) ПАО «Россети». Концепция таких ПС предусматривает три архитектуры построения систем вторичных коммутаций и их взаимных связей [1]:

I типа:

- обмен данными между интеллектуальными электронными устройствами (ИЭУ) посредством аналоговых и дискретных сигналов и их передачи по контрольному кабелю;
- обмен данными верхнего уровня подстанции выполняется с помощью цифровых сигналов по протоколу MMS (протокол МЭК 61850-8.1).

II типа:

- обмен дискретными сигналами между ИЭУ реализуется с использованием объектно-ориентированных сообщений по протоколу GOOSE [1];
- получение аналоговых данных от измерительных приборов по контрольному кабелю;
- обмен данными верхнего уровня ПС в цифровом виде по протоколу MMS.

III типа:

- обмен дискретными сигналами между ИЭУ выполняется с использованием объектно-ориентированных сообщений по протоколу GOOSE;
- от измерительных элементов аналоговые сигналы передаются в цифровом виде по протоколу SV [2];
- обмен информацией на верхнем уровне ПС выполняется цифровыми сигналами по протоколу MMS.

Оборудование всех разъединителей и заземляющих ножей специальными устройствами блокировки (ОБР) позволяет предупредить ошибочные действия на ПС оперативного персонала при переключениях на коммутационных аппаратах распределительных устройств (РУ) напряжения 10–500 кВ. Такая блокировка является дополнительным элементом, который не позволяет проводить неправильные операции. Организация ОБР выполняется по распоряжению ОАО «ФСК ЕЭС» № 236р от 05.05.2010 г. «Об утверждении Порядка организации оперативной блокировки на подстанциях нового поколения» [2; 3].

К устройствам блокировки предъявляются следующие требования:

- блокировка должна быть полной и предусматривать блокирование всех ошибочных операций, которые могут быть произведены разъединителями;
- устройства оперативной блокировки разъединителей и блокировки заземляющих ножей должны осуществляться по общей схеме;
- блокировка должна быть надежна в эксплуатации.

Наиболее широкое применение на ПС получили следующие блокировки: механическая непосредственного действия, электромагнитная и механическая замковая (электромехантическая). Создание современных цифровых подстанций потребовало реализации алгоритмов оперативной блокировки на новых технических средствах — ИЭУ.

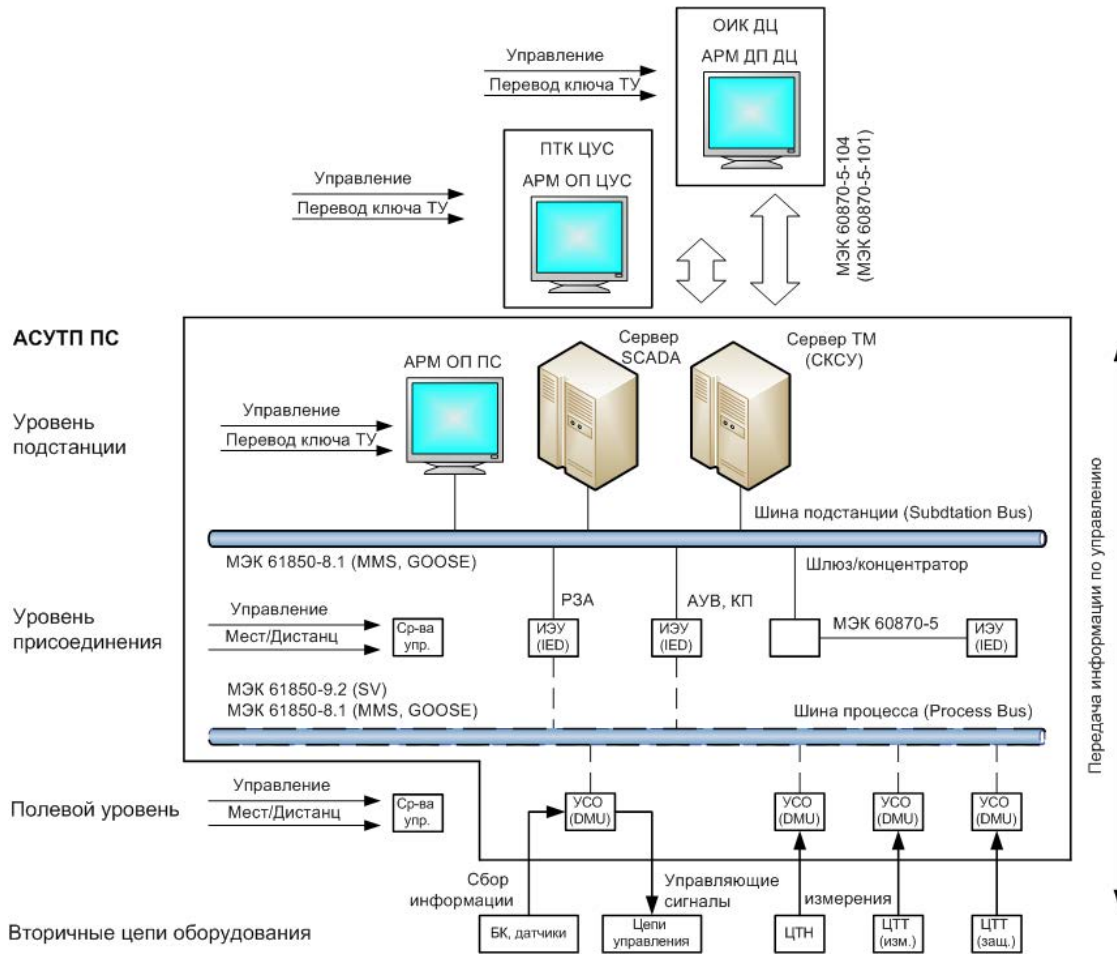


Рисунок 1. Структурная схема информационных связей ПТК на цифровой ПС II типа нового поколения (протоколы МЭК 61850-8.1, МЭК 61850-9.2)

Блок логики является основным элементом программно-логической блокировки. Она состоит из программы, разрабатываемой под схему РУ высокого напряжения конкретной ПС, и далее загружается в ИЭУ. ОБР можно выполнить как в виде отдельной системы, так и с использованием контроллеров, входящих в составе АСУТП ПС. При реализации АСУТП ПС программно-логическая ОБР как отдельная система не создается, она выполняется как элемент АСУТП ПС (рисунок 1) [2; 4].

Функции, которые реализуются в устройстве программно-логической блокировки:

- контроль и сигнализация положения коммутационного аппарата (КА);
- разрешение переключений КА;
- контроль исправности цепей блок-контактов КА;
- хранение внутренних настроек на всем протяжении срока службы контроллера, конфигурирование непосредственно с панели управления микропроцессорного терминала (МП) или дистанционно по каналу связи из АСУТП ПС;

- сигнализация неисправностей (светодиоды на терминале, релейные выходы, каналы АСУТП);
- для исключения ложных срабатываний блокировать выходные каналы при неисправности устройства;
- для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) выполняется гальваническая развязка входов, выходов, цепей питания;
- хранение журналов переключений по каждому КА с меткой времени;
- хранение журнала событий с меткой времени;
- контроль работоспособности терминала непрерывно в течение всего времени работы.

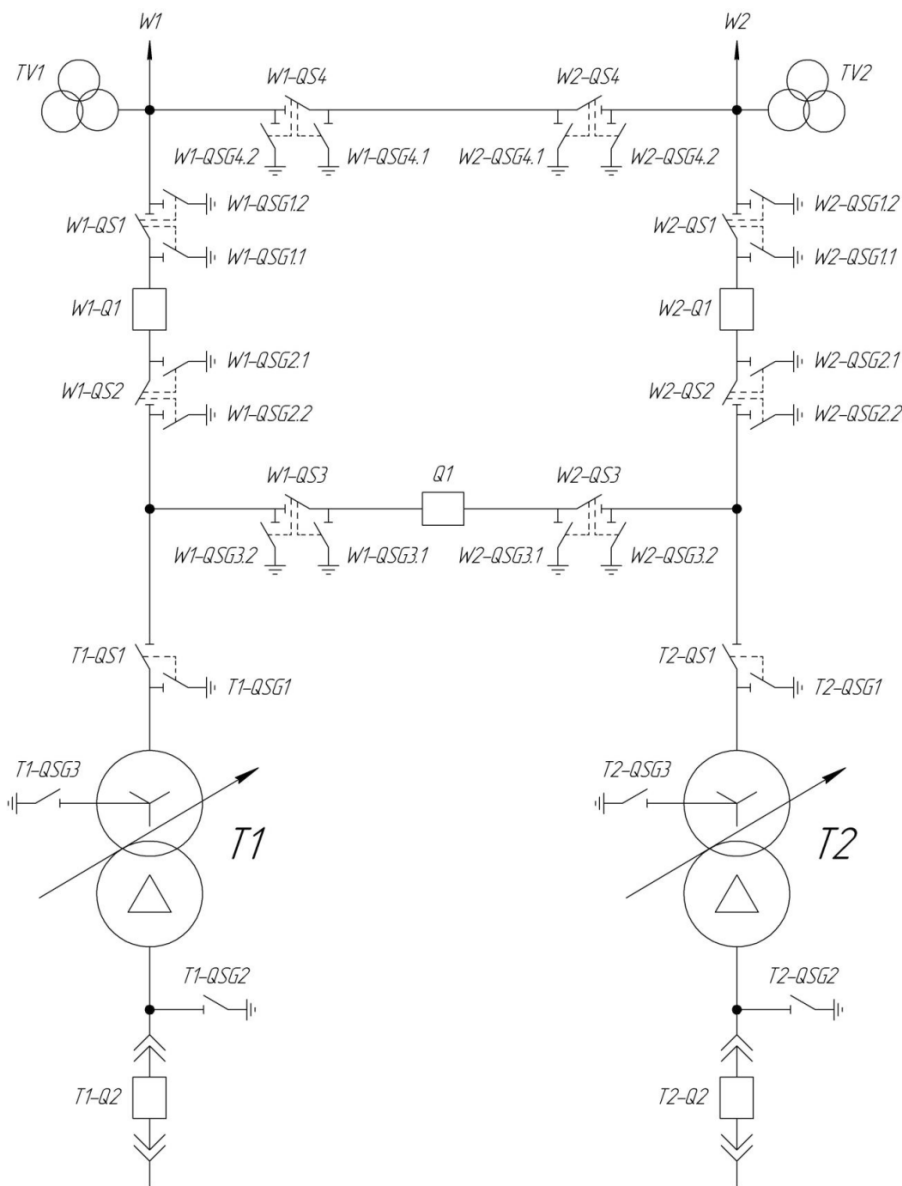


Рисунок 2. Однолинейная схема первичных соединений «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»

С учетом конфигурации конкретной ПС (рисунок 2) в блоке записи ИЭУ программно-технического комплекса (ПТК) задается программа в виде логической последовательности, такой код разрабатывается индивидуально под конкретную подстанцию. Пример такого кода приведен на рисунках 3, 4.

Блок логики управления и ОБР для БЛОКА ЛИНИЯ-(АВТО) ТРАНСФОРМАТОР (W1-QSG1, W1-QSG2.1, W1-QSG2, W1-QSG2.2, T1-QS1, T1-QSG1)

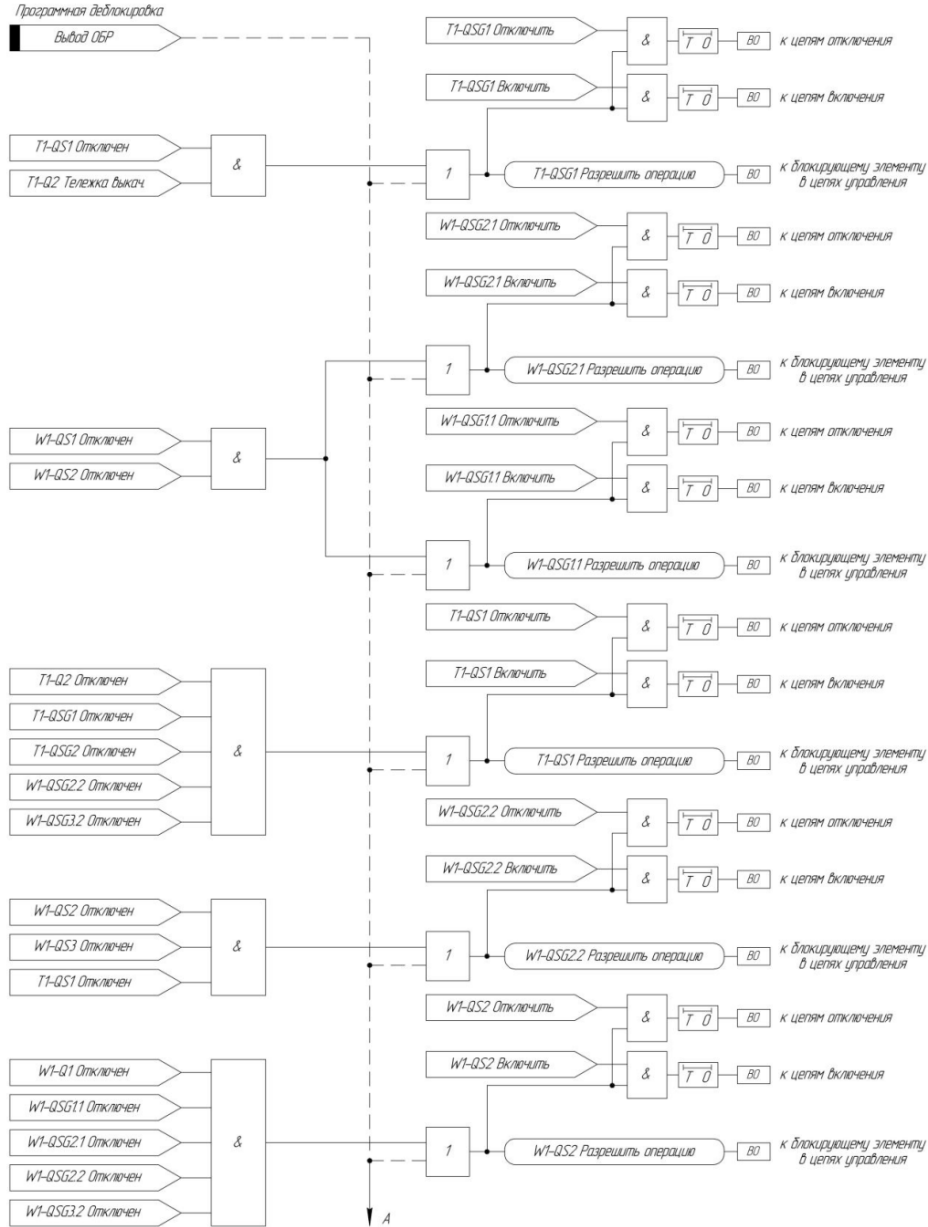


Рисунок 3. Алгоритм логики управления ОБР для «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» (начало)

К достоинствам программно-логической ОБР можно отнести [2]:

- уменьшение электромагнитных помех из-за уменьшения длины контрольных связей и, как следствие, увеличение надежности;



- уменьшение объема кабельных связей и, как следствие, уменьшение расходов на монтаж и обслуживание кабельного хозяйства и снижение затрат на кабельную продукцию;
- быстрое устранение неисправностей при наличии непрерывной самодиагностики участков кабелей и КСА (переключатели кулачковые секционные аварийного типа);
- простое наращивание или реконфигурирование системы.

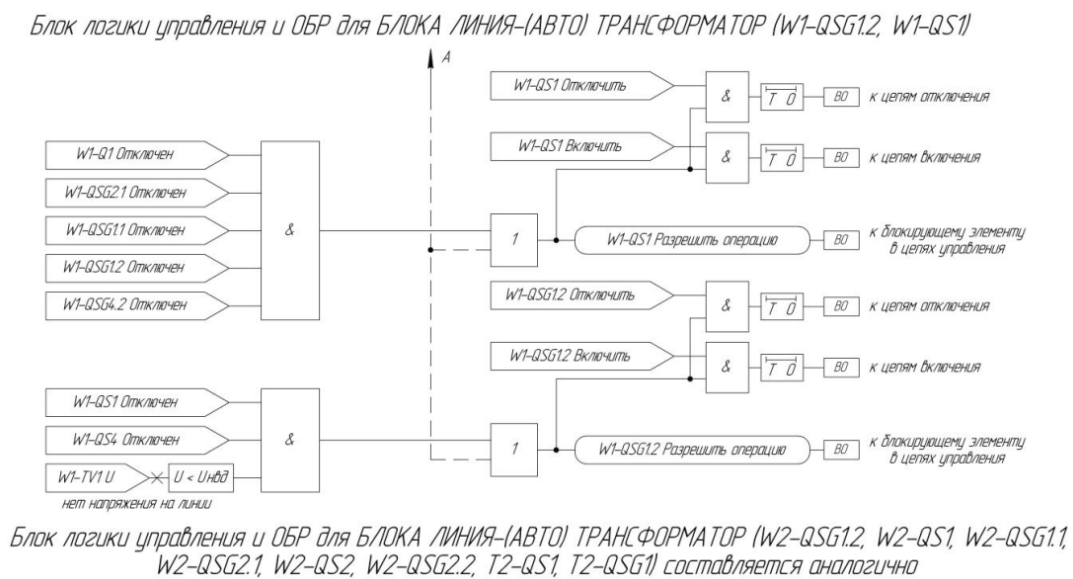


Рисунок 4. Алгоритм логики управления ОБР для «Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий» (продолжение)

### Список использованной литературы

1. СТО 56947007-33.040.20.294-2019. Типовые технические решения по реализации функций оперативной блокировки разъединителей и заземлителей для основных типов присоединений и элементов сети. Стандарт организации : ПАО «ФСК ЕЭС», 2019 — 23 с.
2. СТО 34.01-4.1-014-2020. Организация и эксплуатация оперативных блокировок в распределительных устройствах 6-220 кВ. Стандарт организации : ПАО «Россети», 2020 — 93 с.
3. РД 34.35.512. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения.
4. СТО 56947007-29.240.10.256-2018. Технические требования к аппаратно-программным средствам и электротехническому оборудованию ЦПС. Стандарт организации : ПАО «ФСК ЕЭС», 2018 — 130 с.

УДК 621.396.97.654.165

*Зобян А. А.*

Политехнический институт Сургутского государственного университета, г. Сургут

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЗИА

*г. Сургут*

**Аннотация.** В этой статье описано развитие релейной защиты и автоматики. Описаны проблемы и перспективы в современном устройстве РЗИА. Рассмотрена эффективность старых и новых поколений защит.

**Ключевые слова:** *энергетика; автоматика и защиты; электромеханические, микропроцессорные реле.*

*Zobyun A. A.*

Polytechnic Institute of Surgut State University, Surgut

## PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF RPAА

*Surgut*

**Abstract.** This article describes the development of relay protection and automation. The problems and prospects in the modern structure of the RSIA are described. The effectiveness of old and new generations of defenders is considered.

**Keywords:** *power engineering; automation and protection; electromechanical, microprocessor relays.*

В энергетическом секторе относительно недавно было внедрено большое количество новых, основанных на микропроцессорах, компьютерных устройств защиты для оборудования электроснабжения. В разговорном языке говорят «микропроцессорное устройство релейной защиты», кратко «МУРЗ».

Понятно, что «эволюция» от электротехнического оборудования к микропроцессорному происходит за счет разработки технологий, позволяющих регистрировать аварийные ситуации, а также заранее отключать потребителей в случае ненормального режима работы сети. Один из главных плюсов микропроцессоров — это их компактность.

Сравнивать МУРЗ и электромеханические реле не самая объективная вещь, так как выполняют разного рода задачи.

Электромеханические реле давно закрепились в своей нише, и их конструкция если и изменилась с момента производства, то незначительно. Фактически в результате создания концепции полной автоматизации производства разработка электромеханических устройств прекратилась. В один момент ведущие мировые производители полностью прекратили производство электромеханических реле, не оставив энергетическим компаниям технических возможностей для продления срока службы электромеханического оборудования, перехода на программное обеспечение на базе процессоров или замены «хорошего на новое».

Стоит отметить, что опыт использования МУРЗ меньше, чем с его аналогом, но сравнение с электромеханикой неизбежно в технических областях, где надежность и селективность — это основное сравнение. Электромеханические реле не подвергались отрицательному влиянию «эволюции» за последние 40 лет. МУРЗ не имеет подвижных частей, в связи с чем производители рекламировали это свойство как преимущество перед электромеханикой. Но впоследствии это «свойство» не только потеряло свою положительную оценку, но и в некоторых случаях являлось отрицательной чертой.

С увеличением дополнительных опций плотность элементов такого шкафа увеличивалась. Поэтому в ситуациях, когда какое-либо устройство выходит из строя, функционал устройств нарушается и монтаж становится визуальным или физически сложно определять место неполадки, а ремонт становится крайне неудобным и сложным.

Исходя из вышесказанного, делаем вывод, что компоненты работают в тяжелых условиях высокого температурного режима, в связи с чем неизбежно ломается подложка, которую требуется заменять. Учитывая нынешнюю ситуацию на рынке, будет понятна высокая стоимость деталей и низкий интерес производителей к ремонту таких продуктов.

Как показывает функциональный анализ реализации электромеханических реле, достаточно отслеживать значения тока и напряжения основного источника питания и, если оно отклоняется, посылать сигнал в схему управления, чтобы остановить функцию основного питания. Аналогичный анализ показал, что МУРЗ считывает и сохраняет дополнительные показатели, например, причину, дату и время отключения, векторные диаграммы и продолжительность условий отказа, в зависимости от набора функций. Высокая точность измерений — веская причина замены старого оборудования на новое, особенно на ответственных станциях или подстанциях. В старых реле, ещё советского производства, измерения происходят с некоторой погрешностью из-за того, что они находятся в эксплуатации не один десяток лет и давно отработали свой гарантийный срок.

Переход на новые технологии обходится дорого и не всегда рентабелен, особенно для фидеров с диапазоном напряжений 6–10–35 кВ, которым не требуется высокоточные микропроцессорные защиты.

### **Заключение**

Основными функциями устройств релейной защиты и автоматики (УРЗА) являются: своевременное обнаружение аварийных и ненормальных режимов работы электрической сети, воздействие на привод автоматического выключателя для отключения поврежденных участков сети, замыкание цепи сигнализации для уведомления лица, ответственного за контроль и поддержание рабочего режима электрической сети и при необходимости к таким, как запуск автоматических устройств, например АВР, повторное закрытие и АРВ.

Следовательно, очевидно, что правильная и надежная работа УРЗА приведет к бесперебойному электроснабжению потребителей электроэнергии.

Согласно анализу текущей ситуации УРЗА в российской электросети, в 2018 году большинство из них организовано в электромеханических реле — 76%. Кроме того, среди этих устройств те, чей срок службы значительно превышает эталонное значение, также имеют высокий процент в эксплуатации. Защита с помощью электромеханических реле составляет 62%, а защита с помощью микроэлектронных реле — 38%. Кроме того, старение является причиной значительной доли отказов УРЗА (до 24% в год). Важно отметить, что отказ УРЗА чаще всего происходит из-за ошибок обслуживающего персонала — 32%. Нормативно-техническая поддержка УРЗА несколько отстает от внедрения современных систем защиты и автоматизации и поэтому не оказывает положительного влияния на техническое обслуживание. Темпы внедрения протекторов с надежными и современными микропроцессорами, а не старомодных протекторов, таких как УРЗА, отстают от мировой тенденции.

Эти факты могут привести как к частным аварийным ситуациям в отдельных частях электросети, так и к массовым системным сбоям.

### **Список использованной литературы**

#### *Книги*

1. Абдюкаева А. Ф., Пегов А. В. Применение реклоузеров напряжением 35кВ // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК : матер. междунар. науч.-практич. конф. / Отв. ред. Ю. А. Ушаков. — Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2015. — С. 187–192.

2. Реймер В. В., Косарева Ю. И. Перспективы развития релейной защиты // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК : матер. междунар. науч.-практич. конф. / Отв. ред. Ю. А. Ушаков. — Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2015. — С. 222–224.
3. Козьева И. А., Кузьбожев Э. Н. Экономическая география и регионалистика : Учебное пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Курск : КГТУ, 2004.

*Библиографическая ссылка на издание, имеющее более трех авторов*

4. Ушаков Ю. А., Петров А. С., Бородина И. А. Перспективы применения гибридных систем электроснабжения на базе альтернативных источников энергии // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК : матер. междунар. науч.-практич. конф. / Отв. ред. Ю. А. Ушаков. — Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2017. — С. 105–110.
5. Асманкин Е. М., Рахимжанова И. А., Дементьева И. Н., Ибрашев Р. М. К вопросу целесообразности терморезервирования при использовании низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. / отв. ред. Ю. А. Ушаков. — Оренбург : Издательский центр ОГАУ, 2015. — С. 36–38.

УДК 621.311

*Владимиров Л. В., Момотов А. Е.*

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

## ДИАГНОСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Диагностирование асинхронных электродвигателей позволяет преждевременно определить критерии предельных состояний и повреждений электрооборудования с целью повышения надежности эксплуатации. В данной публикации рассмотрены роль асинхронных электродвигателей при нефтегазодобывающем производстве, конструктивные особенности асинхронных электродвигателей, виды повреждений и их последствия, а также анализ существующих методов диагностирования.

**Ключевые слова:** *асинхронный электродвигатель, диагностирование электродвигателя.*

*Vladimirov L. V., Momotov A. E.*

Surgut State University, Surgut

## DIAGNOSIS OF AN INDUCTION MOTOR WITH A SQUIRREL-CAGE ROTOR

*Surgut*

**Abstract.** Diagnosis of asynchronous electric motors makes it possible to prematurely determine the criteria for limiting conditions and damage to electrical equipment in order to increase the reliability of operation. This publication discusses the role of asynchronous electric motors in oil and gas production, design features of asynchronous electric motors, types of damage and their consequences, as well as an analysis of existing diagnostic methods.

**Keywords:** *asynchronous electric motor, electric motor diagnostics.*

В настоящее время при значительном росте и темпах развития промышленной отрасли растет востребованность и необходимость в применении асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором (АД), которые являются наиболее распространенным видом электрических машин в различных механизмах приводов. Разного рода повреждения, зависящие от критичности состояния, вы-

нуждают большинство предприятий приобретать новые электродвигатели взамен вышедших из строя. Ремонт и обслуживание может обходиться в половину или более стоимости нового электродвигателя, что экономически нецелесообразно.

Зачастую нарушение режимов работы и условий эксплуатации приводит к ухудшению технического состояния АД и возникновению отказов. Использование повреждённого АД приводит к дополнительным потерям электроэнергии, что обусловлено снижением коэффициента полезного действия (КПД) и увеличением потребляемых токов. Эффективным средством повышения надежности работы АД является превентивное диагностирование. Оно заключается в обнаружении, прогнозировании и устранении выходов из строя и иных повреждений путем применения различных методов диагностирования с целью повышения надежности эксплуатируемого оборудования, сокращения числа аварий и, как следствие, проведения внеплановых работ по обслуживанию и ремонту.

АД с короткозамкнутым ротором являются одними из самых распространенных видов электрических машин в промышленном производстве, благодаря существенным преимуществам, к которым относят малые габариты, высокий КПД и коэффициент мощности (в сравнении с АД с фазным ротором).

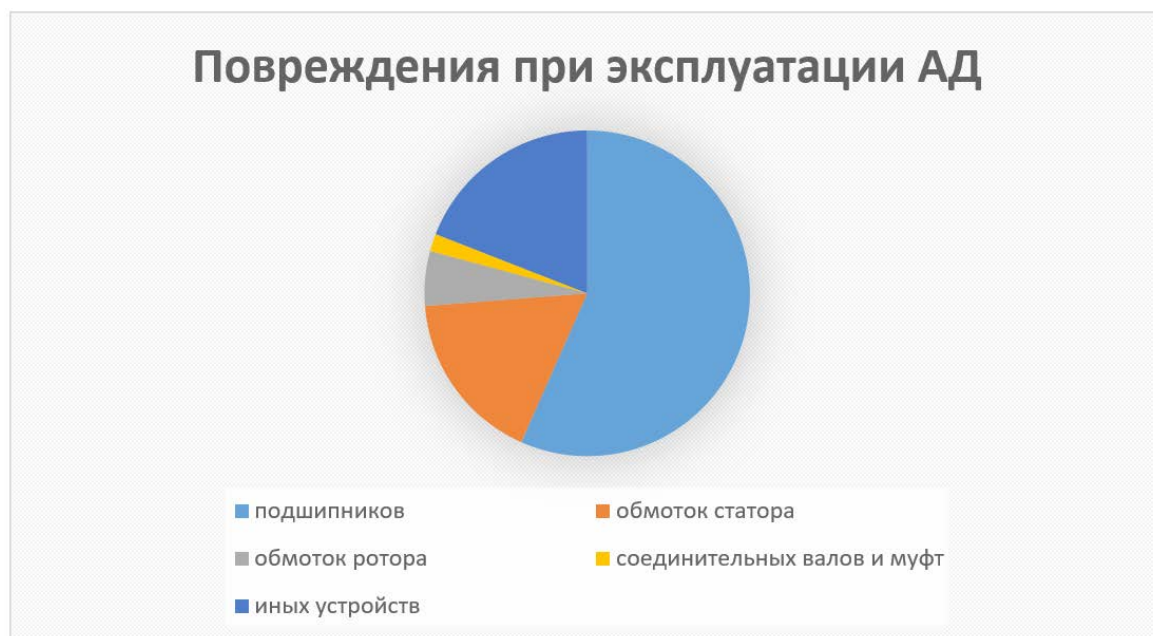


Рисунок 1. Повреждения, возникающие при эксплуатации АД

Отказы и неисправности асинхронных двигателей чаще всего вызваны механическими и электрическими повреждениями, которые могут быть результатом конструктивных недочетов, нарушением технологических и эксплуатационных

условий [2]. Отказы АД, связанные с конструктивными недочетами, обычно возникают при несоблюдении и допущении ряда ошибок при проектировании и разработке электродвигателей, что обусловлено наличием человеческого фактора.

В большинстве случаев в промышленных организациях контроль и мониторинг технического состояния электродвигателей осуществляется путем его отключения с целью измерения сопротивления изоляции обмоток мегаомметром. Также не маловажным является критерий проверки и осмотра состояния подшипников электродвигателей. Неисправности и повреждения, возникающие при эксплуатации АД в нефтегазодобывающих предприятиях, условно можно разделить на несколько групп (рисунок 1).

Чаще всего причиной отказов, связанной с повреждением фазной обмотки, является межвитковое замыкание, а также пробой межфазной изоляции, повреждение и пробой пазовой изоляции (рисунок 2).

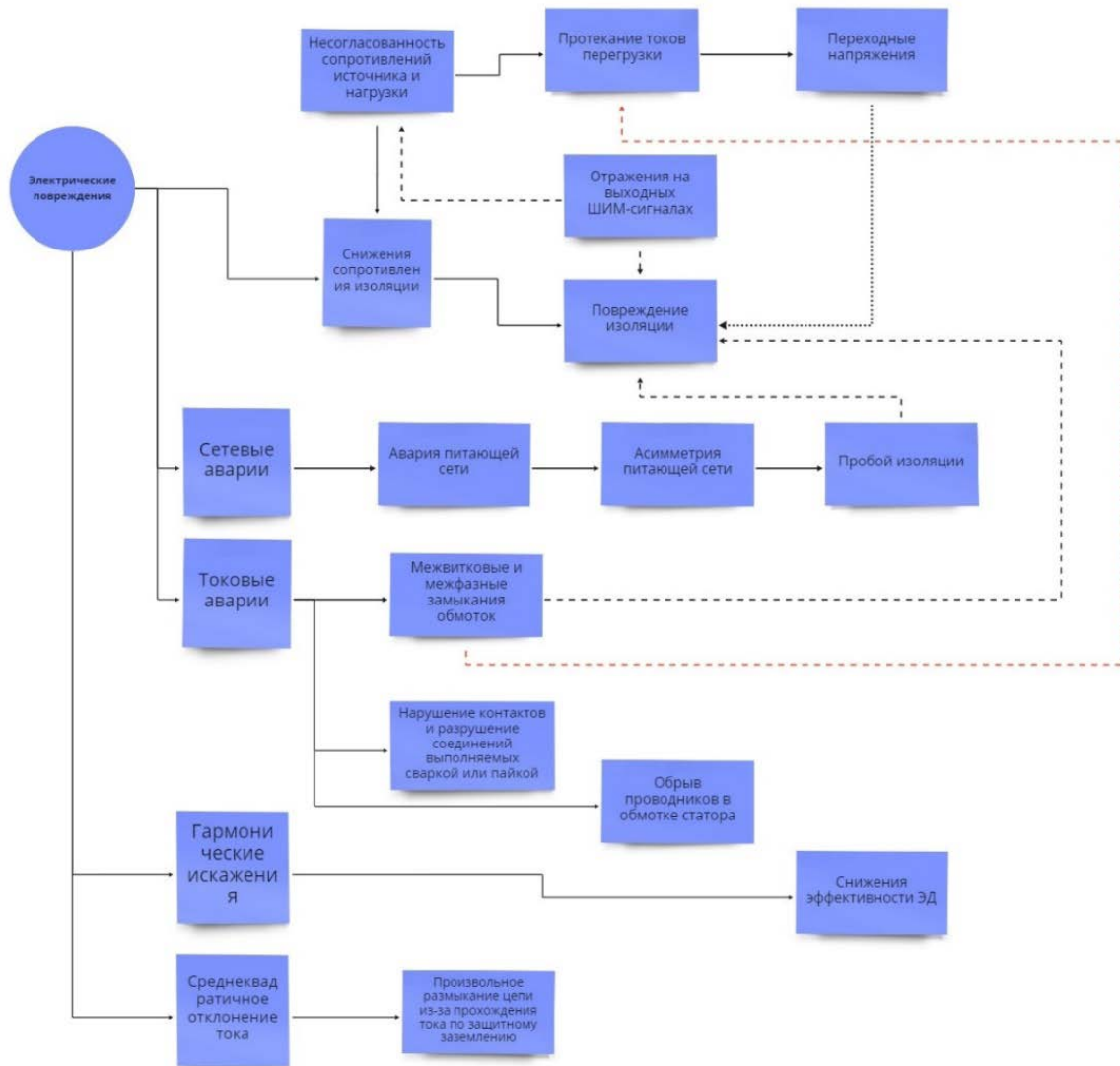


Рисунок 2. Электрические повреждения, возникающие при эксплуатации АД



Зачастую оборудование может подвергаться действию высоких механических нагрузок, что приводит к тяжелым повреждениям, механическому разрушению деталей АД и привода. Также механические повреждения могут быть следствием ошибок при монтаже, несоблюдения требований по центровке валов и т. д.

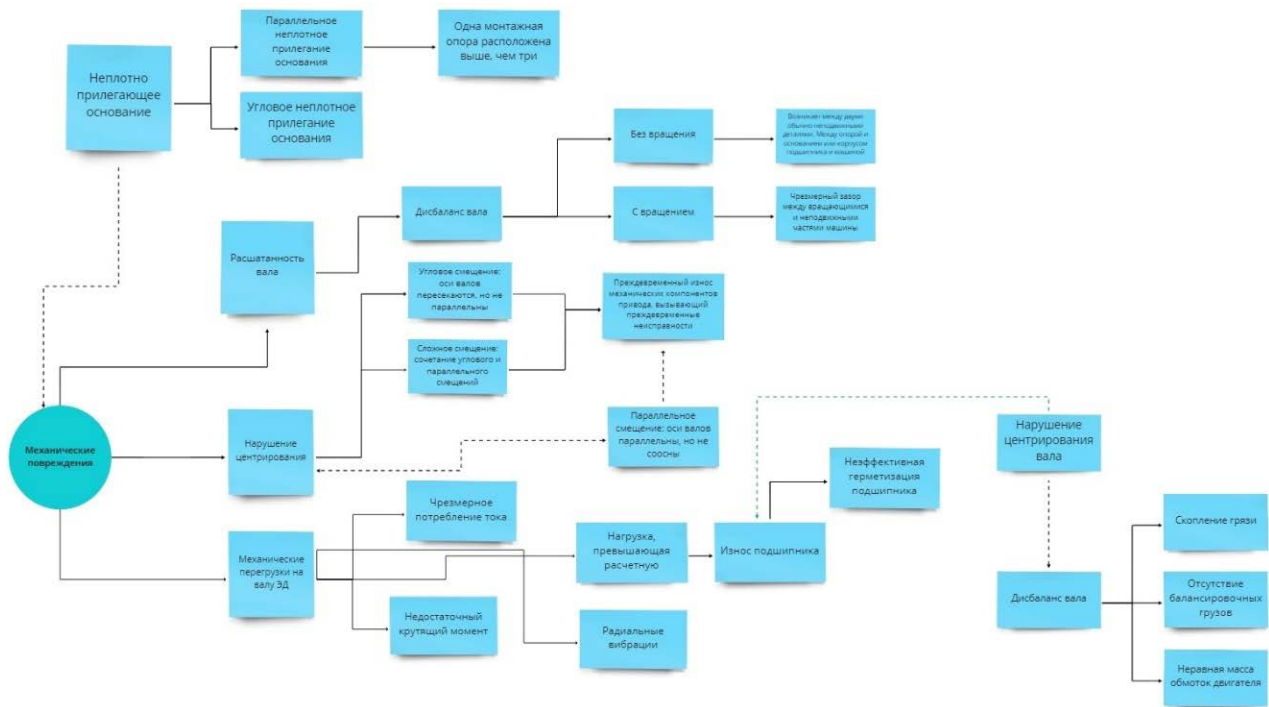


Рисунок 3. Механические повреждения, возникающие при эксплуатации АД

После выхода из строя асинхронных электродвигателей в большинстве случаев электротехнические дефекты способствуют возникновению механических повреждений, и наоборот.

С целью предотвращения возникновения предельных состояний, нарушений в работе, аварий и отказов, возникающих при работе АД, были разработаны общие методы диагностирования. Одним из наиболее распространенных и эффективных методов является вибродиагностика, которая может быть осуществлена с помощью стационарных датчиков или с использованием переносных устройств контроля [1]. Критерием использования переносных устройств является наличие большого количества агрегатов, обслуживаемых по фактическому состоянию. Критерий применения измерительных датчиков заключается в наличии необходимости постоянного контроля за состоянием диагностируемого АД, что актуально в особо ответственных механизмах привода.

Вибродиагностика позволяет проанализировать широкую область процессов (процессы износа деталей АД, электромагнитные воздействия и ударные импуль-

сы, возникающие от пусковых токов), происходящих в эксплуатируемых двигателях. Также удастся определить значительное количество точечных дефектов подшипников, обнаружить места ослабления опор и обрыв стержня ротора. Результаты измерения получаются посредством разложения измерительного сигнала на периодические, случайные и ударные составляющие. Поскольку существует вероятность отражения шума от стен, потолка или пола, а также от различных предметов, находящихся в этом же помещении, при измерении будет запечатлен суммарный шум прямой и отраженной звуковой волны. Для получения более точных измерений необходимо иметь специально оборудованное помещение, что тоже является проблематичным.

Для диагностирования АД по тепловому режиму возможно применение терморезисторов, термопар и тепловизоров. Тепловизоры как средства измерений являются более практичными, поскольку значительно ускоряют и упрощают процесс контроля температурного режима АД [3].

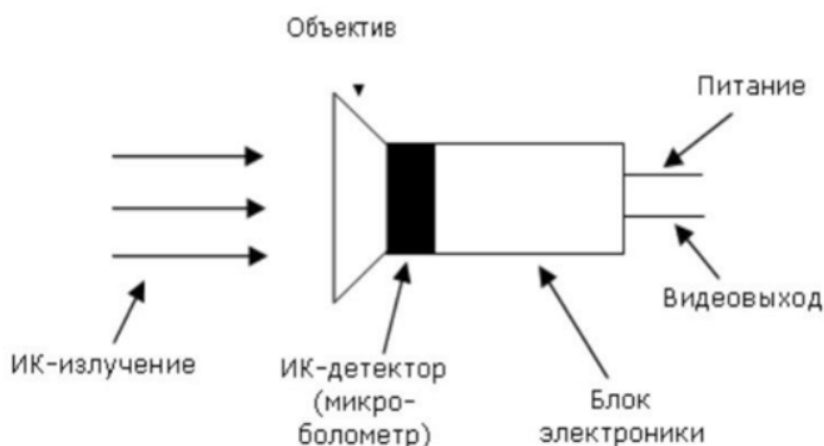


Рисунок 4. Схема тепловизора

Благодаря тепловой диагностике возможно сделать косвенные выводы о неисправных, поврежденных и перегруженных участках диагностируемого электродвигателя. Тепловизионное обследование позволяет визуально оценить распределение температуры при работе АД (рисунок 5), но на четкость и качество термограмм могут оказывать влияние температура и влажность окружающей среды, а также расстояние между камерой и электродвигателем.

Преимуществом тепловизионного обследования можно назвать тот факт, что съёмка осуществляется дистанционно от диагностируемого электродвигателя, а также отсутствует необходимость в дополнительном монтаже или демонтаже оборудования. Значительная дороговизна и ограничения по нижнему пределу рабочей температуры являются недостатками данного метода диагностирования [3].

Последним из эффективно применяемых методов диагностирования является метод токовой диагностики. С развитием информационных технологий становится вполне осуществимым следить за техническим состоянием электродвигателя с помощью систем мониторинга, что позволяет обеспечить оперативную диагностику и, как следствие, повышение надежности. Принцип действия данного метода заключается в том, что изменение технического состояния работающего электродвигателя приводит к изменению формы и величины тока нагрузки. Автоматические системы управления и мониторинга оснащены функциями измерения токов и напряжения, что позволяет сократить количество затрат на внедрение систем токовой диагностики и делает этот метод выгодным и перспективным [4]. Определение состояния электрической и механической частей асинхронного электродвигателя во время измерения без непосредственного вмешательства является одним из главных преимуществ токовой диагностики.

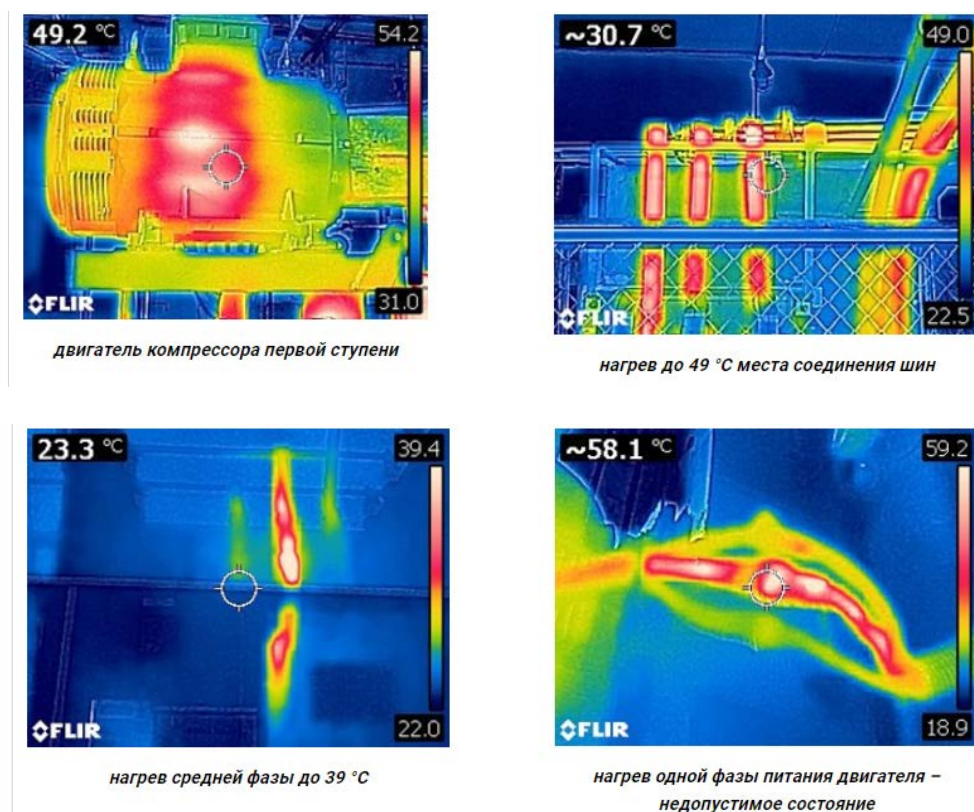


Рисунок 5. Термограммы электрического оборудования

В данной публикации были рассмотрены основные виды диагностирования АД с короткозамкнутым ротором, которые позволяют предотвратить нарушения работы, аварии и отказы, возникающие при эксплуатации. Предпочтительно использовать одновременно два и более вида диагностических параметров,

поскольку большинство повреждений связаны с изломом деталей, механическими повреждениями подшипников, а также разрушением изоляции. Совместное применение вибродиагностики и токовой диагностики позволит осуществлять постоянный контроль за текущим состоянием оборудования, проводить профилактику неисправностей, а также снизить вероятность возникновения аварий.

### Список использованной литературы

1. Барков А. В., Баркова Н. А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации : Учебное пособие. — Санкт-Петербург : СПбГМТУ, 2004. — 152 с.
2. Гольдберг, О. Д. Надежность электрических машин // О. Д. Гольдберг, С. П. Хелемская. — Москва : Академия, 2010. — 288 с.
3. Шевчук В. А., Семёнов А. С. Сравнение методов диагностики асинхронного двигателя // Международный студенческий научный вестник. — 2015. — URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=14100> (дата обращения: 16.04.2022).
4. Хорольский В. Я., Таранов М. А., Шемякин В. Н. Эксплуатация электрооборудования // В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, В. Н. Шемякин. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 266 с.

УДК 621.311.4

*Манусов В. З.<sup>1</sup>, Иванов Г. В.<sup>2</sup>, Талмазан Д.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск

<sup>2,3</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

## СРАВНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6–10 кВ и 20 кВ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В работе выполнено сравнение экономической эффективности распределительных электрических сетей 10 кВ и 20 кВ на основе моделей системы электроснабжения с разной плотностью нагрузки. Определен параметр, при котором электрические сети 20 кВ становятся экономически более выгодными по сравнению с сетями 6–10 кВ.

**Ключевые слова:** *распределительная сеть, система электроснабжения, энергоэффективность, потери электрической энергии, надежность электроснабжения, целесообразность и экономическая обоснованность, перспективы внедрения сетей напряжением 20 кВ, реконструкция сетей электроснабжения, пропускная способность.*

*Manusov V. Z.<sup>1</sup>, Ivanov G. V.<sup>2</sup>, Talmazan D.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

<sup>2,3</sup> Surgut state University, Surgut

## COMPARISON OF DISTRIBUTION NETWORKS OF MEDIUM VOLTAGE 6-10 kV and 20 kV ACCORDING TO ECONOMIC INDICATORS

*Surgut*

**Abstract.** The paper compares the economic efficiency of 10 kV and 20 kV distribution electrical networks based on models of the power supply system with different load densities. A parameter has been determined at which 20 kV electrical networks become economically more profitable compared to 6-10 kV networks.

**Keywords:** *distribution network, power supply system, energy efficiency, losses of electrical energy, reliability of power supply, expediency and economic feasibility, prospects for the introduction of 20 kV networks, reconstruction of power supply networks, capacity.*

В настоящее время системы распределения электрической энергии среднего напряжения в Российской Федерации в основном выполняются классом напряжения 10 кВ (традиционная система). В то же время сети классом напряжения 35 кВ используется для транспорта электрической энергии через крупные распределительные центры, а также для обеспечения прямого электроснабжения потребителей, имеющих большие производственные мощности (промышленные центры). Недостатки традиционной системы электроснабжения оказываются очевидными в случае резкого увеличения электрических нагрузок, поскольку высокая плотность нагрузки в результате быстрого экономического развития и высокого спроса на электрическую энергию оказывает большее давление на структуру и надежность системы электроснабжения. Существующие центры питания 35/10 кВ практически не обладают свободными ячейками для новых технологических присоединений, следовательно, возникает дефицит установленного электрооборудования для покрытия необходимой мощности. Это приводит к потребности в реконструкции уже сложившейся энергосистемы или в строительстве новой.

В настоящее время питание напряжением 20 кВ стало стандартом ИЕС для системы распределения среднего напряжения. Также является национальным стандартом во многих странах, таких как США, Япония, Франция, Италия, Канада, Германия, Болгария и Венгрия, что даёт опыт эксплуатации среднего напряжения 20кВ на протяжении двух десятков лет. Несмотря на то, что преимущества распределительной системы 20кВ хорошо известны, необходим дальнейший анализ ее технологической и экономической эффективности в российских реалиях — в крупных областных центрах, которым присущ постоянный рост численности населения. Необходимо учесть при выборе напряжения 20кВ такие проблемы, как высокая стоимость строительства, плохая совместимость с зонами 10кВ и обеспечения полного ряда категорий электроснабжения потребителей электрической энергии.

В представленной работе исследуются модели распределительных электрических сетей напряжением 10 и 20 кВ в новых районах с точки зрения минимальных затрат при эксплуатации электроустановок.

Основным методом оценки экономичности проектов распределительных электрических сетей является определение при различной плотности нагрузки минимальной стоимости на единицу нагрузки каждого проекта с учетом структуры

сети, режима подключения среднего напряжения и высоковольтных подстанций и линий.

Модель описывается так, что оптимальный проект определяется путем минимизации объектной функции минимальных инвестиционных и эксплуатационных затрат при выборе подстанции и распределительной сети для заданной нагрузки в планируемом году. Комплексные минимальные инвестиционные затраты для распределительной сети можно посчитать по формулам:

$$C_{min} = PC_{Ucp} + L_{Ucp}; \quad (1)$$

$$PC_{Ucp} = 3Г_{PCUcp} \left[ \frac{r_0 (1+r_0)^{mPCUcp}}{(1+r_0)^{mPCUcp} - 1} \right] + 3ГЭ_{PCUcp}; \quad (2)$$

$$L_{Ucp} = 3Г_{ЛУcp} \left[ \frac{r_0 (1+r_0)^{mЛУcp}}{(1+r_0)^{mЛУcp} - 1} \right] + 3ГЭ_{ЛУcp}, \quad (3)$$

где  $PC_{Ucp}$ ,  $3Г_{PCUcp}$  и  $3ГЭ_{PCUcp}$  — соответственно комплексные инвестиции на понижающую подстанцию среднего напряжения (строительство новой / реконструкция) и ежегодные эксплуатационные затраты;

$ЛC_{Ucp}$ ,  $3Г_{ЛУcp}$  и  $3ГЭ_{ЛУcp}$  — соответственно комплексные инвестиции на линию среднего напряжения, питающую понижающую подстанцию;

$r_0$  — ставка дисконтирования, 0,1;

$mPCUcp$  — срок службы амортизационных отчислений на понижающую подстанцию среднего напряжения, 25 лет;

$mЛУcp$  — срок службы амортизационных отчислений на линию среднего напряжения, 25 лет;

$$3Г_{PCUcp} = K_{mp} \cdot n, \quad (4)$$

где  $K_{mp}$  — стоимость трансформатора;

$n$  — количество трансформаторов;

$$3ГЭ_{PCUcp} = K_{3Гэ.тp} \cdot n, \quad (5)$$

где  $K_{3Гэ.тp}$  — затраты на обслуживание трансформатора, которые определяются согласно видам работ, представленным в РД 34.05.303-87 «Нормы времени на испытания электрооборудования»;

$n$  — количество трансформаторов.

Норма обслуживания трансформатора в год составляет один текущий ремонт (ТР) и три технических обслуживания (ТО), то есть  $K_{ЗГэ.тр} = 3ТО + ТР$ . Норма трудоемкости чел./час ТО составляет 10% от ТР.

Затраты на текущий ремонт трансформатора в год вычисляются в зависимости от численности человек, заработной платы электромонтёра 4-го разряда и заработной платы электромонтера 5-го разряда, кроме того, учитываются отчисления в соцстрахование, отчисления на социальные нужды, трудозатраты водителя в год, стоимость эксплуатации автомашины «Газель» в час, накладные расходы, рентабельность. Численность человек в месяц для обслуживания и ремонта электрооборудования определяется как отношение суммарной трудоемкости к количеству рабочих часов персонала в году. Для того чтобы посчитать затраты на обслуживание и ремонт на целый год, необходимо перемножить численность человек на двенадцать месяцев и на зарплату работников. Количество рабочих часов персонала в году принято 2016 ч согласно производственному календарю 2021 г., заработная плата электромонтера 4-го разряда по обслуживанию и ремонту электрооборудования принята 40 тыс. руб., электромонтера 5-го разряда по обслуживанию и ремонту электрооборудования — 50 тыс. руб.

Инвестиции на строительство кабельной линии

$$ЗГ_{ЛУср} = (K_{кл} + K_{пр}) \cdot l, \quad (6)$$

где  $K_{кл}$  — стоимость кабеля за 1 км;

$K_{пр}$  — стоимость прокладки 1 км кабельной линии;

$l$  — длина линии, км.

Ежегодные инвестиции на эксплуатацию кабельной линии

$$ЗГэ_{ЛУср} = K_{ЗГэ.л} \cdot l, \quad (7)$$

где  $K_{ЗГэ.л}$  — затраты на обслуживание 1 км кабельной линии, рассчитываем аналогично  $K_{ЗГэ.тр}$  согласно видам работ, представленным в РД 34.05.303-87 «Нормы времени на испытания электрооборудования».

Принимая стоимость одного часа работы автомашины «Газель» равной 690,6 руб., с учетом расходов на транспорт в год для обслуживания двух трансформаторов и кабельных линий, находящихся в одной подстанции, получаем: 3 894,98 руб. расходуется на транспорт при обслуживании одной подстанции в год.

Рассчитаем минимальные затраты на единицу нагрузки за один год:

$$З_{min} = \frac{min C}{P} = \frac{PCУср + ЛУср}{P}. \quad (8)$$



Таблица 1. Нормы труда на текущий ремонт электроустановки

Наименование электроустановки	Нормы труда, чел./час
ТСЛ 4000 кВА 6-10-20/0,4 кВ	28,2
ТМГ 2500 кВА 6-10-20/0,4 кВ	25,5
ТМГ 1600 кВА 6-10-20/0,4 кВ	25,5
ТМГ 1000 кВА 6-10-20/0,4кВ	19,7
ТМГ 630 кВА 6-10-20/0,4 кВ	15,4
ТМГ 400 кВА 6-10-20/0,4 кВ	14,7
Кабельная линия, 1 км АПВВнг(А)-LS 3х300/50-20(10)	56
Кабельная линия, 1 км ААШв 3х240-20(10)	48
Кабельная линия, 1 км АСШв 3х185-20 (10)	36
Кабельная линия, 1 км АСШв 3х95-20(10)	27

Таблица 2. Средняя цена на электрооборудование, затраты на строительство и обслуживание

Плотность нагрузки МВт/км <sup>2</sup>	Удельная величина затрат (тыс. руб за рассматриваемый период)							Примечание (способ прокладки КЛ)	К <sub>пр</sub> (на км линии)
	К <sub>кл</sub> (на м линии) 10кВ	К <sub>кл</sub> (на м линии) 20кВ	К <sub>тр</sub> (за шт.) 10кВ	К <sub>тр</sub> (за шт.) 20кВ	ЗГэ(пс) (на один тр.)	Згэ(л) (на км линии)			
1	1,1	1,3	185	250	9,94	18,27	Кабельная траншея	1000	
2	1,1	1,3	275	350	10,42	18,27			
5	1,7	2	400	500	13,33	24,35			
10	2,1	2,85	730	1000	17,25	30,44			
20	2,1	2,85	1 350	1 670	17,25	30,44			
40	2,1	2,85	1 350	1 670	17,25	30,44	Кабельный канал	4 890	
60	3,23	3,94	2 056	2 495	19,39	37,8			

Таблица 3. Результаты расчета комплексных расходов при реализации электроснабжения района площадью 1 км<sup>2</sup> при заданной плотности нагрузки

Тип финансового расхода	Проект	Сумма затрат для рассматриваемой плотности нагрузки (тыс. руб)						
		1	2	5	10	20	40	60
Строительство подстанций	1	1110	1650	4000	7300	18900	27000	53456
Строительство ЛЭП		5280	6600	13090	23100	37800	47040	108528
Обслуживание подстанций (в год)		59,64	62,52	133,3	172,5	241,5	345	504,14
Обслуживание ЛЭП (в год)		87,6	109,62	187,49	608,8	547,48	681,86	1270,1
Транспорт (в год для ТО ТР)		13	13	21,5	21,5	30,1	43	55,9
Строительство подстанций	2	1500	2100	5000	10000	23380	33400	64870
Строительство ЛЭП		6240	6240	15400	21945	34200	36480	75648
Обслуживание подстанций (в год)		59,64	62,52	133,3	172,5	241,5	345	504,14
Обслуживание ЛЭП (в год)		87,6	87,69	187,49	426,2	365,28	438,3	725,76
Транспорт (в год для ТО ТР)		13	13	21,5	21,5	30,1	43	55,9

Из данных диаграммы, представленной на рисунке 1, можно заметить, что минимальные затраты на единицу нагрузки каждого проекта уменьшаются с увеличением плотности нагрузки. В основном это связано с тем, что среднеарифметическая длина линии электропередачи уменьшается с ростом плотности нагрузки, увеличивается общая энергоэффективность оборудования для покрытия единицы мощности на 1 км<sup>2</sup>, тем самым сокращаются капиталовложения и затраты на единицу нагрузки. Также наблюдаем (рисунки 1, 2), что при плотности электрической нагрузки от 1–10 МВт/км<sup>2</sup> проект 1 (среднее напряжение 10кВ) обходится дешевле в ежегодных минимальных затратах по сравнению с проектом 2 (среднее напряжение 20 кВ).

Затраты на строительство электрических сетей при реализации проекта электроснабжения потребителей в новом районе при определенной плотности нагрузки и разном классе напряжения распределительных сетей имеют разный характер.

Например, из диаграммы на рисунке 3 следует, что при плотности нагрузки 1–20 МВт/км<sup>2</sup> проект 1 обходится дешевле по сравнению с проектом 2. Однако с ростом плотности нагрузки проект 2 обретает несомненную финансовую выгоду. Также можно обратить внимание на то, что затраты на строительство электрических сетей при плотности нагрузки 1–20 МВт/км<sup>2</sup> практически одинаковы, это объясняется тем, что хоть подстанции 20/0,4кВ и ЛЭП-20кВ в 1,1÷1,3 дороже по сравнению с аналогичными электроустановками напряжением класса 10кВ, затраты на строительство сетей напряжением 20кВ компенсируются меньшими вложениями в количество питающего кабеля.

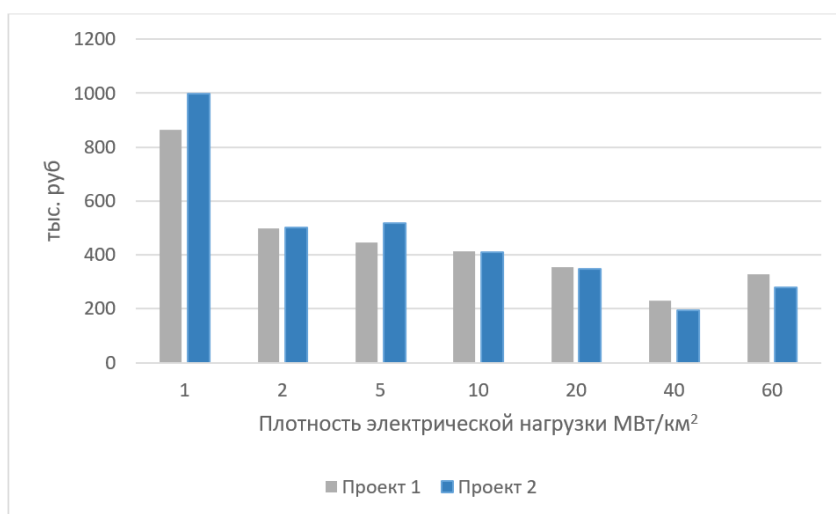


Рисунок 1. Минимальные затраты на единицу нагрузки рассматриваемых проектов

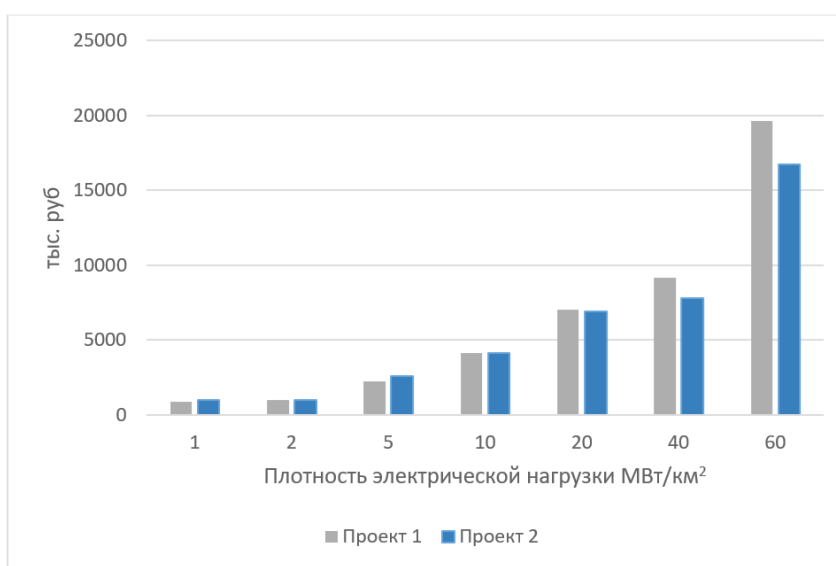


Рисунок 2. Ежегодные минимальные затраты для рассматриваемых проектов при заданной плотности нагрузки

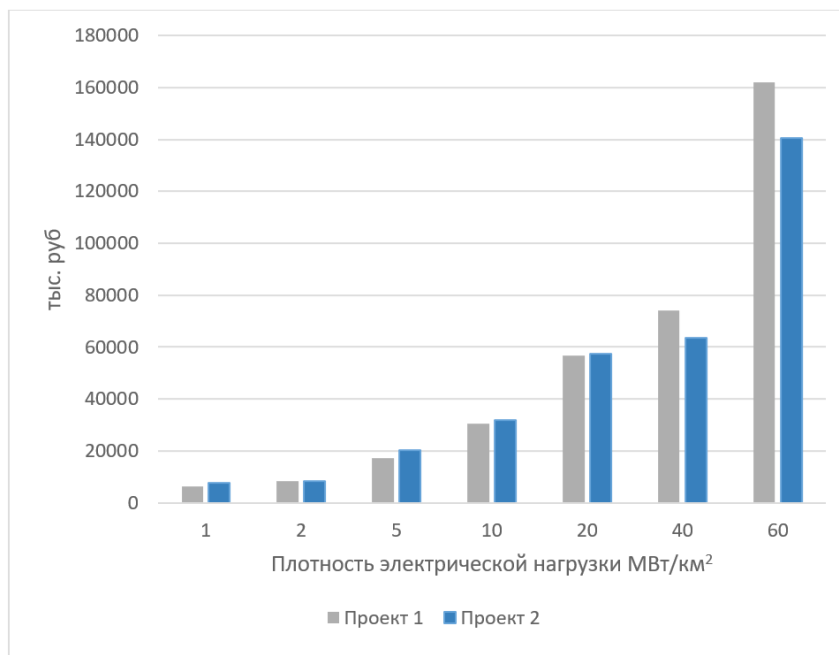


Рисунок 3. Минимальные затраты на строительство электрических сетей при реализации проекта электроснабжения района

Таким образом, класс напряжения 20кВ рекомендуется для сетей электроснабжения на новом участке с проектируемой плотностью нагрузки свыше 10 МВт/км<sup>2</sup>, также при реконструкции и реновации района рекомендуется переводить систему электроснабжения с 10кВ на 20кВ, если плотность нагрузки составляет более 40 МВт/км<sup>2</sup>.

### Список использованной литературы

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С. С. Рокотяна, И. М. Шапиро. — Москва : Энергоатомиздат, 1985. — 352 с. — Текст : непосредственный.
2. Инструкция по проектированию городских электрических сетей : РД 34.20.185—94: издание официальное : утв. Министерством топлива и энергетики Российской Федерации 07.07.94, Российским акционерным обществом энергетики и электрификации «ЕЭС России» 31.05.94 : введ. впервые : дата введ. 1995-01-01 / разработан Гипрокоммунэнерго (Лордкипанидзе В. Д.), РАО «ЕЭС России» (Акимкин А. Ф., Антипов К. М.), Энергосетьпроект (Файбисович Д. Л.). — Москва : 1995. — 31 с. — Текст : непосредственный.
3. Методические указания по применению в ОАО «Московская объединенная электросетевая компания» основных технических решений по эксплуатации, реконструкции и новому сетевому строительству электросетевых объектов

- [Электрон. ресурс]. — URL: [www.rossetimr.ru/zakupki/podryadchik/doc/2014/Metod\\_1.pdf](http://www.rossetimr.ru/zakupki/podryadchik/doc/2014/Metod_1.pdf) (дата обращения 20.11.2019).
4. Схема электроснабжения города Москвы (распределительные сети напряжением 6-10-20 кВ на период до 2030 года с учетом присоединенных территорий [Электрон. ресурс]. — URL: [www.mos.ru/dgkh/anticorruption/antikorrupcionnaia-ekspertiza/view/42729220/](http://www.mos.ru/dgkh/anticorruption/antikorrupcionnaia-ekspertiza/view/42729220/) (дата обращения 20.11.2019).
  5. Höne S., Montebaur A., Hehr Korn H. J. Earth Fault Trails and Measurements in Rural 20 kV Networks as Basis for Improving the Performance of These Networks // Proc. 18th Intern. Conf. Electricity Distribution. — Turin, 2005. Pp. 1–5.
  6. Höne S., Hentschel K. Definition of Criteria to Operate 20 kV Networks with arc Suppression Coils According to Standards // Proc. 20th Intern. Conf. Electricity Distribution. — Prague, 2009. Pp. 1–5.
  7. Lågland H., Kauhaniemi K. Outage Cost Comparison of Different Medium Voltage Networks // Proc. 19th Intern. Conf. Electricity Distribution. — Vienna, 2007. Pp. 1–4.
  8. Daqing J. Lv. Triangle Development Zone Using 20 kV Voltage Level Distribution. — Hangzhou: Zhejiang University School of Electrical Engineering, 2017.
  9. Пелисье Р. Энергетические системы / Р. Пелисье. — Москва : Высшая школа, 1982. — 568 с. — Текст : непосредственный.
  10. Huang L. e. a. 220/20 kV Power Supply Scheme in High Load Density Urban Areas // Power System Protection and Control. — 2009. — 37 (20). — Pp. 1–6.
  11. Лабузова А. В. Развитие электрических сетей напряжением 20 кВ в г. Москве / А. В. Лабузова, Ю. С. Жигрова. — Текст : непосредственный // Электрические станции. — 2017. — № 5. — С. 14–18.
  12. Майоров А. В. Совершенствование технических решений по развитию структуры и повышению надежности эксплуатации электрической сети 20 кВ мегаполиса / А. В. Майоров. — Текст : непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2018. — № 4 (49). — С. 30–35.
  13. Майоров А. В. Особенности построения и направления развития системы защиты и автоматики электрической сети 20 кВ мегаполиса / А. В. Майоров. — Текст : непосредственный // Электрические станции. — 2018. — № 8. — С. 25–30.
  14. Майоров А. В. Применение защит с абсолютной селективностью и развитие автоматики в электрических сетях напряжением 20 кВ мегаполиса / А. В. Майоров. — Текст : непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2018. — № 6 (51). — С. 32–37.

УДК 621.311.12

*Дворцов П. П.<sup>1</sup>, Иванова Е. В.<sup>2</sup>, Переладов М. Е.<sup>3</sup>, Садьников В. Г.<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,  
Новосибирск

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В НУЛЕВОМ ПРОВОДЕ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПОРТА

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** В статье раскрывается актуальность проблемы несимметрии линейных напряжений и её оценка по критерию минимума тока в нулевом проводе в электрической сети порта. Представлены примеры источников несимметрии напряжения в электрической сети, то, как отражается несимметрия напряжения на качестве электрической энергии и качестве работы электрооборудования, а также способы её устранения в электрической сети.

**Ключевые слова:** *несимметрия напряжения, минимум тока в нулевом проводе, показатели качества электроэнергии, энергоэффективности, энергосбережение.*

*Dvortsov P. P.<sup>1</sup>, Ivanova E. V.<sup>2</sup>, Pereladov M. E.<sup>3</sup>, Sadnikov V. G.<sup>4</sup>*

<sup>1,2,3,4</sup> FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

## ELECTRIC CURRENT IN THE NEUTRAL WIRE IN THE ASYMMETRIC MODE OF OPERATION OF THE PORT ELECTRICAL NETWORK

*Novosibirsk*

**Abstract.** The article reveals the relevance of the problem of line voltage asymmetry and its assessment by the criterion of minimum current in the neutral wire in the port electrical network. Examples of sources of voltage asymmetry in the electrical network are presented, how voltage asymmetry affects the quality of electrical energy and the quality of electrical equipment, as well as ways to eliminate it in the electrical network.

**Keywords:** *voltage asymmetric, minimum current in the neutral wire, power quality indicators, energy efficiency, energy saving.*

## Введение

Одна из самых распространенных проблем в системах электроснабжения, порождающая разрушающие последствия для электрической сети, — это несимметрия фаз в трехфазной сети до 1,0 кВ с глухо заземлённой нейтралью. Данное явление может нарушить работу электрических приборов, вывести их из строя или создать угрозу для жизни и здоровья людей. Беря во внимание злободневность данной проблемы в электрической сети порта, будет полезным узнать, что порождает несимметрию токов и напряжений в трёхфазной электрической сети до 1 кВ, а также способы её устранения. Данные сведения помогут найти наиболее оптимальную стратегию защиты от данного явления по критерию минимума тока в нулевом проводе.

Согласно правилам устройства электроустановок, допустимая несимметрия фаз в трёхфазной сети должна составлять:

- несимметрия напряжения в распределительных щитах — не более 30%;
- несимметрия напряжения в вводно-распределительных устройствах — не более 15%;
- несимметрия обратной последовательности — не более 2%;
- несимметрия фаз на прямой последовательности — не более 4%.

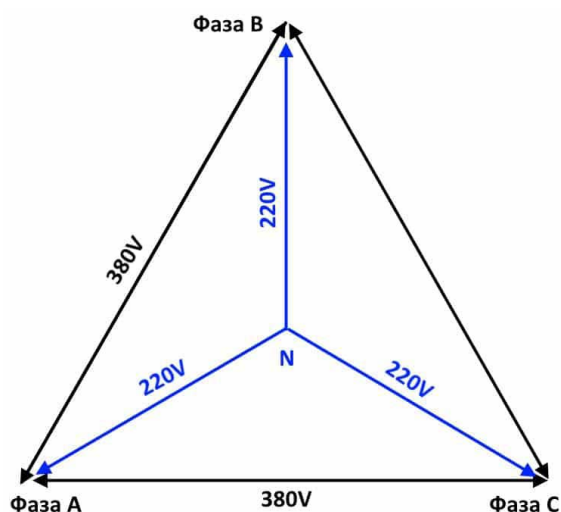


Рисунок 1. Фазы напряжений в идеальной трехфазной электрической сети

На рисунке 1 можно увидеть линейные и фазные напряжения (220 В). При реальной эксплуатации электрической сети подобной идеальной картины добиться невозможно. Как правило, линейные напряжения электрической сети совпадают, но в фазных напряжениях наблюдаются несимметрии. Пример несимметрии на-

пряжений показан на рисунке 2, где видно, что линейное напряжение остаётся неизменным, а фазные напряжения меняются по модулю.

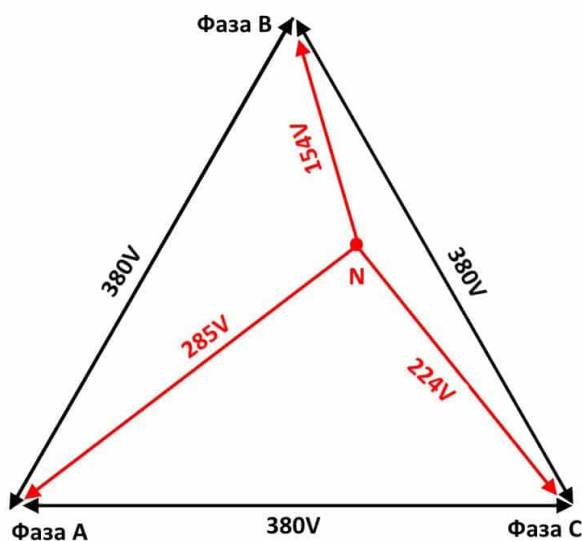


Рисунок 2. Пример треугольной диаграммы напряжений при возникновении несимметрии фаз во время эксплуатации электрической сети

К сожалению, в трехфазных сетях предотвратить или полностью устранить несимметрию токов и напряжений невозможно. Поэтому существуют нормы несимметрии, в которых установлены допустимые отклонения [1].

Данное состояние электросети вызвано неравномерным подключением нагрузок по фазам или обрывом нулевого провода. Как правило, это явление несимметрии происходит в сетях до 1 кВ, это связано с особенностями распределения потоков мощности электроэнергии между однофазными потребителями электрической энергии.

### Основная часть

Текущий уровень электрификации в Российской Федерации, характеризующийся повышением потребляемой мощности на фабриках, заводах и прочих промышленных объектах, повышением спроса у частных хозяйств, говорит о том, что появляются новые мощные нагрузки или нагрузки с нелинейной характеристикой, оказывающие критическое влияние на стабильность качества электрической энергии, вызывают несимметрию напряжения в электрической сети порта. Оборудование реагирует на такие изменения, приводящие к необратимым последствиям, сокращающие продолжительность срока службы цепей и повышенный нагрев на контактных соединениях электрооборудования [2].



При возникновении неравномерности фазных нагрузок в инфраструктуре портовых сетей 0,4 кВ возрастают потери от нелинейности и увеличении тока обратной и нулевой последовательности. Несимметрия нагрузки повышает токи в нулевом проводе, в связи с этим появляются дополнительные потери, которые не учитываются в расчётах потерь электроэнергии, но зачастую оказывают влияние на качество электрической энергии в местных сетях. Являясь симметрирующим звеном, нулевой провод оказывает большое влияние на уравнивание потенциалов между фазами. Условием корректной работы будет служить правильность закрепления нулевого провода к шине рабочего заземления и отсутствие обрыва фазных проводов.

В большинстве специальных измерительных приборов, таких как трансформаторы тока и напряжения, отсутствует дополнительный датчик измерения тока в нулевом проводе. Отсутствие данных датчиков затрудняет расчёты потерь электрической энергии в нулевом проводе.

В сети электроснабжения порта 0,4 кВ при эксплуатации нелинейных потребителей электрической энергии снижаются показатели качества электрической энергии. Появление несимметрии токов и напряжений в портовой сети создается при неравномерном подключении потребителей к одной или двум фазам трехфазной сети [1]. При перечислении основных портовых потребителей к ним можно отнести порталные краны, прожекторное освещение, станочное оборудование судоремонтных цехов, складское и логистическое хозяйство порта. Суточный график нагрузки представляет собой неравномерное распределение мощностных потреблений электрической энергии. При неравномерности суточного потребления мощности, вызванным неравномерным режимом работы электрооборудования, особенно грузоподъемных сооружений, снижается качество электрической энергии в сети порта. Помимо снижения качества электрической энергии, возникают токи обратной и нулевой последовательности, которые, в свою очередь, приводят к снижению эксплуатационных экономических показателей, появлению электромагнитного тормозного момента, нагреву активных частей машины и другое [1].

Несимметрия напряжения может быть снижена за счёт рационального построения системы электроснабжения и применения специальных симметрирующих устройств.

К основным мероприятиям первого способа относятся:

- увеличение полной мощности трёхфазного короткого замыкания;
- равномерное распределение однофазных электропотребителей по фазам [3].

В электрических сетях напряжения 0,4 кВ может возникать как случайная несимметрия, так и вероятностная. Случайная несимметрия вызвана неэффек-

тивным распределением линейных и однофазных нагрузок. Случайная несимметрия создается нелинейными нагрузками.

Для устранения неслучайной симметрии достаточно рационального распределения нагрузок на стадии проектирования. Во время проектирования нужно учитывать не только мощность подключаемых потребителей электрической сети, но и график включения этих потребителей. Для реализации проекта применяются такие технические средства, как:

- реле контроля фаз — контролирует ток по фазам, отслеживает обрывы фаз и несимметрии;
- стабилизаторы напряжения на каждую фазу — выравнивают модуль напряжения на каждой фазе, не прерывают питание фазы в случае обрыва другой фазы;
- стабилизаторы напряжения на три фазы — равномерно распределяют напряжение между фазами, могут преобразовывать трёхфазную сеть в однофазную.

При применении указанных выше технических средств в системе электроснабжения судоремонтного цеха был получен следующий график коэффициента несимметрии (рисунок 3).

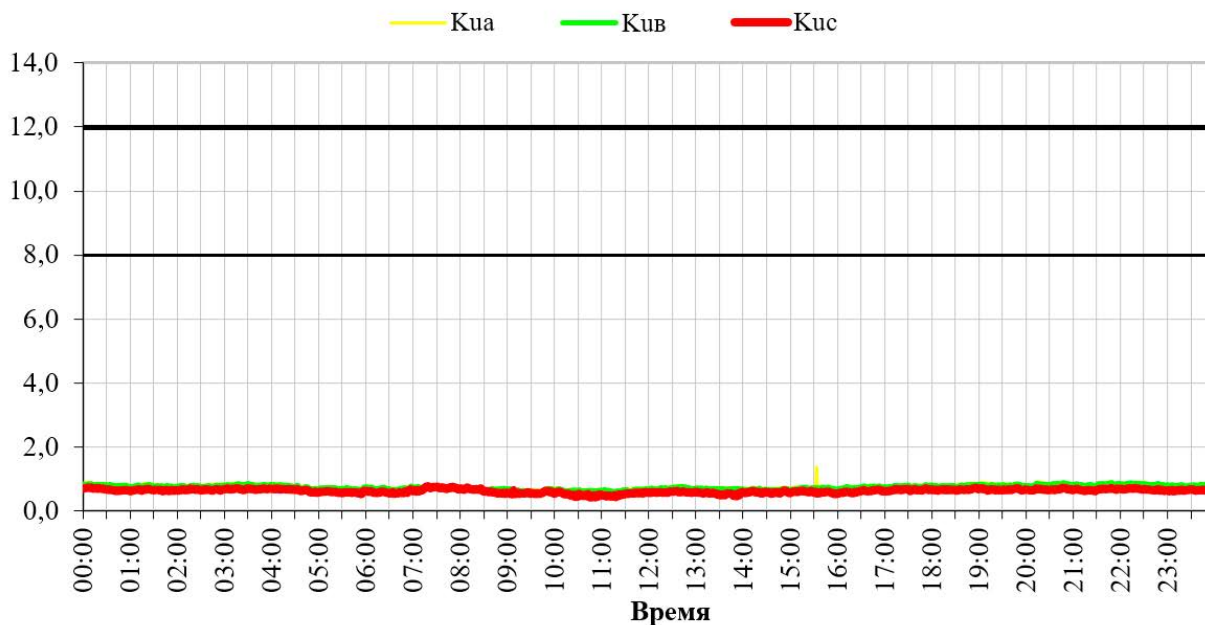


Рисунок 3. Суточный график искажения фазных напряжений

Из рисунка 3 видно, что полученные значения несимметрии находятся в пределах допустимого.

Для расчёта вероятностной несимметрии применяется функция распределения вероятностей в интегральной форме:

$$P(K_{2U,H} < K_{2Ui} < K_{2U,\Pi}) = \int_2^4 \psi(K_{2U}) d(K_{2U});$$

$$P(K_{2U,\Pi} < K_{2Ui} < \infty) = \int_4^{\infty} \psi(K_{2U}) d(K_{2U}).$$

где  $K_{2U}$  — коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности напряжения, индекс  $H$  означает нормально допустимую несимметрию, индекс  $\Pi$  означает предельно допустимые значения несимметрии;

$\psi(K_{2U})$  — плотность вероятности распределения величины  $K_{2U}$ .

Плотность вероятности распределения является неотрицательной функцией. Интегрируемая функция  $\psi(K_{2U})$  удовлетворяет двум условиям:

$$\begin{cases} \psi(K_{2U}) \geq 0, \\ \int_{-\infty}^{\infty} \psi(K_{2U}) d(K_{2U}) = 1. \end{cases}$$

Для характеристики  $K_{2U}$  необходимо определить моменты распределения случайной величины  $K_{2U}$  и вероятность появления этой помехи. Расчёты производятся на этапе проектирования электрической сети порта для проверочного расчёта на допустимые несимметрии или в момент эксплуатации электрической сети для проектирования дальнейших решений по устранению несимметрии в электрической сети порта [3].

### Выводы

Несимметрия фаз в трехфазной сети — это одна из самых распространенных проблем в системах электроснабжения. Для устранения несимметрии фаз необходимо произвести замену схем подключения электрического оборудования в сети либо установить специальные стабилизирующие устройства.

Минимизация несимметрии в электрической сети порта позволит снизить потери электрической энергии, уменьшить негативное влияние на электрооборудование и продлить срок её эксплуатации. Уменьшение потерь электроэнергии в электрической сети порта позволит снизить эксплуатационные расходы порта и снизить себестоимость обработки грузов.

Тенденция к стремлению оптимизации электрической сети порта по критерию минимума тока в нулевом проводе при несимметричной нагрузке трёхфазной сети продиктована общемировой тенденцией энергосбережения и энергоэффективно-

сти в электрических сетях. На территории Российской Федерации оптимизация энергосистем дополнительно продиктована федеральным законом об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности [4].

### Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ : МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ : дата введения 2014-07-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию. Изд. Официально. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 31 с.
2. Лукина Г. В. Определение показателей качества электрической энергии в распределительных сетях фермерских и пригородных хозяйств / Г. В. Лукина, С. И. Бондаренко, Е. В. Самаркина // Вестник КРАСГАУ. — 2017. — №3. — С. 86–91.
3. Переладов М. Е. Статические характеристики по напряжению комплексной нагрузки 0,4 кВ судов технического флота // Национальная научно-практическая конференция «Водный транспорт — научно-технический прорыв». — Новосибирск : СГУВТ, 2021. — С. 228–232.
4. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации. Федеральный закон N 261-ФЗ : [принят Государственной Думой 11 нояб. 2009 г. : одобрен Советом Федерации 18 нояб. 2009 г.]. — Москва : Проспект ; Санкт-Петербург : кодекс, 2009. — 62 с.

УДК 621.311

*Кислов А. П.<sup>1</sup>, Кайдар А. Б.<sup>2</sup>, Шапкенов Б. К.<sup>1</sup>,  
Талипов О. М.<sup>3</sup>, Кузанов Б.<sup>4</sup>, Фазлыев Д. М.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> к.т.н., профессор Торайгыров университет;

<sup>2</sup> м.т.н. КазАТУ им. С. Сейфуллина;

<sup>3</sup> Нур-Султан, PhD, ассоц. профессор Торайгыров университет;

<sup>4</sup> магистрант НАО Торайгыров университет, Павлодар

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ

*Павлодар*

**Аннотация.** В работе представлены результаты анализа систем защиты электрических сетей от токов короткого замыкания с применением технологий, основанных на выявлении пожароопасных участков системы электроснабжения и выборе экономически целесообразных параметров защиты и электропроводок по условию наименьшей вероятности пожара.

**Ключевые слова:** защита от коротких замыканий, электрическая безопасность, пожарная безопасность, автоматические выключатели.

*Kislov A. P.<sup>1</sup>, Kaidar A. B.<sup>2</sup>, Shapkenov B. K.<sup>1</sup>,  
Talipov O. M.<sup>3</sup>, Kuzanov B.<sup>4</sup>, Fazlyev D. M.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Ph.D., Professor Toraigyrov University

<sup>2</sup> M.Sc. KazATU them. S. Seifullina

<sup>3</sup> Nur-Sultan, PhD, assoc. Professor Toraigyrov University

<sup>4</sup> Master student NAO Toraigyrov University, Pavlodar

## INCREASING THE EFFICIENCY OF ELECTRICAL PROTECTION OF RURAL NETWORKS

*Pavlodar*

**Abstract.** The paper presents the results of the analysis of systems for protecting electrical networks from short circuit currents using technologies based on identifying fire hazardous areas of the power supply system and choosing economically feasible protection parameters and electrical wiring according to the condition of the lowest fire probability.

**Keywords:** short circuit protection, electrical safety, fire safety, circuit breakers.

В настоящее время по-прежнему значимой остается проблема обеспечения электрической и пожарной безопасности электроустановок до 1000 В объектов АПК. Наибольшее число (до 70 %) пожаров от электротехнических причин (электропожаров) обусловлено короткими замыканиями (КЗ) в электропроводах.

Для автоматического отключения питания при неисправности электроустановки широко используются предохранители и автоматические выключатели, однако их электрозащитная эффективность в сельских сетях является весьма низкой.

Для повышения эффективности электрической защиты может быть использована технология, основанная на выявлении пожароопасных участков системы электроснабжения и выборе экономически целесообразных параметров защиты и электропроводок по условию наименьшей вероятности пожара.

Одной из проблем практической реализации этой технологии является возможность неблагоприятных сочетаний параметров срабатывания защиты и перегоя электропроводки на различных участках электрической сети, обусловленная естественным разбросом характеристик. При этом возникает неопределенность времени срабатывания защиты и снижается число успешных отключений коротких замыканий.

Проблема низкой эффективности защиты от коротких замыканий (КЗ) в системах сельского электроснабжения обусловлена, прежде всего, низким уровнем токов КЗ. При удалении объекта АПК от подстанции до 800 м токи КЗ во внутренней сети с алюминиевыми проводами не всегда достигают даже порога срабатывания электромагнитных расцепителей (ЭР) автоматических выключателей с номинальным током 16 А. Поэтому весьма проблематично обеспечение регламентированного наибольшего допустимого времени срабатывания защиты (0,4 с) даже при использовании выключателей повышенной чувствительности серии ВА с характеристикой типа В. Для внутренних сетей ситуация усугубляется из-за возможности воздействия на электропроводку электрической дуги, часто возникающей при КЗ, которая может пережечь электропроводку быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов.

Для повышения чувствительности и быстродействия защиты предложен подход, предусматривающий изменение параметров электрической сети с целью увеличения токов КЗ до уровня, при котором зона срабатывания автоматических выключателей смещается к области чувствительности электромагнитных расцепителей (ЭР). Однако это мероприятие также не гарантирует повышение токов КЗ до порога срабатывания ЭР всей линейки номинальных токов применяемых автоматических выключателей. Поэтому дополнительно рекомендуется проектировать систему электрической защиты с учетом таких количественных показателей пожарной опасности, как коэффициент незащищенности сети для однофазных, двухфазных и трехфазных КЗ и интегральный показатель пожарной опасности КЗ.

Коэффициент незащищенности по каждому из перечисленных видов КЗ определяется отношением суммы длин участков сети, для которых время срабатывания защиты меньше времени пережога проводов электрической дугой КЗ к суммарной длине всех участков сети. Интегральный показатель пожарной опасности численно равен значению вероятности пожара на объекте от КЗ в течение года при допущении, что пережог электропроводки до срабатываний защиты обязательно приводит к пожару.

В сложившейся системе проектирования электрических сетей выбор их параметров осуществляют по критериям экономичности, надежности и качества электроснабжения [1]. При этом многие требования безопасности, в частности к электрической защите от аварийных режимов, учитывают в условиях уже сформированной структуры сетей и реализованных технических решений. Многолетний опыт эксплуатации электроустановок в АПК показывает, что эффективность электрической защиты на основе предохранителей и автоматических выключателей остается недостаточной из-за низкого уровня токов короткого замыкания (КЗ), несмотря на совершенствование защитной аппаратуры и все более широкое использование устройств защитного отключения (УЗО), которые позволяют решить проблему защиты от поражения электрическим током [2, 3], но по принципу действия не реагируют на однофазные КЗ на нулевой рабочий провод и междуфазные КЗ. Эти функции по-прежнему возлагают на автоматические выключатели, с которыми комбинируются УЗО.

Еще одна причина низкой эффективности защиты — большой разброс характеристик срабатывания предохранителей и автоматических выключателей. Реальное время срабатывания защиты при одном и том же токе из-за наличия зоны разброса может отличаться в несколько раз.

Недопустимо высокое время срабатывания защиты при малых токах КЗ привело к необходимости изменения подхода к проверке ее чувствительности в методиках выбора параметров срабатывания. Нормирование минимально необходимой кратности аварийных токов [4] заменено на установление максимально допустимого времени срабатывания защиты [5]. В ПУЭ [5] это время регламентировано значениями 0,4 с для внутренних радиальных и 5 с для групповых сетей.

Проведенные авторами расчеты возможного времени срабатывания автоматических выключателей различных типов, установленных на потребительских подстанциях, показали, что для верхних значений защитных характеристик регламентируемое время при удаленных однофазных КЗ в большинстве случаев не обеспечивается [6].

При защите внутренних электрических сетей возникают дополнительные проблемы, обусловленные прежде всего значительно меньшим уровнем токов КЗ, чем во внешних сетях. Кроме того, возникающая при КЗ в электропроводках электри-

ческая дуга, температура которой достигает нескольких тысяч градусов, может воспламенить изоляцию или другие горючие материалы, что вместе с действием искр и расплавленных частиц металла часто приводит к развитию пожара. Действуя, как дуга электросварочного аппарата, дуга КЗ может пережечь электропроводку быстрее, чем сработает защита, что эквивалентно ее отсутствию и неконтролируемому протеканию пожароопасных процессов. Современные методики выбора электрической защиты не учитывают воздействие электрической дуги КЗ на электропроводку [7]. Тем самым допускается возможность пожара еще на этапе проектирования защиты.

Учитывая проблематичность построения эффективной электрической защиты в системах внешнего и внутреннего сельского низковольтного электроснабжения, обусловленную прежде всего низким уровнем токов КЗ, можно предложить подход, отличный от настройки параметров защиты под расчетные значения аварийных токов, предусматривающий их увеличение до уровня, при котором зона срабатывания автоматических выключателей смещается к области чувствительности электромагнитных расцепителей (ЭР)[6].

При этом должны обеспечиваться требования ПУЭ [5] по максимально допустимому времени срабатывания, а также исключаться возможность пережога электропроводки током дугового КЗ до срабатывания защиты. Выполнение этих требований в значительной степени реализуется при условии срабатывания в аварийном режиме ЭР автоматических выключателей.

На сегодняшний день для защиты внутренних электрических сетей все большее применение находят автоматические выключатели серии ВА с номинальным током 16; 25; 31,5; 40; 50; 63А. Наибольшее распространение в Казахстане получили выключатели с характеристикой типа С, электромагнитные расцепители которых срабатывают в диапазоне (от 5 до 10) по отношению к номинальному току ( $I_n$ ). Использование более чувствительных выключателей с характеристикой типа В (от  $3I_n$  до  $5I_n$ ) достаточно ограничено из-за возможности ложных срабатываний, которые не исключены прежде всего вследствие ошибочного проектирования установки и непрофессиональной эксплуатации. В то же время в сельских сетях до сих пор эксплуатируют огромное количество автоматических выключателей серии АЕ с кратностью тока срабатывания ЭР  $12I_n$ .

Оценить возможность срабатывания ЭР автоматических выключателей позволяют результаты расчета токов однофазного КЗ в удаленных точках внутренней сети при различных параметрах внешней сети. Мы провели расчеты для схемы соединения обмоток трансформатора 10/0,4 кВ «звезда — звезда» и сечения проводов внутренней сети 4 мм<sup>2</sup>. При оценке пороговых токов срабатывания ЭР выключателей использовали следующие средние значения:  $7,5I_n$  — для выключателей серии ВА (С) и  $4I_n$  — для выключателей серии ВА (В).



Анализ выполненных расчетов показал, что даже на расстоянии 100 м от подстанции при сечении проводов воздушной линии 95 мм<sup>2</sup> и протяженности внутренней алюминиевой электропроводки 60 м ЭР выключателей серии АЕ с номинальным током 16 А и выше и серии ВА (С) с номинальным током 25 и выше не будут реагировать на однофазное КЗ (табл. 1, табл. 2).

Таблица 1. Результаты расчета токов однофазного КЗ в конце линий 0,38 кВ при различных параметрах внешней и внутренней электрической сети

Параметры внешней сети		Протяженность ВЛ							
Тип линии	Мощность трансформатора, кВА	100 м				800 м			
		Сечение проводов ВЛ							
		25 мм <sup>2</sup>		95 мм <sup>2</sup>		25 мм <sup>2</sup>		95 мм <sup>2</sup>	
		Величина тока КЗ во внутренней сети в конце линии Длиной 30м/60м сечением 4мм <sup>2</sup> , А							
		Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь	Алюминий	Медь
ВЛ	100	182/127	222/169	227/147	293/207	59/52	63/58	121/94	137/115
ВЛ	160	200/135	249/184	256/158	343/230	61/53	65/59	129/98	147/122
ВЛ	250	212/141	269/195	277/166	383/247	62/54	66/60	134/101	154/126
ВЛ	400	222/145	284/202	293/172	414/260	63/55	67/61	137/103	159/130
ВЛ	630	227/147	294/207	303/175	435/268	64/56	68/62	139/105	162/132

Только при использовании медной электропроводки и снижении ее протяженности до 30 м в некоторых случаях возможно срабатывание ЭР выключателей серии АЕ с номинальным током 31,5 А и серии ВА (С) с номинальным током 50А.

При удалении от подстанции до 800 м ЭР выключателей серии АЕ с номинальным током 16 А и выключателей серии ВА (С) с номинальным током 25 А, даже при выполнении внутренней проводки медным проводом протяженностью, не превышающей 30 м, на однофазные КЗ не реагировали.

Наилучшими показателями срабатывания обладали выключатели серии ВА с характеристикой В.

При удалении от подстанции до 100 м и протяженности внутренней алюминиевой электропроводки 60 м порог срабатывания ЭР достигался для выключателей с номинальным током до 40 А, а в отдельных случаях (при медной электропроводке и сечении воздушной линии 95мм<sup>2</sup>) — 63А. При уменьшении протяженности медной электропроводки до 30 м порог срабатывания ЭР достигался для всей рассмотренной линейки номинальных токов.

Таблица 2. Расчетные пороговые токи срабатывания электромагнитных расцепителей автоматических выключателей

Номинальный ток, А	Пороговый ток срабатывания (А) для выключателей серии		
	АЕ	ВА (С)	ВА (В)
16	192	120	64
25	300	187	100
31,5	378	236	126
40	480	300	160
50	600	375	200
63	756	472	252

Однако при удалении от подстанции до 800м токи КЗ не всегда достигали даже порога срабатывания выключателей с номинальным током 16 А. И только для медной электропроводки при снижении ее протяженности до 30 м было возможно срабатывание ЭР выключателей с номинальным током до 40 А.

Аналогичные расчеты для внешней сети с кабельной линией или СИП с учетом возможности соединения вторичной обмотки силового трансформатора по схеме «зигзаг» позволяют расширить область оценки значений токов КЗ и анализировать результативность защиты в рассматриваемых условиях. Но в целом проведенный анализ показал проблематичность обеспечения регламентированного [5] наибольшего допустимого времени срабатывания защиты (0,4 с) даже при условии использования выключателей повышенной чувствительности серии ВА с характеристикой В.

С учетом изложенного представляется целесообразным при выборе параметров электрических сетей при проектировании и реконструкции систем низковольтного электроснабжения учитывать уровень токов короткого замыкания, принимая во внимание, что его повышение достигается с помощью следующих мероприятий [6]:

- увеличения мощности трансформаторов на потребительских подстанциях;
- использования силовых трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда — зигзаг» или «треугольник — звезда»;
- увеличения сечения проводов воздушных линий 0,38 кВ;
- замены традиционных воздушных линий 0,38 кВ с неизолированными проводами воздушными кабелями (СИП);
- увеличения сечения алюминиевых проводов на участках внутренних электрических сетей;
- замены алюминиевых проводов на медные на участках внутренних электрических сетей.

Однако даже реализация совокупности этих мероприятий не гарантирует повышения токов КЗ до порога срабатывания ЭР всей линейки номинальных токов применяемых автоматических выключателей. Поэтому целесообразно использовать подход к оценке эффективности электрической защиты по показателям пожарной опасности КЗ, основанный на следующем [7].

Диапазон токов однофазного, двухфазного или трехфазного КЗ на участке сети, для которого время пережога электропроводки возникающей электрической дугой меньше времени срабатывания защиты, называется незащищенной зоной, или зоной пережога. Отношение диапазона токов КЗ, для которого время пережога меньше времени срабатывания защиты, к диапазону токов КЗ на участке сети можно интерпретировать как долю незащищенной части участка сети.

Показатель  $k_s^{нз(k)}$ , определяемый долей незащищенной части участка сети (отношение длины незащищенной части участка электрической сети к полной длине участка), называется коэффициентом незащищенности участка сети:

$$k_s^{нз(k)} = \frac{I_s^{нз(k)}}{I_s}, \quad (1)$$

где  $I_s$  — длина s-го участка сети ( $s = 1, \dots, S$ ), м;

$k_s^{нз(k)}$  — длина зоны пережога на этом участке при k-м виде КЗ, м.

Нулевая величина этого показателя соответствует отсутствию опасности пережога на участке сети (и, как следствие, значительно меньшей опасности пожара, так как процесс развития КЗ ограничен электрической защитой), а равная единице — полной незащищенности участка сети.

На основе этого коэффициента рассчитывается показатель  $k^{нз(k)}$ , который характеризует пожарную опасность сети в целом и называется коэффициентом незащищенности электрической сети. Он должен рассчитываться для каждого вида КЗ, имеет граничные значения 0 и 1 и может быть определен как отношение суммы длин зон пережога к сумме длин всех участков сети:

$$k^{нз(k)} = \frac{\sum_{s=1}^S I_s^{нз(k)}}{\sum_{s=1}^S I_s}. \quad (2)$$

Учитывая, что пожарную опасность при дуговых коротких замыканиях представляют прежде всего участки электрической сети, для которых время пережога меньше времени срабатывания защиты (в этом случае защита не влияет на процесс пережога и пожароопасные факторы электрической дуги) в заданном диапазоне токов КЗ, можно поставить в соответствие эффект пережога до срабатывания защиты и развитие вследствие этого пожара.

Тогда вероятность пожара  $k^{нз(k)}$  от КЗ данного вида в течение времени  $T$  на s-м участке сети можно определить по формуле:

$$P_s^k(\Pi) = p_T^k k_s^{нз(k)} Q_y Q_3 Q_p Q_{тз}, \quad (3)$$

где  $p_T^k$  — вероятность возникновения КЗ на участке сети в течение времени  $T$ ;  
 $Q_y$  — вероятность сосредоточения пожароопасного вещества вблизи электропроводки;

$Q_p$  — вероятность перерастания возникшего загорания в пожар;

$Q_{тз}$  — вероятность отказа системы пожаротушения;

$Q_3$  — вероятность воспламенения пожароопасного вещества, включая горючую изоляцию.

В расчетах значения вероятностей  $Q_y, Q_3, Q_p$  и  $Q_{тз}$ , принимаются равными единице, поэтому  $P_s^k(\Pi)$  называется показателем пожарной опасности  $k$ -го вида короткого замыкания на  $s$ -ом участке электрической сети:

$$P_s^k(\Pi) = p_T^k k_s^{нз(k)}. \quad (4)$$

Величина этого показателя численно равна значению вероятности пожара на объекте при  $k$ -м виде короткого замыкания при условии, что перегрев электропроводки до срабатываний защиты обязательно приводит к пожару.

Используя коэффициент незащищенности электрической сети, можно определить показатель пожарной опасности  $k$ -го вида короткого замыкания для всей электрической сети рассматриваемого объекта по формуле

$$P^K(\Pi) = P_T^{K(k)} K^{нз(k)}, \quad (5)$$

где  $P_T^{K(k)}$  — вероятность КЗ  $k$ -го вида в электрической сети в течение времени  $T$ .

С учетом введенных показателей и допущения о том, что за время  $T$  пожар на объекте происходит от КЗ только на одном из участков сети, причем КЗ на всех участках равновероятны, в соответствии с теоремой умножения вероятностей может быть определен интегральный показатель пожарной опасности в электрической сети из-за короткого замыкания (независимо от его вида):

$$P(\Pi) = 1 - [1 - P^{K1}(\Pi)] \cdot [1 - P^{K2}(\Pi)] \cdot [1 - P^{K3}(\Pi)] \cdot [1 - P^{KK}(\Pi)], \quad (6)$$

где  $P^{K1}(\Pi)$ ,  $P^{K2}(\Pi)$ ,  $P^{K3}(\Pi)$ ,  $P^{KK}(\Pi)$  — соответственно показатели пожарной опасности однофазного, двухфазного, трехфазного КЗ и однофазного КЗ на открытые проводящие части (называемые далее «КЗ на корпус»).

Если вся сеть защищена устройством защитного отключения (УЗО), можно использовать следующую формулу:

$$P_O^P(\Pi) = 1 - [1 - P^{K1}(\Pi)] \cdot [1 - P^{K2}(\Pi)] \cdot [1 - P^{K3}(\Pi)], \quad (7)$$

Если УЗО установлены на отдельных участках сети, необходимо использовать формулу (6), в которой показатель пожарной опасности КЗ на корпус рассчитывают по следующему выражению:

$$P^{KK}(\Pi) = P_T^K K_{УЗО}^{H3(k)}, \quad (8)$$

где  $K_{УЗО}^{H3(k)}$  — коэффициент незащищенности сети при однофазных КЗ на корпус с учетом защиты отдельных участков устройствами защитного отключения. Этот коэффициент определяется по формуле:

$$K_{УЗО}^{H3(k)} = \frac{\sum_{s=1}^S I_s^{пр(к)} - \sum_{s=1}^S I_{s(УЗО)}^{пр(к)}}{\sum_{s=1}^S I_s}, \quad (9)$$

где  $I_s^{пр(к)}$  — длина зоны пережога s-го участка сети при однофазном КЗ на корпус и отсутствии в сети УЗО, м;

$I_{s(УЗО)}^{пр(к)}$  — длина зоны пережога s-го участка сети, защищенного УЗО при однофазном КЗ на корпус, м.

Показатели, определяемые по формулам (4) — (8), можно рассматривать в качестве количественной меры пожарной опасности электропроводок и использовать для оценки эффективности электрической защиты.

Таким образом, для повышения эффективности электрической защиты объектов АПК параметры системы электроснабжения 0,38 кВ, включая электропроводки во внутренней электрической сети, необходимо выбирать с учетом уровня токов короткого замыкания с целью достижения порогов срабатывания ЭР (или приближения к ним) автоматических выключателей, а систему защиты проектировать с учетом показателей пожарной опасности.

Очевидно, что предложенный подход связан с дополнительными затратами. Однако мероприятия по увеличению уровня токов КЗ одновременно повышают надежность электроснабжения и качество напряжения у потребителей, а также улучшают условия пуска мощных асинхронных электродвигателей. Благодаря повышению эффективности электрической защиты в ряде случаев снижается ущерб от перерывов электроснабжения и повреждений электрооборудования, уменьшается вероятность возникновения электропожаров.

Использование этих рекомендаций не позволяет определить единые требования к параметрам низковольтных электрических сетей. Требуется проведение

расчетов технических и экономических показателей для конкретных вариантов электроснабжения различного вида электропотребителей.

### Список использованной литературы

1. Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б. Оптимизация параметров и режимов работы городских электрических сетей : монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар. — Алматы : Эверо, 2016. — 176 с. — ISBN 978-601-310-762-2.
2. Повышение эффективности электроснабжения городских электрических сетей : Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар, А. П. Кислов, В. П. Марковский, М. Б. Кайдар. — Павлодар : Кереку, 2016. — 153 с. — ISBN 978-601-238-674-5.
3. Шапкенов Б., Калиев Б., Кайдар А. Теория и практика энергетических преобразователей : Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. — Изд. LapLambert Academic Publishing, Saarbrucken, Germany, 2014. — 461 с.
4. Правила устройства электроустановок Республики Казахстан (ПУЭ) : Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года № 230 «Об утверждении Правил устройства электроустановок» (с изменениями по состоянию на 25.12.2017 г.). — [Электронный ресурс]. — URL: <https://online.zakon.kz/Document>.
5. Об утверждении правил устройства электроустановок — Әділет.adilet.zan.kz > rus > docs > links : Приказ Министра энергетики Республики Казахстан от 20 марта 2015 года ... по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 12 июня 2018 года. — [Электронный ресурс]. — URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010851/links>.
6. Шапкенов Б. К., Сейтказин С. Б., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Сейтказин Ж.С. Қалалық электр желілерінің параметрлерімен жұмыс режимдерін оңтайландыру. Оқу құралы / Шапкенов Б. К., Сейтказин С.Б., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Сейтказин Ж.С. — Павлодар : Toraighyrov University, 2019. — 145 б. — ISBN 978-601-238-956-2.
7. Shapkenov B. K., Kaidar A. B., Kaidar M. B., Markovskiy V. P., Kislov A. P. The operational features and detailed control schemes of AC sub-microgrid, dc sub-microgrid and hybrid ac/dc microgrid, с.128-138. «XIX Сәтбаев оқулары» жас ғалымдар, магистранттар, студенттер мен мектеп оқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары Академик Қ. И. Сәтбаевтың 120 жылдығына арналған. — Павлодар : С. Торайғыров атындағы ПМУ, 2019. — ISBN 978-601-238-907-4. — Т. 21 «Жас ғалымдар». — 2019. — 420 б. ISBN 978-601-238-930-2

УДК 621.311

***Кайдар А. Б.<sup>1</sup>, Марковский В. П.<sup>2</sup>, Шапкенов Б. К.<sup>2</sup>, Талипов О. М.<sup>3</sup>,  
Макажанов Н. Е.<sup>4</sup>, Макажанов Е. Е.<sup>4</sup>***

<sup>1</sup> докторант Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, магистр техники и технологии, инженер-технолог компании «Альстом, ЭКЗ», г. Нур-Султан, Республика Казахстан;

<sup>2</sup> кандидат технических наук, профессор, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Республика Казахстан;

<sup>3</sup> PhD, ассоциированный профессор, НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Республика Казахстан;

<sup>4</sup> магистрант НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Республика Казахстан

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ВЕТРА

**Аннотация.** Анализ технической литературы и патентная проработка показала, что в направлении совершенствования ветроколес имеется масса разработок, но большинство из них, решая конкретную задачу, тем не менее обладают рядом характеристик, не позволяющих эффективно применять их для климатических условий Павлодара с ветрами, изменяющимися от штилевого до штормового.

**Ключевые слова:** ветрогенераторы, энергия ветра, ветроколесо, ветротехника.

***Kaydar A. B.<sup>1</sup>, Markovskii V. P.<sup>2</sup>, Shapkenov B. K.<sup>2</sup>, Talipov O. M.<sup>3</sup>,  
Makazhanov N. E.<sup>4</sup>, Makazhanov E. E.<sup>4</sup>***

<sup>1</sup> doctoral student of the Kazakh Agrotechnical University named after. S. Seifullina, Master of Engineering and Technology, process engineer of Alstom, EKZ, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup> PhD, Professor, NAO Toraigyrov University, Pavlodar Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup> PhD, associate professor, NAO Toraigyrov University, Pavlodar Republic of Kazakhstan;

<sup>4</sup> Master student NAO Toraigyrov University, Pavlodar Republic of Kazakhstan

## INCREASING THE EFFICIENCY OF WIND STREAM ENERGY USE

**Abstract.** An analysis of the technical literature and patent study showed that there are a lot of developments in the direction of improving wind turbines, but most of them, while solving a specific problem, nevertheless have a number of characteristics that do not allow them to be effectively applied to the climatic conditions of Pavlodar with winds varying from calm to stormy.

**Keywords:** wind turbines, wind energy, wind wheel, wind technology.

Основной проблемой ветрогенераторов является то, что они работают в узком диапазоне скоростных характеристик ветрового потока, а именно с 4-6 м/с до 11-14 м/с. При скорости ветра ниже 3 м/с у ветрогенератора или не вращаются колеса, или если вращаются, то ветрогенератор не может развить паспортную мощность. При скоростях ветра свыше 14 м/с необходимо ограничивать во избежание повреждений скорость вращения лопастей ветрогенератора балластными сопротивлениями или механическими способами вроде изменения угла атаки лопасти или жесткой фиксации лопасти и т. п.

Известно ветроколесо парусного типа [1], содержащее ступицу с трубчатыми спицами, на которых закреплены лопасти в виде треугольника, которые выполнены в виде парусных оперений. Их вершина размещена у ступицы, а основание соединено с натяжной тягой, которая соединена с упругими элементами, ослабляющих силу натяжения парусных оперений при порывах ветра. Конструкция ветроколеса позволяет обеспечить безопасность от поломок при внезапных резких порывах ветра.

Недостатком данного ветроколеса является низкий коэффициент использования энергии ветра по причине отсутствия устройства, усиливающего скорость потока ветра, направляемого на лопасти.

Известно также ветроколесо [2], содержащее криволинейные лопасти, связанные при помощи стержней с втулкой. Ветроколесо снабжено осью и коническим обтекателем, втулка установлена на оси с возможностью вращения, обтекатель закреплен на оси с наветренной стороны и обращен основанием к лопастям, причем диаметральный расстояние между лопастями превышает диаметр основания обтекателя. Ось имеет с одной стороны обтекатель, с другой — флюгер и поворотную опорную часть, установленную на стойке.

Недостатком ветроколеса является низкий коэффициент использования энергии ветра за счет того, что при диаметральном расстоянии между лопастями, большем диаметра основания обтекателя, часть потока ветра проходит в зазоре, минуя лопасти и не совершая работы, а также отсутствие устройства, позволяющего передавать кинетическую энергию ветроколеса для дальнейшего преобразования в полезную работу.

Наиболее близким к изобретению по технической сущности и достигаемому результату является ветроколесо с осью вращения, совпадающей с направлением ветра [3], содержащее связанный с осью жесткий каркас с выступающими из него наклоненными вперед, на ветер, стержнями, являющимися осями лопастей. Лопасти навешены на оси несимметрично так, что большая часть лопасти расположена с подветренной стороны, массы частей сбалансированы относительно оси. Каждая лопасть связана с каркасом пружиной кручения с возможностью отклонения. Каркас спереди закрыт направленным вершиной вперед



конусом. На наружной боковой поверхности конуса укреплены жесткие лопатки, опоясанные по окружности основания конуса цилиндром с окнами напротив каждой лопатки.

Недостатком ветроколеса является то, что расположение лопаток и окон в цилиндре не обеспечивает эффективное использование энергии дополнительного потока ветра, направляемого конусом и лопатками через окна цилиндра на лопасти, а также неэффективно используется энергия основного потока ветра по причине наличия пустот между лопатками.

В связи с этим автором поставлена задача — разработать ветроколесо с повышенным коэффициентом использования кинетической энергии ветра в широком диапазоне скоростей ветра.

Техническим результатом является более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра и надежность работы конструкции ветроколеса.

Это достигается за счет того, что в известном ветроколесе с осью вращения, совпадающей с направлением ветра, содержащем связанный с осью жесткий и закрытый направленный вершиной вперед конусом каркас, с выступающими из него стержнями с насаженными на них сбалансированными лопастями, связанными пружинами кручения с каркасом, предлагается ось вращения ветроколеса закрепить в поворотно-опорном механизме с возможностью вращения. Каркас выполнить из изогнутых под прямым углом стержней с навешенными на них посредством трубок криволинейными лопастями по всей площади ометания. Криволинейные лопасти снабдить блоками с пропущенными через них тросами, соединенными с грузами, насаженными на прямых стержнях с возможностью перемещения по ним, а пружины кручения установить на изогнутых стержнях, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям.

Автором получен патент [4] на изобретение на устройство ветроколеса с осью вращения, совпадающей с направлением ветра, со следующей формулой изобретения.

Ветроколесо с осью вращения, совпадающей с направлением ветра, содержащее связанный с осью жесткий и закрытый направленный вершиной вперед конусом каркас, с выступающими из него прямыми стержнями с насаженными на них сбалансированными лопастями, связанными пружинами кручения с каркасом, отличающееся тем, что ось вращения ветроколеса закреплена в поворотно-опорном механизме с возможностью вращения, каркас выполнен из изогнутых под прямым углом стержней и навешенными на них посредством трубок криволинейными лопастями по всей площади ометания, при этом криволинейные лопасти снабжены блоками с пропущенными через них тросами, соединенными с грузами, насаженными на прямых стержнях с возможностью перемещения по ним, а пружины кру-

чения установлены на изогнутых стержнях каркаса, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям.

Изобретение поясняется чертежами.

На рис. 1 изображено ветроколесо, вид сбоку.

На рис. 2 изображено ветроколесо, вид спереди со стороны обтекателя.

На рис. 3 изображено сечение А-А ветроколеса на рис. 1.

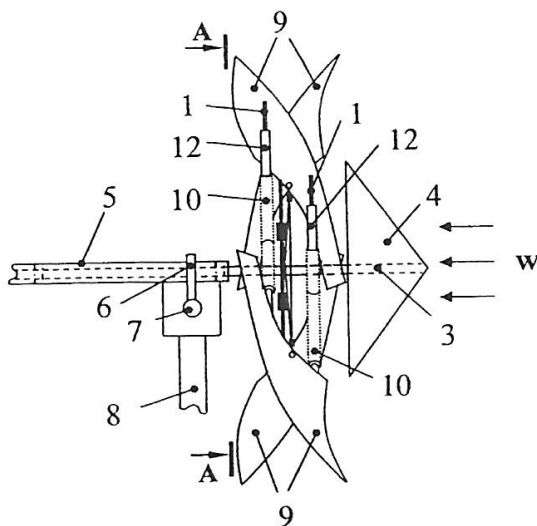


Рисунок 1. Ветроколесо, вид сбоку (Инновационный патент РК № 26105 авторов, 14.09.12, бюл. № 9)

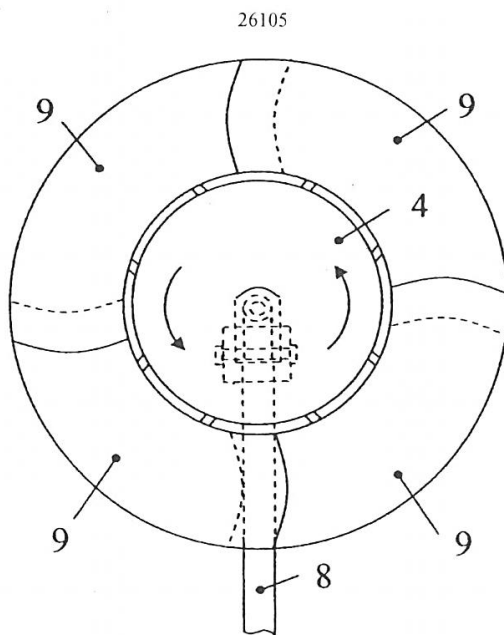


Рисунок 2. Ветроколесо, вид спереди со стороны обтекателя (Инновационный патент РК № 26105 «Ветроколесо», авторы: Дробинский А. В., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., 14.09.12, бюл. № 9)

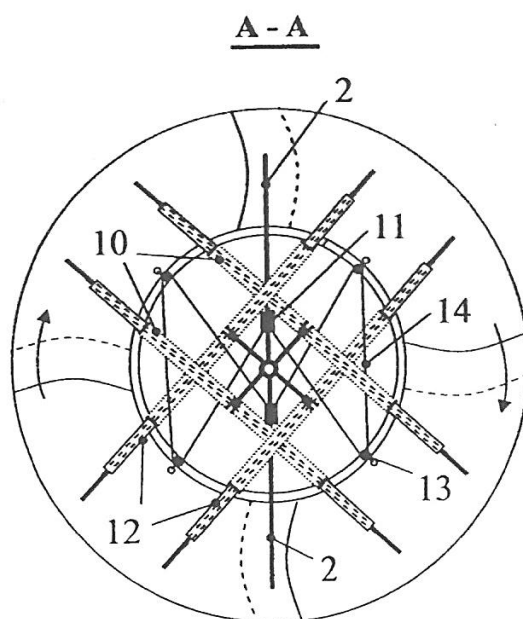


Рисунок 3. Сечение А-А ветроколеса на рисунке 1  
(Инновационный патент РК № 26105 «Ветроколесо», авторы: Дробинский А. В.,  
Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б., 14.09.12, бюл. № 9)

Ветроколесо содержит каркас, выполненный из восьми изогнутых под прямым углом стержней 1, два выступающих из каркаса прямых стержня 2, жестко скрепленных с осью 3. Каркас с наветренной стороны закрыт конусом 4, жестко закрепленным на оси 3, установленной в трубе 5, жестко прикрепленной посредством скобы 6 к поворотнo-опорному механизму 7 с возможностью вращения. Поворотнo-опорный механизм 7 установлен на стойке 8. На изогнутых стержнях 1, на участках, примыкающих к криволинейным лопастям 9, установлены пружины кручения 10 с возможностью перемещения их по стержням 1 при сжатии и растяжении. На прямых стержнях 2 навешены грузы 11 с возможностью перемещения в радиальном направлении. Криволинейные лопасти 9 установлены с наклоном относительно оси 3, жестко скреплены с направляющими трубками 12, насаженными на изогнутые стержни 1, и снабжены блоками 13. К грузам 11 через блоки 13 прикреплены тросы 14.

Ветроколесо работает следующим образом. Ветровой поток поступает на криволинейные лопасти 9 и на конус 4. На поверхности конуса 4 происходит увеличение скорости потока ветра, поступающего на криволинейные лопасти 9. Силы основного потока ветра и потока ветра, направляемого конусом 4, действуют равномерно по всей длине криволинейных лопастей 9. Возникающие силы создают вращающий момент на оси 3, приводя ее во вращение. При высоких скоростях потока ветра под воздействием центробежной силы грузы 11 радиально переме-

шаются по прямым стержням 2 от оси 3 к периферии, тем самым через тросы 14 и блоки 13 перемещая криволинейные лопасти 9 к оси вращения 3. В результате происходит уменьшение суммарной площади поверхностей криволинейных лопастей 9, воспринимающих ветровой поток, и снижается скорость вращения ветроколеса, что позволяет предотвратить поломку конструкции от воздействия потока ветра с высокой скоростью. При снижении скорости потока ветра лопасти 9 под воздействием сил упругости пружин 10, двигаясь по стержням 1, возвращаются в первоначальное положение, соответствующее положению, когда ветроколесо не вращается.

### **Выводы**

Предлагаемое ветроколесо с автоматически изменяющейся геометрией лопастей позволяет использовать максимум энергии потока ветра, повышает коэффициент использования его энергии, а получаемая кинетическая энергия вращающейся оси может быть полезно использована, например, в качестве привода различных механизмов или генераторов энергии.

Техническим результатом является более эффективное использование энергии ветра, возможность выработки механической энергии при низких, средних и высоких скоростях ветра и надежность работы конструкции ветроколеса.

По изобретению автором получен патент Республики Казахстан № 26105 «Ветроколесо», который зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан 03.08.2012 г., бюл. № 9, 14.09.12.

Изобретение относится к ветротехнике, связано с использованием кинетической энергии ветра как альтернативного источника энергии и может быть использовано в ветродвигателях различного назначения и мощности с осью вращения ротора, совпадающей с направлением ветра, а также в качестве привода в экологически чистых альтернативных источниках энергии.

### **Список использованной литературы**

1. Патент РФ 2373425 F03D1/06. Ветроколесо. Баталов С. С., опубл. 20.11.2009. — FindPatent.ru.
2. Патент СССР №1790735, F03D1/06/ Ветроколесо. Стребков В.П., опубл. 23.01.1993. — FindPatent.ru.
3. Патент РФ 2391555, F03B 1/06, опубл. 10.06. 2010. — FindPatent.ru.
4. Инновационный патент РК № 26105 на изобретение «Ветроколесо» / Дробинский А. В., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. 14.09.12, бюл. № 9.

УДК 621.311

*Кайдар А. Б.<sup>1</sup>, Марковский В. П.<sup>2</sup>, Шапкенов Б. К.<sup>2</sup>, Абдрахманов Б. Т.<sup>3</sup>,  
Мусекенова Г. О.<sup>3</sup>, Жанбырбаев А. Р.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> докторант Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, магистр техники и технологии, инженер-технолог компании «Альстом, ЭКЗ», г. Нур-Султан;

<sup>2</sup> кандидат технических наук, профессор, НАО «Торайгыров университет», Павлодар;

<sup>3</sup> магистр, старший преподаватель НАО «Торайгыров университет», Павлодар;

<sup>4</sup> магистрант НАО «Торайгыров университет», Павлодар

## МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА С ОДНО- И ДВУХКОЛЕСНЫМИ ТУРБИНАМИ

**Аннотация.** Для снижения трудозатрат при разработке ветроколес с улучшенными энергетическими показателями необходимо выполнять моделирование. Анализ показывает, что классическая теория реального воздушного потока возможна для определения мощностных и силовых параметров [1, С. 51]. При моделировании ветроколес возникает проблема вихревых потоков, которая существенно усложняет оценку параметров. При моделировании двух ветроколес, к тому же встречно вращающихся, оценка энергетических параметров ветроустановок становится проблемой.

**Ключевые слова:** ветрогенераторы, энергия ветра, ветроколесо, ветротехника.

*Kaydar A. B.<sup>1</sup>, Markovsky V. P.<sup>2</sup>, Shapkenov B. K.<sup>2</sup>, Abdrakhmanov B. T.<sup>3</sup>,  
Musekenova G. O.<sup>3</sup>, Zhanbyrbayev A. R.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> doctoral student of the Kazakh Agrotechnical University named after. S. Seifullina, master of engineering and technology, process engineer of the Alstom, EKZ company, Nur-Sultan;

<sup>2</sup> of Technical Sciences, Professor, NJSC Toraigyrov University, Pavlodar;

<sup>3</sup> Master, Senior Lecturer, NJSC Toraigyrov University, Pavlodar;

<sup>4</sup> master student of the NJSC «Toraigyrov University», Pavlodar

## MODELS OF WIND FLOW INTERACTION WITH ONE- AND TWO-WHEEL TURBINES

**Abstract.** To reduce labor costs in the development of wind turbines with improved energy performance, it is necessary to perform simulation. The analysis shows that the classical theory of real airflow is possible to determine the power and force parameters [1, p.51]. When modeling wind wheels, the problem of vortex flows arises, which significantly complicates the estimation of parameters. When modeling two wind turbines, which are also counter-rotating, the estimation of the energy parameters of wind turbines becomes a problem.

**Keywords:** *wind turbines, wind energy, wind wheel, wind technology.*

Допущения, принимаемые при моделировании идеальных ветроколес, следующие: число лопастей бесконечно, ширина лопастей минимальна, ось вращения ветроколеса и ветрового потока совпадают, профильное сопротивление лопастей равно нулю, а циркуляция потока вдоль лопасти постоянна, потерянная скорость потока на ветроколесе постоянна по всей сметаемой поверхности ветроустановки, угловая скорость стремится к бесконечности.

На рисунке 1 а и б приведены модели взаимодействия ветрового потока с одноколесными ветротурбинами, где  $V_0$  — скорость ветрового потока до ветроколеса,  $V_1$  — скорость ветрового потока после ветроколеса с сечением  $A_1$ ,  $V_2$  — скорость ветрового потока после ветроколеса на удалении от него и т. д. На рис. 1 а–г:  $W_0, W_1, W_2, W_3, W_4$  — давление и  $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4$  — скорость в потоке воздуха на различных участках в сечениях  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, X$  — расстояние.

Кинетическая энергия ветра  $P_0$  с учетом плотности  $\rho$  массы воздуха  $m = \rho A_1 V_0$ :

$$P_0 = \frac{mV_0^2}{2} = \frac{\rho A_1 V_0^3}{2}. \quad (1)$$

Через величину секундной работы в сечении  $A_1$  (рисунок 1) идеального ветряка  $T_1 = P_0 (V_0 - V_1)$  определим коэффициент идеального ветряка  $K_{изв} = \zeta$ :

$$K_{изв} = \zeta = \frac{P_0 (V_0 - V_1)}{A_1 \frac{\rho V_0^3}{2}} = 2 \frac{P_0}{A_1 \rho V_0^2} \frac{V_0 - V_1}{V_0}$$

где  $2 \frac{P_0}{A_1 \rho V_0^2}$  — коэффициент нагрузки.

Коэффициент мощности или отношение отобранной мощности ветроколесом к обладающей мощности ветрового потока  $c_p$ :

$$c_p = \frac{2\rho A_1 (V_0 - V_1) 2V_1}{\rho A_1 V_0^3} = \frac{4(V_0 - V_1)V_1}{V_0^3}.$$

Обозначая отношение скоростей  $\frac{V_1}{V_0}$  через коэффициент торможения (физическая суть — относительное торможение потока)  $\alpha$  как  $\frac{V_1}{V_0} = \alpha$  и сокращая получим коэффициент мощности  $C_p$ :

$$C_p = 4\alpha(1-\alpha)^2.$$

Из теории идеального ветряка [2, С. 47–54] при изменении коэффициента торможения максимального значения  $C_{p\max}$  (критерий Бетца) достигает при  $\alpha = 1/3$ :

$$C_{p\max} = \frac{16}{27} = 0,59.$$

Из этого следует, что единичное ветроколесо может отобрать только 59% мощности воздушного потока.

На рисунке 1 в и г приведены модели взаимодействия ветрового потока с двухколесными ветротурбинами.

Мощности ветроколес определяются по (1) согласно обозначениям рисунков 1 в и г, но с учетом критерия Бетца  $C_{p\max}$ :

$$P_1 = \frac{mV_0^2}{2} = \frac{\rho A_1 V_1^3 C_{p1}}{2} \text{ и } P_2 = \frac{mV_1^2}{2} = \frac{\rho A_2 V_2^3 C_{p2}}{2}. \quad (2)$$

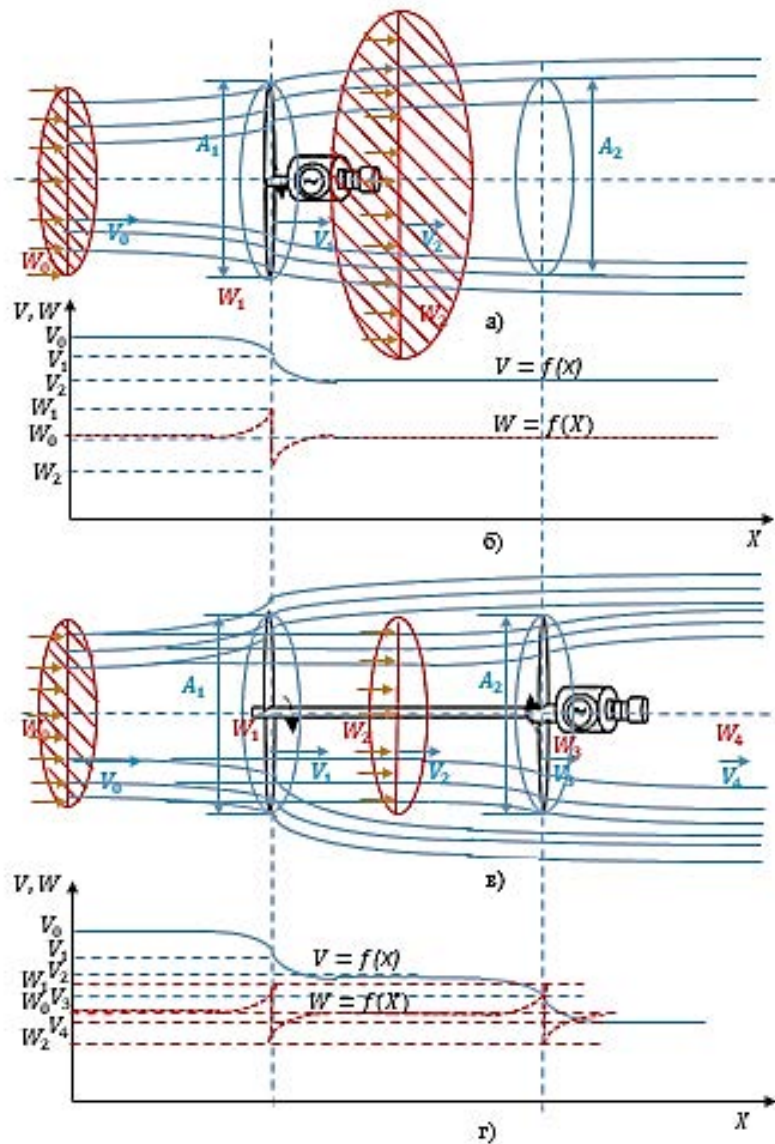


Рисунок 1. Модели взаимодействия ветрового потока с ветротурбинами

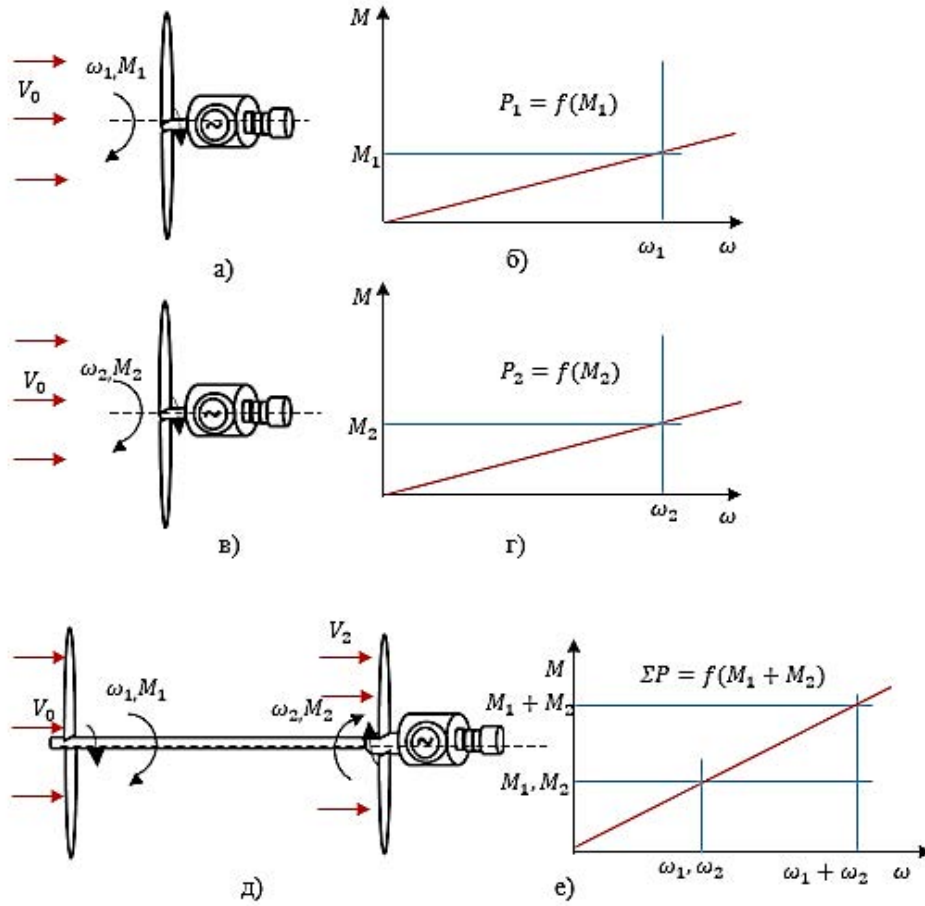


Рисунок 2. Модели взаимодействия ветрового потока с одно- и двухколесными турбинами

Зависимости мощностей ( $P_1 = M_1 \omega_1$ ), развиваемых ветроколесами (приведены на рисунке 2), определяются:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_1}; M_2 = \frac{P_2}{\omega_2}; \text{ и } \Sigma M = M_1 + M_2 = \frac{\rho A_1 V_1^3 C_{p1}}{2\omega_1} + \frac{\rho A_2 V_2^3 C_{p2}}{2\omega_2}. \quad (3)$$

Суммарная угловая скорость определяется как  $\omega_2 = |\omega_1| + |\omega_2|$ , то есть складывается по модулю каждой отдельной угловой скорости.

Экспериментальные исследования на физической модели (рисунок 3) показали, что соотношения 2 и 3 выполняются. Экспериментальный образец запатентован [4] и апробирован [5].

Теория идеального ветряка профессора постулирует, что невозможно использовать энергию ветра больше чем на 59 %.

Но в теории профессора идет речь об одном ветряке. В статье и в патенте предложено устройство, содержащее два ветряка, работающих на один генератор. Одно ветроколесо вращает ротор в одном направлении, а другое ветроколесо вращает статор в противоположном направлении.





Рисунок 3. Физическая модель взаимодействия ветрового потока с ветротурбинами

Поэтому в предлагаемом ветрогенераторе коэффициент использования энергии ветра выше критерия Бетца.

При расстоянии между лопастями, как показали экспериментальные исследования,  $X = 3R$  ( $R$  — длина лопасти) взаимное влияние лопастей при скоростях ветра 5–10 м/с не существенно.

При расстояниях между лопастей меньше  $3R$  возникает эффект вентилятора от первого ветроколеса на второе ветроколесо, что, с одной стороны, увеличивает тангенциальное воздействие на второе ветроколесо и увеличивает его угловую скорость, с другой стороны, имеет место эффект рассеивания потока от первого ветроколеса за пределы ометаемой площади второго ветроколеса, что снижает угловую скорость второго ветроколеса.

В экспериментах был использован синхронный однофазный генератор на постоянных магнитах.

Эксперименты проводились в реальных условиях при скорости ветра около 8 м/с с порывами до 15 м/с. Замечено, что момент трогания у ветроколеса, установленного на роторе, меньше, чем у ветроколеса, установленного на статоре. Это объясняется тем, что диаметр ротора и статора не совпадают, поэтому они и создают разные моменты сопротивления.

## Выводы

Математические модели ветроколес показывают, что моменты вращения ветроколес и их относительные угловые скорости в разработанном устройстве складываются.

Экспериментальные исследования на физической модели показали, что соотношения 2 и 3 выполняются. Экспериментальный образец запатентован патентом РК [3] авторами и апробирован [5, 6].

Применение разработанного ветрогенератора повысит эффективность запатентованного устройства в зависимости от конструкции и скоростей ветра примерно в 2 раза.

## Список использованной литературы

1. Обозов А. Дж., Мамыркулов К. М и др. К вопросу создания ВЭУ с системой автоматического регулирования выходных электрических параметров // Математическое моделирование и проблемы автоматизации : Тез. докл. конф. — Фрунзе, 1990. — С. 51.
2. Сабинин, Г. Х. Теория идеального ветряка / Г. Х. Сабинин // Труды ЦАГИ, 1927. — Вып. 32 — С. 47–54.
3. Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. Инновационный Патент на изобретение. Ветрогенератор со встречновращающимися ветроколесами. Номер инновационного патента: 31254. Опубликовано : 15.06.2016.
4. Инновационный патент РК № 26105 на изобретение «Ветроколесо», авторы: Дробинский А. В., Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. 14.09.12, бюл. № 9.
5. Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П., Талипов О. М. Повышение энергетической эффективности систем преобразования энергии для ветроэнергетики. Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России [Электронный ресурс] : сборник статей II Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. — Москва : Издательство «Знание-М», 2021. — С. 284–292. — 368 с. — ISBN 978-5-00187-067-8. — DOI 10.38006/00187-067-8.2021.1.370.
6. Sheryazov SK, Issenov SS, Iskakov RM, Kaidar AB. The main types of wind turbines-generators in the power supply system // «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики», Казанский государственный энергетический университет, т. 23. — 2021.— № 5. — С. 24-34. — ISSN 1998–9903 (Print), ISSN 2658-5456 (Online).

УДК 621.315.615

***Чирков В. А., Гуленко И. А., Самусенко А. В.***

Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

## ДИАГНОСТИКА СТАРЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

*г. Санкт-Петербург*

**Аннотация.** В данной работе представлены предварительные результаты о возможности диагностики изменения состояния трансформаторных масел на основе измерения так называемых динамических вольт-амперных характеристик. Для измерений используется система электродов лезвие-плоскость, которая характеризуется сильно неоднородным распределением электрического поля. Напряжение линейно изменяется от времени от нуля до максимального значения, и обратно, и регистрируются токи. Показано, что высоковольтная проводимость системы может изменяться со временем, что нельзя заметить при измерениях в низковольтном диапазоне.

**Ключевые слова:** *высоковольтная проводимость, слабопроводящие жидкости, сильнонеоднородное электрическое поле.*

***Chirkov V. A., Gulenko I. A., Samusenko A. V.***

St. Petersburg State University, St. Petersburg

## DIAGNOSTICS OF AGING OF TRANSFORMER OILS BASED ON DYNAMICAL CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS

*St. Petersburg*

**Abstract.** The paper presents preliminary results on the possibility of diagnosing changes in the state of transformer oils based on the measurement of the so-called dynamical current-voltage characteristics. For measurements, a blade-plane electrode system is used, which is characterized by a highly non-uniform electric field distribution. The voltage changes linearly with time from zero to the maximum value and back, and the currents are recorded. It is shown that the high-voltage conductivity of the system can change with time, which cannot be noticed when measuring in the low-voltage range.

**Keywords:** *high-voltage conductivity, low-conducting liquids, highly non-uniform electric field.*

## Введение

Диагностика диэлектрических жидкостей, используемых в высоковольтном маслонаполненном оборудовании (в особенности в силовых трансформаторах), до сих пор представляет актуальную проблему. Необходимо заблаговременно выявлять ухудшение электрических характеристик масел (что часто называют «старением», или «деградацией»), чтобы избежать полного пробоя изоляции [7]. Последнее очень опасно, поскольку пробой может привести к взрыву, пожару и нанесению вреда здоровью персонала. Очевидным решением этой проблемы кажется частая замена масла. Но поскольку в силовых трансформаторах используются большие объёмы масел и т. к. трансформаторные масла не биоразлагаемы, утилизация использованного масла в таких объёмах представляет большую проблему. Помимо очевидного вреда для природы, замена таких объёмом масел имеет высокую стоимость.

Многие подходы, такие как анализ влагосодержания, анализ растворённых газов, степень полимеризации [8], посвящены контролю лишь косвенных индикаторов старения масел. В свою очередь, измерение высоковольтной проводимости системы может стать альтернативой этим методам, поскольку последняя напрямую зависит от процессов зарядообразования, лежащих в основе предпробойных процессов и пробоя. Более того, высоковольтные процессы более чувствительны к малейшим изменениям состава жидкости, в отличие, например, от удельной электрической проводимости или тангенса угла диэлектрических потерь.

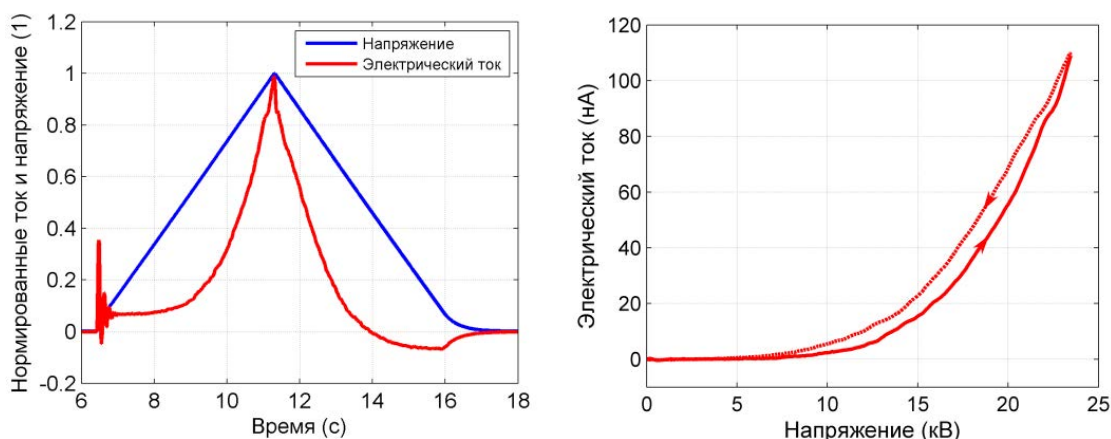


Рисунок 1. Пример измеренных нормированных на максимальные значения осциллограмм напряжения и тока (слева) и пример получающейся ДВАХ после пост-обработки, описанной ниже (справа)

Обычно электрическую проводимость системы измеряют пошагово, т. е. последовательно изменяя напряжения и проводя измерения после окончания пере-

ходных процессов, получая вольт-амперную характеристику. Однако во многих случаях электрические токи, протекающие сквозь слабопроводящую жидкость при постоянном напряжении, значительно изменяются со временем и практически могут не иметь стационарного состояния [1]. В подобных случаях иногда используют ампер-секундные характеристики, или, как их также иногда называют, ампер-временные. В свою очередь, измерения проводимости можно проводить в переходном режиме — при приложении переменного во времени электрического поля [5; 6], в частности, с помощью пилообразной модуляции напряжения, т. е. снимать так называемые динамические вольт-амперные характеристики (ДВАХ) [2; 3; 4] (рисунок 1).

Ранее метод ДВАХ применялся редко из-за сложности интерпретации и анализа результатов. Однако разработка численных моделей соответствующих процессов и накопление экспериментальной базы для новых (не состаренных) жидкостей позволили перейти к изучению реальных трансформаторных масел, используемых в силовых трансформаторах.

Цель настоящей работы — проверить, можно ли использовать ДВАХ для диагностики старения трансформаторных масел. Такой подход, с одной стороны, представляется сложнее с точки зрения интерпретации данных, поскольку результатом его применения является не просто число, как при других подходах, а зависимость от напряжения (и при серии повторных измерений ещё и от времени). С другой стороны, проведение измерений делается очень быстро, и наличие расширенного набора данных в разрезе времени и напряжений позволяет выявить те особенности, которые почти не могут быть диагностированы другими методами.

### **Экспериментальная установка**

Для измерений использовалась установка, схематично представленная на рисунке 2. Она состоит из управляемого высоковольтного источника (ВВИ), генератора сигналов (ГС), высоковольтного фильтра низких частот, делителя напряжения, измерительной ячейки (ИЯ), измерительного сопротивления, двух аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и компьютера (ПК). Была рассмотрена электродная система лезвие-плоскость с сильнонеоднородным распределением электрического поля, поскольку она может создавать предпробойные электрические поля внутри масла. Последнее необходимо для усиления процессов переноса заряда и проверки наличия высоковольтных механизмов формирования заряда в изучаемом образце жидкости. Электрод-плоскость состоит из трёх частей — центральной (измерительной) и двух боковых (охранных), чтобы минимизировать влияние краевых эффектов. Межэлектродное расстояние — 1 см, ширина ячейки — 4 см,

длина измерительной плоскости — 3 см, радиус закругления острия лезвия — 10 мкм, объём масла — 40 мл.

Напряжение модулировалось треугольным сигналом с амплитудой около 25 кВ и скоростью изменения напряжения 5 кВ/с. Скорость изменения напряжения и полярность являются параметрами и могут варьироваться по необходимости. Измеряемый ток ( $I$ ) состоит из двух компонент — ёмкостной ( $I_e$ ) и ионной ( $I_i$ ):

$$I = I_e + I_i.$$

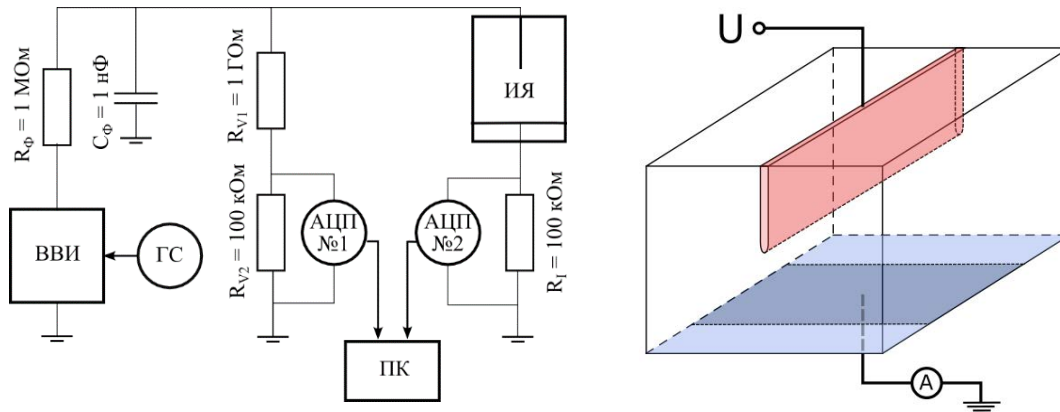


Рисунок 2. Блок-схема экспериментальной установки (слева) и измерительной ячейки (справа)

Первая компонента связана с тем, что к системе прикладывается изменяющееся напряжение, и в электрической цепи протекает ток:

$$I_e = C \, dV/dt,$$

где  $C$  — это ёмкость системы электродов,  $V$  — напряжение,  $t$  — время. Эта компонента тока не связана с движением ионов в межэлектродном промежутке и определяется геометрией системы электродов и диэлектрической проницаемостью жидкости, тогда как основной интерес для диагностики состояния масел представляет ионная компонента тока. Именно она зависит от наличия примесей в жидкости, и её повышение сигнализирует о повышении риска электрического пробоя межэлектродного промежутка. На последующих графиках (а также на рисунке 1, справа) на ДВАХ показывается только ионная компонента тока, а ёмкостная всегда вычитается из полного тока и исключается из рассмотрения. Для определения ёмкости ячейки перед началом каждой модуляции напряжения треугольным сигналом прикладывается короткий импульс напряжения, который позволяет опреде-

лить электрическую ёмкость системы на основе осциллограмм тока и напряжения, а также оценить значение диэлектрической проницаемости жидкости.

### Основные результаты

Рассмотрим результаты снятия ДВАХ для образца трансформаторного масла, взятого из бака трансформатора ТМ-250/10 (ТТУ-А1, 400 кВА). На рисунке 3 показаны три примера результатов измерений при отрицательной полярности, снятых в разное время и с разной скоростью модуляции (от 1,5 до 5 кВ/с). Как видно из графиков, все ДВАХ накладываются друг на друга, имеют ярко выраженный линейный участок, а максимальные токи составляют около 8 нА (при напряжении 23 кВ). При этом нелинейный «высоковольтный» участок здесь практически не проявляется. Небольшая зашумлённость графиков обусловлена малостью токов, из-за чего регистрируемый сигнал был близок к нижнему пределу разрешающей способности измерительного оборудования.

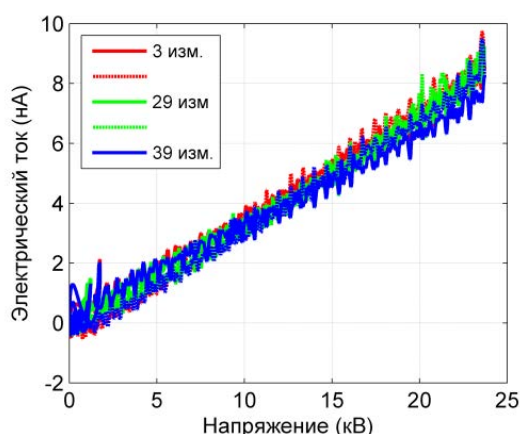


Рисунок 3. Несколько ДВАХ для образца трансформаторного масла (№ 797) при отрицательной полярности и температуре 25° С

Для этой жидкости также был вычислен тангенс угла диэлектрических потерь на основе оценки значений диэлектрической проницаемости (по измерению электрической ёмкости) и удельной электрической проводимости. Последнее было сделано на основе численного моделирования геометрического фактора, т. е. коэффициента, связывающего интегральное значение сопротивления на линейном участке ДВАХ и удельное электрическое сопротивление. Полученное значение  $\text{tg}\delta = 0,1\%$  (при 25° С). Этот же образец был испытан в соответствии с ГОСТ 6581-75, и его параметры оказались в пределах нормы.

Далее на рисунке 4 показаны результаты для другого образца трансформаторного масла из другого силового трансформатора. В этом масле присутствовали мелкие механические примеси с характерным размером порядка 10 мкм. На рисунке 4 (слева) показаны пять последовательно снятых ДВАХ. Во всех случаях линейный «низковольтный» участок практически отсутствует (накладывается на ось абсцисс в выбранном масштабе и с учётом разрешающей способности измерительного оборудования 0,2 нА). При этом токи на нелинейном «высоковольтном» участке ДВАХ очень высоки и имеют порядок 100 нА. Если диагностировать состояние такого образца по значению удельной (низковольтной) электрической проводимости (в соответствии с ГОСТ 6581-75), то такое масло можно было бы классифицировать как очень хороший диэлектрик. Однако при нахождении в сильном электрическом поле, создаваемом заострённым электродом, в таком масле активировалось высоковольтное зарядообразование, которое может стать причиной пробоя.

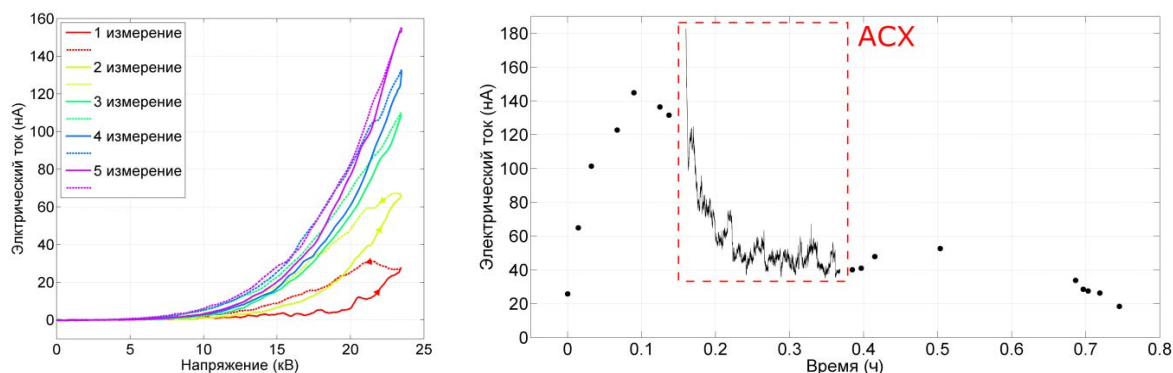


Рисунок 4. Несколько последовательных ДВАХ для образца трансформаторного масла из силового высоковольтного трансформатора (слева: номер на графике показывает номер измерения от 1 до 5), а также срез по времени уровня токов при напряжении 23 кВ (справа); точки — значения из ДВАХ, сплошная кривая — ампер-секундная характеристика

Другой особенностью данного образца является временная нестабильность высоковольтной проводимости системы. Более подробно эта нестабильность показана на рисунке 4 (справа). Точки на графике соответствуют срезу токов на измеренных ДВАХ на уровне 23 кВ, а сплошная линия (во временном диапазоне от 0,15 до 0,4 часа) — это ампер-секундная характеристика (при том же напряжении). В этой системе наблюдается некая активация, а затем пассивация процессов высоковольтного зарядообразования. Причём соответствующая нестационарность проявляется под воздействием электрического поля. Если диагностировать старение подобного образца без воздействия напряжением, например, методом анализа



растворённых газов, то высока вероятность того, что соответствующая активация не произойдёт и образец будет возможно ошибочно классифицирован как безопасный для дальнейшей эксплуатации.

Многие экспериментальные ДВАХ демонстрируют нестабильности электрического тока — во многих случаях имеются флуктуации, даже если исследуемая жидкость чистая, т. е. не содержит механических примесей. Одной из возможных причин является наличие растворенных газов. Для проверки этого предположения было исследовано влияние дегазации. Образец масла помещали в вакуум (значение давления около 100 Па) на 360 минут; площадь поверхности составляла 40 см<sup>2</sup>, а высота жидкости — 1 см. На рисунке 5 представлено по 2 пары ДВАХ, наблюдаемых до (слева) и после (справа) дегазации. Оба набора ДВАХ были измерены примерно через два часа после заполнения ячейки, чтобы избежать искажения данных из-за переходного процесса, показанного на рисунке 4. На рисунке 5 (слева) видны сильные нестабильности электрического тока на высоковольтном участке. В свою очередь, после дегазации ситуация иная — наблюдаемые кривые гораздо более плавные (рисунке 5, справа). Важно подчеркнуть, что соответствующие различия проявляются только на высоковольтном участке, тогда как при умеренных напряжениях различия не видны.

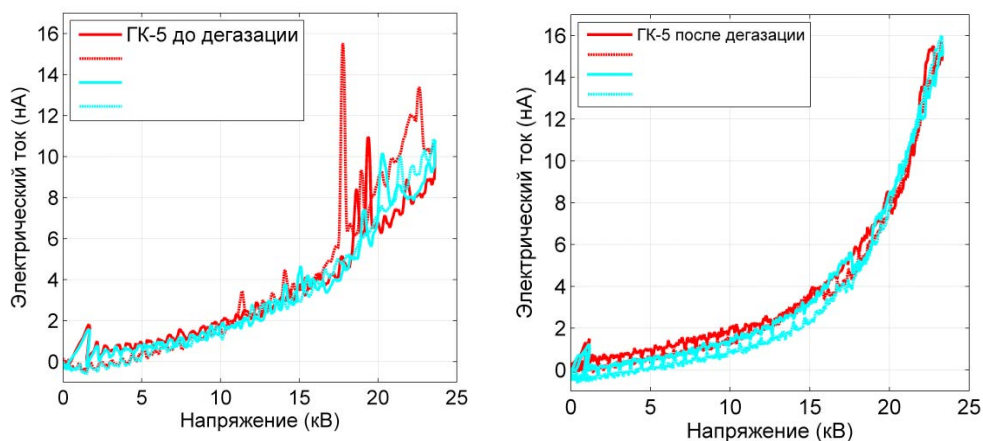


Рисунок 5. Две пары ДВАХ, наблюдаемых до дегазации (слева) и после неё (справа)

## Выводы

Методика диагностики старения трансформаторных масел на основе измерения динамических вольт-амперных характеристик позволяет выявлять изменения свойств жидких диэлектриков. Основными особенностями подобного подхода являются значительное контрастирование процессов токопрохождения (за счёт ре-

гистрации высоковольтных участков) и возможность регистрации временных изменений высоковольтной проводимости по всему интересующему диапазону напряжений. Помимо прочего, данная методика, по предварительным данным, обладает чувствительностью к дегазации образцов, что может использоваться как индикатор наличия роли растворённых газов в предпробойных процессах.

### Список использованной литературы

1. Жакин А. И., Приэлектродные и переходные процессы в жидких диэлектриках // Успехи физических наук. — 2006. — № 3. — С. 289–310.
2. Стишков Ю. К., Остапенко А. А. Электродинамические течения в жидких диэлектриках. — Ленинград : Издательство ЛГУ. — 1989. — 174 с.
3. Стишков Ю. К., Чирков В. А., Ситников А. А. Динамические вольтамперные характеристики слабопроводящих жидкостей в сильнонеоднородных электрических полях // Электронная обработка материалов. — 2014. — № 2. — С. 35–40.
4. Chirkov V. A., Sitnikov A. A., and Stishkov Y. K. A technique for rapid diagnostics of dielectric liquids basing on their high-voltage conductivity // Journal of Electrostatics. — 2016. — N 3. — P. 48–53.
5. Grav T. and Lundgaard L. E. Currents in AC stressed liquid insulated needle plane gap : Proceedings of 2014 IEEE 18th International Conference on Dielectric Liquids (June 2014, Bled, Slovenia). — P. 1–5.
6. Havran P. et al. Dielectric Properties of Electrical Insulating Liquids for High Voltage Electric Devices in a Time-Varying Electric Field. Energies. — 2022. — N 1. — P. 391.
7. Kohtoh M., Kaneko S., Okabe S., and Amimoto T. Aging effect on electrical characteristics of insulating oil in field transformer. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. — 2009. — N 6. — P. 1698–1706.
8. Saha T. K. Review of modern diagnostic techniques for assessing insulation condition in aged transformers. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. — N 5. — P. 903–917.

УДК 621

*Кондрашкина Е. Г., Захаров И. А.*

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В работе рассматривается проблема применения энергоэффективных технологий предприятиями нефтегазовой отрасли. Одним из решений данной проблемы может быть использование микротурбинных установок в автономных системах электро-снабжения нефтегазовой отрасли.

**Ключевые слова:** *энергоэффективность, микротурбинная установка, автономные системы электро-снабжения.*

*Kondrashkina E. G. , Zakharov I. A.*

Surgut State University Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra», Surgut

## USE OF MICROTURBINE INSTALLATIONS IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

*Surgut*

**Abstract.** The paper considers the problem of applying energy-efficient technologies by oil and gas enterprises. One of the solutions to this problem can be the use of microturbine units in autonomous power supply systems of the oil and gas industry.

**Keywords:** *energy efficiency, microturbine plant, autonomous power supply systems.*

Нарастающие темпы добычи природных ресурсов, в частности нефти и газа, в нашей стране приводят к истощению эксплуатируемых нефтяных месторождений. В связи с этим нефтяные компании вынуждены переносить производство в отдаленные и труднодоступные регионы (Крайний Север и Дальний Восток). В таких местах, как правило, отсутствует централизованное электроснабжение, а подключение к Единой энергетической системе экономически нецелесообразно из-за больших капитальных вложений для строительства и эксплуатации воздуш-

ных линий электропередачи. Всё вышеперечисленное делает перспективным использование автономных систем электроснабжения.

Одной из особенностей технологического процесса добычи нефти является выделение попутного нефтяного газа (ПНГ). Вопросы использования и утилизации данного сырья актуальны для всех нефтедобывающих стран, но в Российской Федерации эта проблема стоит более серьезно, т. к., по данным Всемирного Банка, наша страна числится в списке государств с самыми высокими показателями сжигания ПНГ на факелах. У этой проблемы есть два аспекта. Первый — экологический, т. к. сжигание ПНГ сопровождается выбросом в атмосферу больших объемов вредных веществ, это наносит колоссальный вред окружающей среде. Второй аспект — экономический, ПНГ является важным энергетическим ресурсом и его неэффективное использование ведёт к экономическим убыткам. В первую очередь не выполняются требования ФЗ №261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», во-вторых, не выполняются требования Постановления Правительства РФ от 08.01.2009 №7, в котором четко указано, что необходимо обеспечить целевой показатель сжигания ПНГ в размере не более 5%. За всё это нефтяные компании должны платить довольно высокие штрафы. Существует множество технологий по утилизации ПНГ, одной из них является использование в качестве топлива для источников электроснабжения (газотурбинные установки, газопоршневые установки и микротурбинные установки).

Однако существует ряд сложностей использования из-за особенностей самого газа. Стоит отметить, что попутный нефтяной газ имеет сложный состав и зависит от вида месторождения. Т. к. в нём могут содержаться соединения, приводящие к коррозии, необходима система очистки, которая, в свою очередь, имеет отдельный метод для удаления отдельного элемента. С этой задачей легко справляется микротурбинная установка. Т. к. при создании этих аппаратов используются высокотемпературные материалы с большими антикоррозионными свойствами, они способны работать даже на неподготовленном попутном газе с непостоянным компонентным составом и содержанием сероводорода до 7%. Это дает возможность использовать данные установки на самых различных месторождениях.

Микротурбинная установка — это газотурбинный энергоагрегат мощностью до 1000 кВт, работающий на природном газе и оснащенный устройством тепловой регенерации выпускных газов.

Основные преимущества микротурбинных установок:

- компактность;
- достаточно высокий электрический КПД — 30%;
- возможность работы не только в режиме когенерации, но и в режиме тригенерации;
- возможность дистанционного управления и контроля;

- низкий уровень шума при работе;
- низкие эксплуатационные затраты;
- возможность длительной работы на предельно низкой мощности;
- возможность работы в условиях низких температур;
- существуют варианты блочно-модульного исполнения.

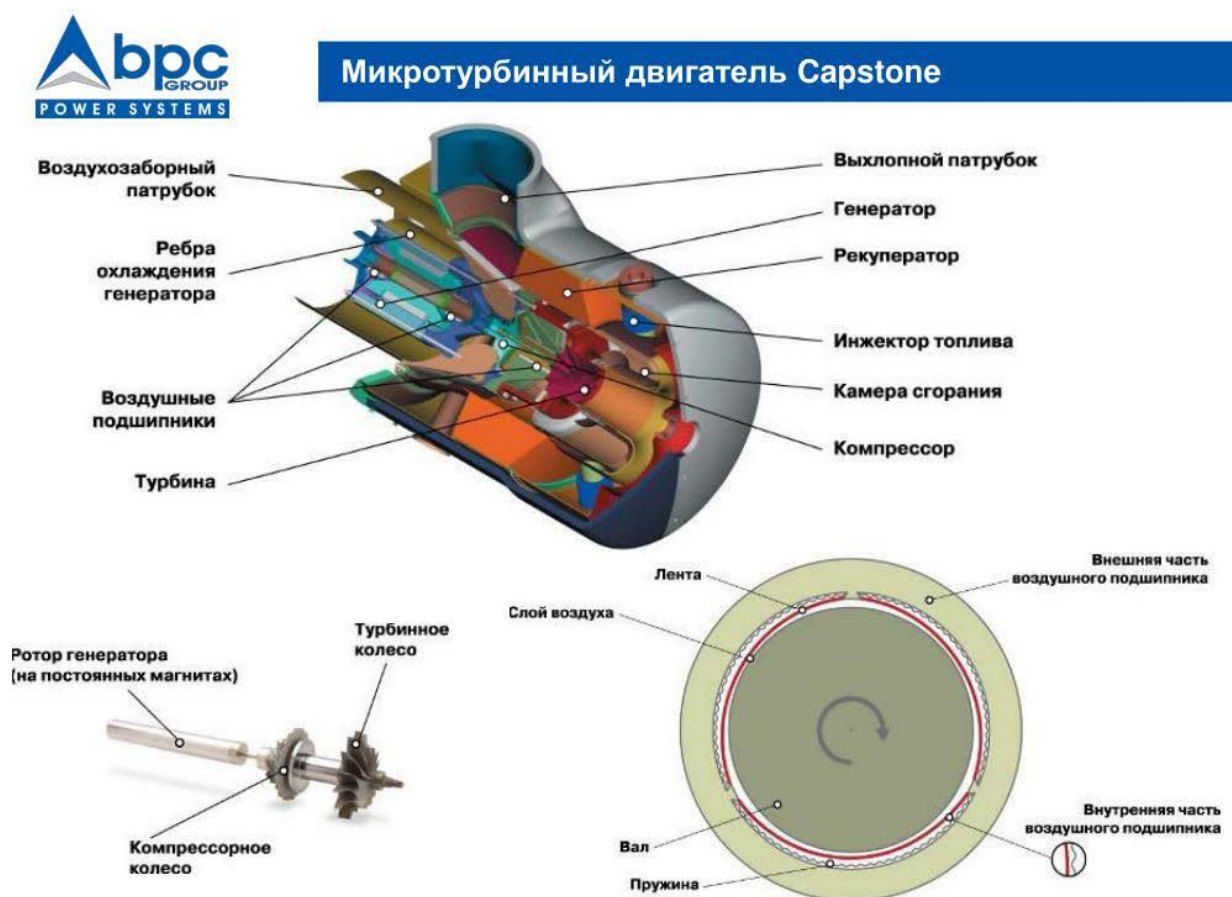


Рисунок 1. Конструкция микротурбинной установки

Ввиду высокой частоты вращения (до 96000 об./мин.) для производства электрической энергии используется инвертор. Благодаря этому возможно получение электрического тока с желаемыми параметрами.

Также стоит отметить, что для предприятий, применяющих энергоэффективные технологии для обеспечения целевых показателей утилизации ПНГ в соответствии с Постановлением Правительства РФ №600 от 17 июня 2015 года, предусмотрены налоговые льготы. Так, в соответствии со ст. 259.3. п.4 Налогового кодекса РФ (№ 261-ФЗ от 23.11.2009) при использовании для выработки электроэнергии микротурбинных и газотурбинных установок, работающих на ПНГ, предприятие может в 2 раза быстрее списать затраты, понесенные на приобрете-

ние оборудования, в счет уменьшения налогооблагаемой прибыли. Что значительно выгоднее, чем использование газопоршневых или дизельных электростанций.

Одним из явных недостатков микротурбин является их высокая стоимость. Однако срок окупаемости таких электроустановок составляет порядка 3-5 лет, ввиду их низких эксплуатационных расходов.

Таким образом, использование микротурбинных установок позволяет решить две задачи. Первое — обеспечить электроэнергией предприятия нефтедобывающей отрасли, находящиеся в изолированной энергосистеме. Второе — снизить количество выбросов вредных веществ в атмосферу, обеспечивая экологическую безопасность не только нашей страны, но и всего мира.

### Список использованной литературы

1. Дунаев М. Ю. Обзорная статья о микротурбинных установках // Аллея науки. — 2021. — № 3(54). — С. 99–101.
2. Исламова Е. Э. Утилизация попутного нефтяного газа с помощью микротурбинных установок // Аллея науки. — 2018. — № 11(27). — С. 167–172.
3. Мальчиков А. И. Газовые микротурбины — альтернативные источники энергетики // Вісник СевНТУ. — 2014. — № 153. — С. 144–147.
4. Турышева А. В. Автономное энергоснабжение нефтегазодобывающих предприятий // Наука, техника и образование. — 2015. — № 4(10). — С. 94–96.
5. Решение проблемы сжигания попутного нефтяного газа // Портал о топливо-энергетическом комплексе Neftegaz.RU. — 2017. — URL: <https://neftegaz.ru/science/ecology/331519-reshenie-problemy-szhiganiya-poputnogo-neftyanogo-gaza/> (дата обращения 04.04.2022).

УДК 621.311

*Курпита Д. В.*

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

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ НЕЙТРАЛИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены режимы работы нейтрали в электрических сетях с номинальным напряжением до 1 кВ и свыше 1 кВ. По каждому виду заземления нейтрали рассмотрены условия его применения, преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** *нейтраль, заземление, замыкание на землю, короткое замыкание.*

*Kurpita D. V.*

Surgut State University, Surgut

## NEUTRAL OPERATING MODES IN ELECTRICAL NETWORKS

*Surgut*

**Abstract.** This article discusses the modes of operation of the neutral. For each type of neutral grounding working conditions, advantages and disadvantages will be considered.

**Keywords:** *neutral, operating mode, grounding, earth fault, short circuit, phase, voltage.*

Надежная работоспособность электрических сетей (ЭС) существенно определяется тем, каким способом связаны нейтраль и земля. В последние годы страны СНГ разделяют ЭС *по режиму работы нейтрали на такие, как:*

- 1) сети с изолированной нейтралью;
- 2) сети с компенсированной нейтралью;
- 3) сети с эффективно заземленной нейтралью;
- 4) сети с глухозаземленной нейтралью.

Как уже отмечено выше, вариант соединения нейтрали с заземляющим контуром определяет, какой режим работы нейтрали будет применяться. Сети, в которых электроустановки (ЭУ) не соединены с землей, — это сети с изолированной нейтралью. Сети, ЭУ которых связаны с заземляющим контуром через ДГР (дугогасительный реактор), называют сетями с компенсированной нейтралью. Прямая связь земли и электроустановки — у сетей с глухозаземленной нейтралью. И ча-

стично заземлены нейтрали трансформаторов у сетей с эффективно заземленной нейтралью.

Первый режим довольно распространённо используется в Российской Федерации в распределительных ЭС с номинальным напряжением от 6 до 35 кВ. В России в сетях 6–10 кВ обмотки питающих трансформаторов находятся в соединении «треугольник», из-за чего точки нейтрали не существует физически.

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) сужает использование режима работы сети с изолированной нейтралью в зависимости от тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) сети. Компенсация тока однофазного замыкания на землю должна предусматриваться при токах:

- при напряжении, равном 3–6 кВ — ток больше 30 ампер;
- при напряжении 10 кВ — больше 20 ампер;
- при напряжении 15–20 кВ — более 15 ампер;
- в сетях напряжением 3–20 кВ, которые имеют опоры из железобетона и металла на ВЛ электропередачи, и во всех сетях 35 кВ — ток больше 10 ампер;
- и больше 5 ампер в схемах генераторного напряжения 6–20 кВ блоков «генератор — трансформатор».

Достоинствами такой сети являются:

- нет большой необходимости моментно отключать ОЗЗ;
- при ОЗЗ появляются лишь малые токи.

Недостатки:

- есть вероятность появления неустойчивой дуги, где находится замыкание;
- возможное развитие повреждения и перехода его в двойное замыкание на землю или в междуфазное КЗ (короткое замыкание);
- обязательно нужна усиленная изоляция, так как при ОЗЗ фазное напряжение сильно увеличивается до линейного;
- место повреждения сети сложно локализовать;
- высокая опасность поражения электротоком людей и животных.

Во втором режиме работы используются дугогасящие реакторы (ДГР). Они компенсируют емкостной ток сети, из-за чего происходит снижение тока однофазного замыкания на землю, а также уменьшается вероятность появления перемежающейся дуги и дуговых перенапряжений высокой кратности. При всем при этом важное условие функционирования дугогасительного реактора — это его резонансная настройка. И из-за изменения схемы ЭС это возможно только при наличии автоматической настройки. В реальной ситуации сложно получить полную компенсацию, в месте, где произошло повреждение, — присутствует остаточный ток.

При использовании дугогасительного реактора в ЭС могут быть такие режимы работы, как:



- *недокомпенсация емкостного тока сети (емкостной характер тока однофазного замыкания на землю)* — при таком режиме работы настройка допускается лишь при недостаточной мощности дугогасительного реактора и при условии — все аварийно появляющиеся несимметрии емкостей фаз сети не приведут к возникновению напряжения смещения нейтрали, которое превышает более 70 процентов от фазного напряжения;
- *резонансная настройка (равенство индуктивного тока дугогасительного реактора емкостному току замыкания на землю)* — в этом режиме случается полная компенсация емкостного тока, и в итоге в месте повреждения сети ток будет нулевым. Этот режим является наиболее оптимизированным в плане уменьшения тока в месте однофазного замыкания на землю;
- *перекомпенсация емкостного тока сети (индуктивный характер тока однофазного замыкания на землю)* — в этом случае нельзя, чтобы индуктивная составляющая тока ОЗЗ была более 5 ампер и степень расстройки — не более 5 %. В сетях 35 кВ — степень расстройки не может быть больше 10%.

Достоинствами сетей с компенсированной нейтралью являются:

- уменьшение тока однофазного замыкания на землю;
- несмотря на устойчивое замыкание, электрооборудование все равно продолжает свою работу.

К минусам относят:

- высокая стоимость;
- возможно возникновение перенапряжения в сети;
- сложная эксплуатация;
- обязательно нужна повышенная защита;
- сложно локализуемое место повреждения;
- риск появления линейного напряжения на неповрежденных фазах.

*Сеть с эффективно-заземленной нейтралью* — в нейтрали силовых трансформаторов этой сети иногда устанавливается какое-либо дополнительное устройство (например резистор). Чаще всего такой режим работы нейтрали используется в ЭС напряжением от 110 кВ. В электроустановках напряжением выше 1 кВ необходимо, чтобы выполнялось защитное заземление открытых проводящих элементов в целях защиты людей от их повреждения электротоком.

Заземляющие устройства (ЗУ) электроустановок выше 1 кВ в сетях с этим режимом работы нейтрали необходимо осуществлять с серьезным контролем их сопротивления. ЗУ в течение всего года необходимо иметь сопротивление, не превышающее 0,5 Ом, учитывая сопротивления естественных и искусственных заземлителей. Из-за того, что в сетях с эффективно заземленной нейтралью заземляется

только часть нейтралей, их заземление есть возможность осуществить через низкоомный резистор [2].

Обращаясь к действующей редакции ПУЭ — в распределительных ЭС, кроме изолированной и компенсированной нейтрали, возможно также использование резистивного заземления нейтрали. Такой режим позволяет уменьшить риск появления дуговых перенапряжений и осуществлять несложные и надежные защиты от однофазного замыкания на землю.

К минусам этого режима можно отнести:

- достаточно большие токи КЗ;
- риск поражения людей и животных электротоком;
- нужна более сложная защита из-за больших токов короткого замыкания.

В сетях с четвертым режимом работы нейтрали, если вдруг произошло замыкание, то поврежденная часть сети должна быть отключена практически моментально. Сопротивление ЗУ не может быть более 4 Ом при напряжении в 380 В.

В ЭС до 1 кВ необходимо, чтобы корпус электроустановки был соединен с заземленной нейтралью для обеспечения моментального отключения поврежденной части ЭС.

Преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью является высокая надежность электроснабжения. К недостаткам данного режима работы нейтрали можно причислить относительно высокие токи КЗ и другие.

В завершение стоит сказать, что у каждого режима работы нейтрали есть как свои сильные, так и слабые стороны. Выбор конкретного режима работы нейтрали зависит от множества факторов. Большую роль в выборе играет безопасность и экономическое обоснование, на основании которых решается — подходит ли определенный режим работы нейтрали для сети или нет.

### **Список использованной литературы**

1. Все про электроснабжение. — 2021. — URL: <https://elektrik-sam.ru/jelektrosnabzhenie> (дата обращения: 10.04.2022 г)
2. Правила устройства электроустановок. 7-е и 6-е издания : нормативно-технические документы / в редакции приказов Минэнерго России от 20 декабря 2017 г. № 1196, № 1997, 2022. 70 с.
3. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ. РД 34.20.179. Введ. с 06.04.1988, 2022. 2 с.

УДК 621.313

*Рысев П. В.<sup>1</sup>, Шульга К. С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры

«Сургутский государственный университет», г. Сургут, Россия

<sup>2</sup> Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье определяется зависимость показателей энергоэффективности асинхронных двигателей распределительных сетей промышленных предприятий от величины питающего напряжения. Дается оценка этой зависимости. Описываются существующие и перспективные подходы к регулированию потерь в электрических сетях.

**Ключевые слова:** *асинхронный двигатель, энергоэффективность, распределительные электрические сети.*

*Rysev P. V.<sup>1</sup>, Shulga K. S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Surgut state university, Surgut, Russia

<sup>2</sup> Omsk state technical university, Omsk, Russia

## EVALUATION OF THE EFFECT OF VOLTAGE ON THE ENERGY EFFICIENCY OF ASYNCHRONOUS MOTORS

*Surgut*

**Abstract.** The article defines the dependence of the energy efficiency indicators of asynchronous motors of distribution networks of industrial enterprises on the value of the supply voltage. An assessment of this dependence is given. The existing and promising approaches to the regulation of losses in electrical networks are described.

**Keywords:** *asynchronous motor, energy efficiency, electrical distribution networks.*

### Введение

Электрические сети промышленных предприятий разных отраслей имеют некоторые общие черты. Одной из них является значительная доля электродвигателей (прежде всего асинхронных) в структуре электрических нагрузок систем электроснабжения предприятий.

Эта доля может составлять более 70% от общей мощности промышленных потребителей.

Таким образом, энергетическая эффективность работы систем электроснабжения промышленных предприятий в значительной степени определяется эффективностью работы электродвигателей и их влиянием на электрическую сеть.

Одним из популярных решений по повышению энергоэффективности узлов нагрузки с асинхронными двигателями является применение частотного регулирования. При этом происходит изменение и уровня, и частоты питающего напряжения по тому или иному закону регулирования.

Это гибкое решение, позволяющее адаптировать электродвигатель под особенности режима работы нагрузки. Недостатком такого решения является его высокая стоимость, особенно для высоковольтных двигателей.

Поэтому в качестве альтернативы частотному управлению для целей энергосбережения можно использовать регулирование напряжения. Для оценки эффективности такого регулирования в статье определяется зависимость параметров режима асинхронных двигателей от величины питающего напряжения.

### **Постановка задачи**

Энергетическая эффективность асинхронных двигателей тесно связана с их режимами работы. Характеристики двигателей, которые приведены в каталогах, будут достигаться только в номинальных режимах.

При регулировании скорости, набросе нагрузки, несоответствии параметров номинальным практически все энергетические характеристики асинхронных двигателей оказываются хуже номинальных. В распределительных электрических сетях систем электроснабжения промышленных предприятий существует не так много исполнительных устройств, способных управлять режимами сети. Их можно разделить на следующие категории: устройства, регулирующие напряжение в сети; устройства, регулирующие перетоки реактивной мощности в сети, и устройства, осуществляющие переключения в сети.

По сути, регуляторы напряжения и перетоков реактивной мощности тесно связаны между собой, так как уровни напряжения в узлах сети во многом зависят от баланса по реактивной мощности.

Таким образом, регулирование режимов работы распределительной сети тесно связано с уровнями напряжения в узлах сети.

Следовательно, важной задачей определено определение степени влияния величины питающего напряжения на параметры режима узлов нагрузки с асинхронными двигателями на КПД и потери в двигателях.

## Теория

В электрических сетях Российской Федерации установлены «медленные изменения напряжения электропитания», которые должны отличаться от номинального значения не более чем на  $\pm 10\%$  (отклонения напряжения) [1]. Это обусловлено эффективностью работы электроприемников.

Однако, при малой нагрузке асинхронного двигателя, при номинальном питающем напряжении, показатели энергоэффективности асинхронного электродвигателя могут быть хуже, чем в других режимах [2].

Таким образом, формулируется задача оптимизации по минимуму потерь мощности (энергии) или максимуму КПД в зависимости от уровня напряжения.

Ограничениями в данной задаче выступают устойчивость работы двигателя, допустимый нагрев обмоток; допущением — постоянный момент сопротивления на валу двигателя.

Рассмотрим влияние напряжения на характеристики двигателя. Для этого приведем ряд соотношений [2], которые понадобятся при моделировании режимов работы асинхронного двигателя.

$$\cos\varphi(U_1) = \alpha_1 \alpha_2(U_1) \frac{\cos\varphi'(U_1)}{\alpha_3(U_1)}, \quad (1)$$

где

$\alpha_1 = -\alpha_{0ном} \sin\varphi'_{ном} + \sqrt{\alpha_{0ном}^2 \sin\varphi'_{ном}{}^2 - \alpha_{0ном} + 1}$  — отношение тока ротора (приведенного) к току статора (номинальному);

$\alpha_{0ном} = \frac{I_{0ном}}{I_{ном}}$  — отношение номинальных токов холостого хода и статора;

$$\sin\varphi'_{ном} = \frac{1}{\sqrt{2b_{ном} (b_{ном} + \sqrt{b_{ном}^2 - 1})}};$$

$\alpha_2(U_1) = \sqrt{M_c \frac{b_{ном} + \sqrt{b_{ном}^2 - 1}}{b_c(U_1) + \sqrt{b_c(U_1)^2 - 1}}}$  — отношение тока ротора (приведенного)

при напряжении  $U_1$ ) к току статора (номинальному);

$M_c$  — момент сопротивления в относительных единицах;

$$b_c(U_1) = \frac{b_{ном} \left( \frac{U_1}{U_{ном}} \right)^2}{M_c};$$

$U_1$  — напряжение (фактическое значение);

$$\cos\varphi'(U_1) = \sqrt{\frac{b_c(U_1) + \sqrt{b_c(U_1)^2 - 1}}{2b_c(U_1)}};$$

$\alpha_3(U_1) = \sqrt{(\alpha_{02}(U_1)\alpha_{0ном} + \alpha_1\alpha_2(U_1)\sin\varphi'(U_1))^2 + \alpha_1^2\alpha_2(U_1)^2\cos\varphi'(U_1)^2}$  — отношение тока статора (приведенного при напряжении  $U_1$ ) к току статора (номинальному);

$\alpha_{02} = \frac{I_0}{I_1}$  — отношение номинальных токов холостого хода и статора (при напряжении  $U_1$ );

$$\sin\varphi'(U_1) = \frac{1}{\sqrt{2b_c(U_1)(b_c(U_1) + \sqrt{b_c(U_1)^2 - 1})}}.$$

### Моделирование

В процессе моделирования по (1) были построены зависимости КПД асинхронных двигателей от питающего напряжения при вариации моментов сопротивления на валу.

Кривые были построены для значений 1; 0,9; 0,7; 0,5 и 0,3 от номинального момента нагрузки.

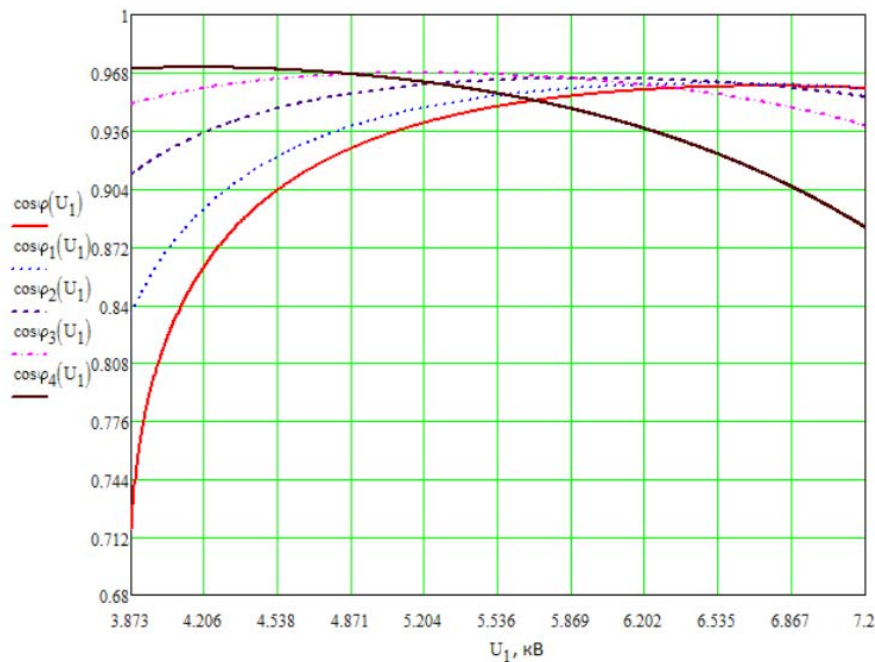


Рисунок 1. Кривые зависимости  $\cos\varphi(U_1)$  при  $M_c=1$ ,  $\cos\varphi_1(U_1)$  при  $M_c=0.9$ ,  $\cos\varphi_2(U_1)$  при  $M_c=0.7$ ,  $\cos\varphi_3(U_1)$  при  $M_c=0.5$ ,  $\cos\varphi_4(U_1)$  при  $M_c=0.3$

## Обсуждение результатов

Из рисунка 1 видно, что в целом зависимости имеют явно выраженный нелинейный характер. В области параметров нагрузок, близких к номинальным, минимальные потери (максимальный КПД) обеспечиваются при напряжениях, также близких к номинальному.

Для малых значений моментов сопротивления максимальный КПД достигался при меньших, чем номинальное, значениях напряжения.

Для уточнения зависимостей были построены кривые (рисунок 2), связывающие номинальный коэффициент мощности, момент сопротивления и оптимальное напряжение.

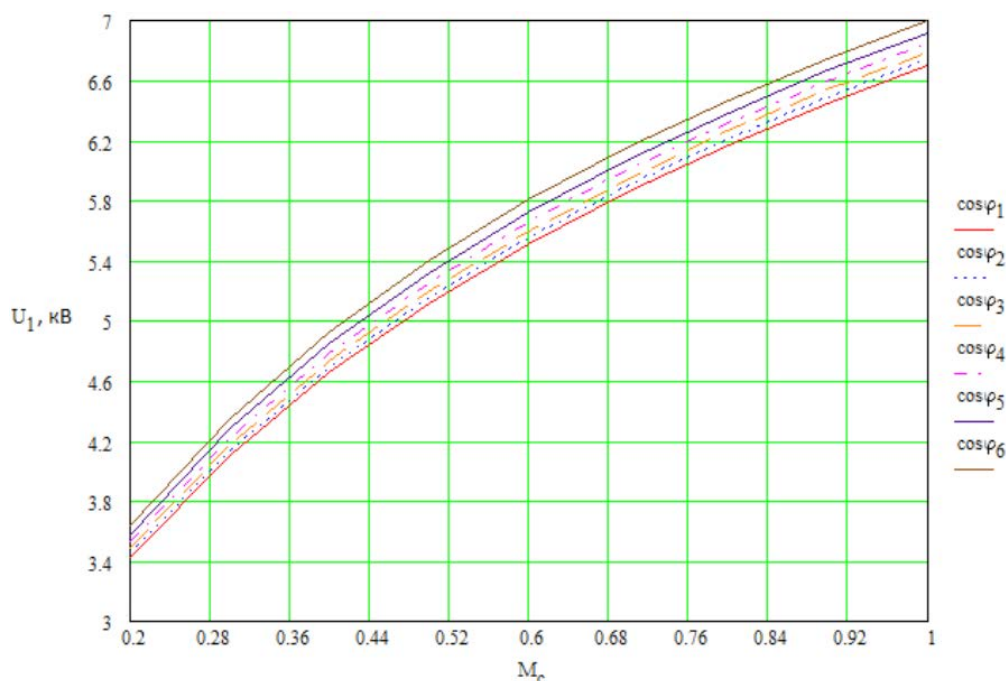


Рисунок 2. Влияние загрузки асинхронного двигателя на оптимальное напряжение при  $\cos\varphi_1=0,88$ ,  $\cos\varphi_2=0,89$ ,  $\cos\varphi_3=0,9$ ,  $\cos\varphi_4=0,91$ ,  $\cos\varphi_5=0,92$ ,  $\cos\varphi_6=0,93$ ,  $\cos\varphi_7=0,94$ ,  $\cos\varphi_8=0,95$

В результате анализа построенных зависимостей было выяснено, что регулирование напряжения асинхронных двигателей для повышения энергоэффективности может быть оправдано только для двигателей с высоким (0,9 и выше) коэффициентом мощности. Такие характеристики обычно имеют высоковольтные двигатели.

Для таких двигателей максимальный КПД будет иметь место при уровнях напряжения 80% и менее от номинального значения.

## Выводы

В статье показана связь и дана оценка энергоэффективности асинхронных двигателей при изменении питающего напряжения.

Показано, что имеется целесообразность регулирования напряжения питания асинхронных двигателей.

Однако, данная задача должна решаться комплексно, учитывая не только режимы двигателей, но и режимы сети в целом, учитывая аспект устойчивости узлов нагрузки, зависимость потерь в сети от напряжения и т. д.

Кроме того, набор средств для регулирования напряжения в распределительных сетях промышленных предприятий невелик — это переключение отпаек трансформаторов пункта питания и регулирование реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов или изменения возбуждения синхронных двигателей.

Таким образом, учет всех этих факторов сводит задачу к нелинейной многопараметрической, а возможно, и к многокритериальной.

Решение таких оптимизационных задач вызывает значительные трудности. В настоящее время достаточно прогрессивным направлением является применение искусственного интеллекта и машинного обучения для решения подобных оптимизационных задач. Это хорошо вписывается в концепцию Индустрии 4.0.

## Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. [Электронный ресурс]. — Введ. 2014–07–01. — Москва : Стандартинформ, 2014. — 22 с. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.04.2022)
2. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И. А. Сыромятников; под редакцией Мамиконянца. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Энергоатомиздат, 1984. — 240 с.



УДК 620.9

***Редченко В. А.***

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

## ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СЕТЬ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье представлен обзор влияния нагрузки преобразователей электроснабжения на электроэнергетическую сеть с точки зрения физических процессов.

**Ключевые слова:** *помехи, влияние, напряжение, гармоника.*

***Redchenko V. A.***

Surgut State University, Surgut

## INFLUENCE OF THE LOAD OF POWER SUPPLY SYSTEM CONVERTERS ON THE POWER NETWORK

*Surgut*

**Abstract.** The article provides an overview of the influence of the load of power supply converters on electric power network in terms of physical processes.

**Keywords:** *interference, influence, voltage, harmonic.*

подавляющая часть потребления электрической энергии приходится на электродвигатели. В связи с технологическими особенностями процессов, такими как снижение энергопотребления, изменение режимов работы, приходится изменять их частоту вращения. Для этого используют частотный преобразователь, состоящий из выпрямителя, фильтра и инвертора, что представляет собой нелинейную нагрузку.

Значительное увеличение числа нелинейных потребителей электроэнергии приводит к существенному искажению синусоидальной формы напряжения сети и увеличению потребления реактивной мощности. Искажение напряжения сети приводит к увеличению потерь электроэнергии и сокращению срока службы электрооборудования, увеличению погрешности электроизмерительных приборов, ухудшению работы систем управления и связи. Увеличение по-

требления реактивной мощности приводит к возрастанию потерь в питающей сети, дополнительным отклонениям напряжения сети. Поэтому нужно учитывать, что параметры питающей сети должны соответствовать ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения» [2]. Данный ГОСТ определяет коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, который характеризует степень гармонического искажения напряжения.

Результирующая номинальная мощность приводных систем, подаваемых с помощью инверторных блоков питания, достигает уровня нескольких десятков мегаватт, поэтому взаимное взаимодействие отдельных приводных систем может привести к нарушениям в их работе. Эти явления особенно заметны, например, при пуске подъемной машины с большой нагрузкой и влияют на работу вентиляторов в главной вентиляционной системе, где вентиляторы приводятся в движение синхронными или индуктивными двигателями [4]. Взаимодействие между различными приборами, питаемыми от общей питающей сети, может быть ограничено применением питающего трансформатора с повышенной номинальной мощностью (трансформаторные станции) или внедрением современных систем управления для инверторных блоков питания. Динамические потери, возникающие при интенсивном пуске приводной системы, могут быть причиной значительных перепадов напряжения на шинах главной коммутационной станции (до 0,35 Un) и генерации высоких гармонических составляющих в токах и напряжениях питающих систем. Отрицательным фактором является не только генерация высших гармонических составляющих, но и возможность последовательного (тока) или параллельного (напряжения) LC-резонанса, вызванного многочисленными причинами, такими как емкости питающей сети, емкости статических и активных фильтров, а также индуктивности питающих кабелей [1].

Эти вредные эффекты могут быть устранены путем применения фильтров активной мощности к инверторным блокам питания. Фильтры активной мощности проектируются как фильтры исключительно последовательной или параллельной структуры, или комбинированной последовательной и параллельной концепции. Однако применение гибридных фильтров, способных взаимодействовать со статическими LC-фильтрами, рассматривается как промежуточное решение. Активные фильтры обладают рядом преимуществ, таких как эффективная компенсация высоких гармоник в питающих напряжениях и токах, снижение дифференциального напряжения на клеммах потребителя при несимметричном напряжении питания, стабилизация уровня напряжения при изменении параметров нагрузки, снижение перепадов напряжения в питающих сетях, что позволяет осуществлять последующую компенсацию реактивной мощности [3].

На рисунке 1 показана схема трехфазного комбинированного последовательного и параллельного фильтров. Активные фильтры используют инверторы напряжения и тока в качестве источника компенсации высших гармонических составляющих. Конденсатор  $C_d$  является источником постоянного напряжения для инверторов напряжения ( $T_{11}$ - $T_{16}$ ) и тока ( $T_1$ - $T_6$ ). Такое решение гарантирует стабилизацию напряжения с использованием конденсатора в параллельном фильтре [5]. Дроссельная катушка  $L_K$ , установленная на выходе параллельного фильтра, предназначена для смягчения искажений тока  $I_K$ , вызванных высокой частотой ШИМ-модуляции (ШИМ — широтно-импульсная модуляция), выполняемой инвертором. Активные последовательные фильтры подключаются к питающей сети через трехфазный трансформатор, где его вторичная обмотка включается последовательно в общую цепь с нагрузкой. Пассивный фильтр  $L_F$ ,  $C_F$ ,  $R_F$  расположен на выходе инвертора последовательного активного фильтра, предназначенного для смягчения искажений сигнала, вызванных манипуляцией частотой ШИМ-сигнала от инвертора.

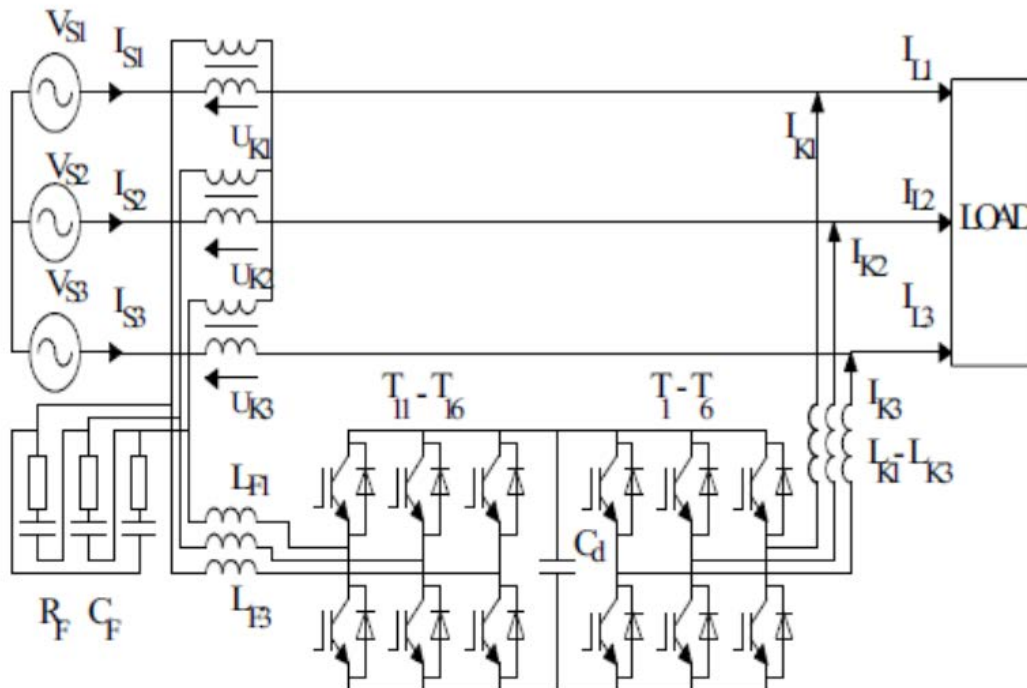


Рисунок 1. Схема трехфазного комбинированного последовательного и параллельного фильтров активной мощности

Применение инверторных блоков питания в системах электроснабжения промышленных предприятий с мощными электроприводами приводит к существенным падениям напряжения на шинах коммутационных подстанций, росту потребления реактивной мощности и искажениям характеристических кривых пи-

тающих напряжений и токов. Конденсаторные статические фильтры значительно снижают степень искажений. С другой стороны, применение фильтров активной мощности значительно снижает степень искажений и смягчает перепады напряжения, тогда как гибридные фильтры позволяют одновременно компенсировать реактивную мощность.

Поскольку частотные преобразователи являются нелинейной нагрузкой для питающей сети, то их работа оказывает влияние на ее режимы работы. Негативное влияние преобразовательной нагрузки на сеть может быть нивелировано применением в цепи рассмотренными выше фильтрами. Именно поэтому при проектировании как частотных преобразователей в системах электроснабжения производственных предприятий, так и их электрических сетей необходимо учитывать влияние преобразователей на электроэнергетическую сеть.

### Список использованной литературы

1. Акулов И. С. Последовательный колебательный контур // Практическая электроника : сетевой журн. (электр.журн.). — 2021. — URL:[http:// www.ruselectronic.com/posledovatelnyj-kolebatelnyj-kontur](http://www.ruselectronic.com/posledovatelnyj-kolebatelnyj-kontur) (датаобращения: 11.03.2022).
2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Егоров Е. Н. Активные фильтры : учебное-методическое пособие / А. А Короновский, А. Е Храмов. — Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2010 г. — 17 с.
4. Королев Г. В. Электронные устройства автоматики : Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа — 1991. — 256 с.
5. Последовательный колебательный контур // Все о двигателе : сетевой журн. (электр.журн.). — 2020. — URL:<https://avtika.ru/padenie-napryazheniya-pri-zapuskе-asinhronnogo-dvigatelya>(датаобращения: 13.03.2022).

УДК 621.396.74

*Юсупов С. Р.*

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

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЖИЛЫХ ДОМОВ МИКРОРАЙОНА ПОСРЕДСТВОМ ПРОТОКОЛА LORAWAN

*г. Сургут*

**Аннотация.** В системе ЖКУ наблюдается спрос, связанным с контролем и учетом энергоресурсов, потребляемых жителями городов России. На сегодняшний день сбор данных и их последующая регистрация обеспечивается силами горожан и контролеров управляющих компаний, которые, в свою очередь, фиксируют показания с объектов учёта ежемесячно, что требует необязательных расходов. Требуется создать систему, позволяющую объединить измерительные приборы учёта для организации автоматического контроля и учёта над использованием энергоресурсов. В статье рассматриваются варианты сбора данных, проведен анализ выбора технологии для реализации сети связи, описан метод расчета параметров системы сбора данных посредством протокола LoRaWAN, экспериментально протестировано применимость данной технологии беспроводного сбора данных на примере 22-го микрорайона города Сургута.

**Ключевые слова:** *энергоресурсы, приборы учёта, LoRaWAN, время передачи пакетов, помехозащищённость, spreadingfactor, дальность связи.*

*Yusupov S. R.*

Surgut State University, Surgut

## CALCULATION OF PARAMETERS OF THE AUTOMATED SYSTEM OF CONTROL AND ACCOUNTING OF ENERGY RESOURCES OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF THE MICRODISTRICT USING THE LORAWAN PROTOCOL

*Surgut*

**Abstract.** In the housing and communal services system, there is a demand associated with the control and accounting of energy resources consumed by residents of Russian cities. To date, the collection of data and their subsequent registration is provided by citizens and controllers of management companies, which, in turn, record readings from metering objects on a monthly

basis, which requires optional expenses. It is required to create a system that allows to combine metering devices for organizing automatic control and accounting over the use of energy resources. The article discusses data collection options, analyzes the choice of technology for the implementation of a communication network, describes a method for calculating the parameters of a data collection system using the LoRaWAN protocol, experimentally tested the applicability of this wireless data collection technology using the example of the 22nd microdistrict of the city of Surgut.

**Keywords:** *energy resources, metering devices, LoRaWAN, packet transmission time, noise immunity, spreading factor, communication range.*

## 1. Варианты сбора данных с приборов учета

В данной статье рассматривается 22-й микрорайон, располагающийся на юге Сургута. Микрорайон относительно старый, но он при этом активно застраивается. В состав микрорайона входят: жилые дома с обустроенными дворами, школы со спортивными площадками, детские сады, детские площадки, парковочные зоны для владельцев автомобилей, а также стоит отметить наличие торговых центров и учреждений административного значения. На рисунке 1 представлена карта 22-го микрорайона.

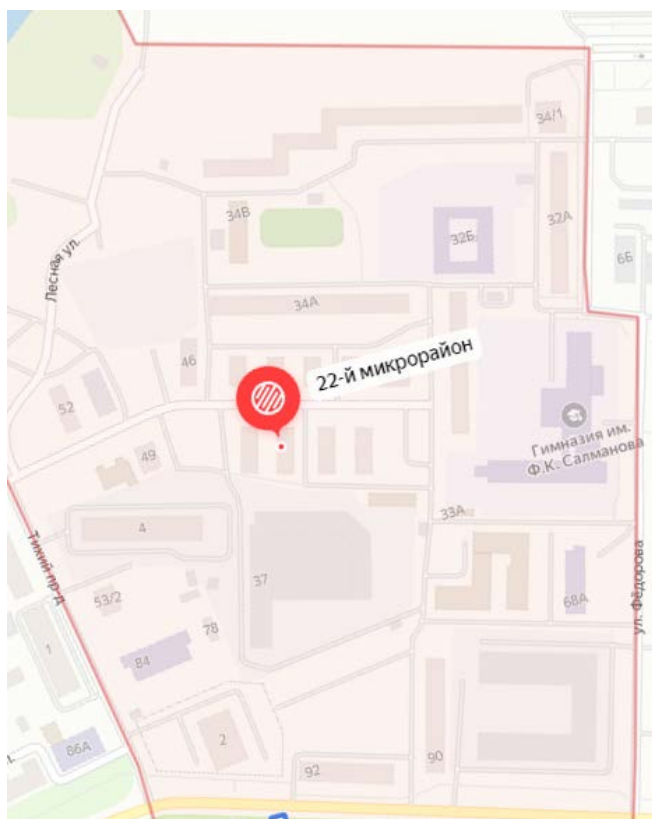


Рисунок 1. Карта 22-го микрорайона

Автоматизированная система контроля и учёта энергоресурсов (далее — АСКУЭ) представляет собой систему учета потребления таких энергоресурсов как: потребление и учёт горячего и холодного водоснабжения, учет использования отопления в зимний сезон, учёт электропотребления.

Необходимо внедрить систему АСКУЭ для данного микрорайона. Этот микрорайон состоит из 26 жилых домов с одной тысячей двумястами квартирами. Решено было начать с системы учета тепла и электроэнергии жилого дома.

В начальном этапе проекта необходимо выбрать наилучшую технологию построения системы сбора информации исходя из нескольких вариантов, но при этом данный вариант должен быть функциональным, эффективным и бюджетным.

Первое и очевидное решение — это организация проводной связи. То есть построить проводную сеть, в которой приборы учёта соединяются к шине M-Bus, все собранные данные передаются по проводным сетям в коммутирующее устройство. Однако из-за сложности и дороговизны монтажных работ кабельной инфраструктуры вариант проводной сети не подходит для АСКУЭ.

Следовательно, лучшим и верным решение — это реализация системы на беспроводных сетях передачи данных. Сравнение существующих беспроводных технологий для устройств с низким потреблением и малыми объемами данными, приведены в таблице 1.

Для счётчиков, расположенных на больших расстояниях относительно целого микрорайона и не имеющих постоянного электропитания, необходима беспроводная технология, которая имела бы широкий территориальный охват (большую площадь покрытия сети, дальность связи для передачи данных) и при этом бы все оконечные устройства работали в течение длительного периода времени от одной батареи.

В настоящее время существующие технологии мобильной связи не оптимизированы для требований маломощных устройств с малым объемом данных. К тому же на каждое оконечное устройство необходимо заключить договор с сотовым оператором, что удорожает проект в несколько раз.

Стоит отметить, что семейство беспроводных сетей LoRaWAN идеально подходит для реализации АСКУЭ в 22-м микрорайоне [1, 2]. Так как модули LoRaWAN потребляют очень мало энергии, это значит, что радиопередатчик может работать на установленной батарее много лет. LoRaWAN — открытый протокол, с низкой скоростью передачи данных, но с большой дальностью связи [1, 2]. Если сравнивать в стоимости эксплуатации сети LoRaWAN, то они выгоднее проводных сетей в 5 раз, и при этом не придется платить ежемесячную абонентскую плату за каждое оконечное устройство, как в сетях сотовых операторов. Все данные с приборов учета передают, обрабатываются, хранятся в управляющей компании. В сетях LoRaWAN передача данных осуществляется на достаточно больших расстояниях (в городской застройке — до 5 км, на открытом пространстве — 20 км).

Таблица 1. Технологии сбора данных, их преимущества и недостатки

	Фиксированная связь (проводная сеть)	Ближний радиус действия (Bluetooth, ZigBee, Thread, Wi-Fi)	LoRaWAN	Сотовая сеть (GSM, 3G/4G) M2m
<b>Плюсы</b>	Низкая цена продукта сопоставима по цене с беспроводными решениями. Использование готовых линий электропередач. Эффективность развертывания сети. Регистрация устройства в качестве радиочастотного не требуется	Установленные стандарты. Построение локальной сети в ограниченном пространстве. Продвигается большим количеством компаний (рынок)	Проприетарность стандарта. Обширный территориальный охват. Низкое энергопотребление. Низкая стоимость конечного устройства. Не требует лицензирования. Дешевизна развертывания. Низкая абонентская плата за точку	Операторский рынок. Быстрое подключение к сотовой сети. Возможна высокая скорость передачи данных. Существующее покрытие сети
<b>Минусы</b>	Сбор данных в ограниченной зоне. Емкость сети. Зависимость от технического состояния электросети и проводов. Низкая ширина канала. Требуется хаб. Установка для конечного устройства альтернативного канала (GSM)	Требуется координатор и маршрутизатор. Конфликт IP-адресов. Взаимная подверженность помехам различных стандартов в диапазоне 2,4 ГГц. Регулярная подзарядка или частая замена батарее. Ограниченное покрытие сети	Низкая скорость передачи данных. Задержка передачи данных до конечного приложения, связанная с временем передачи радиосигнала	Ограниченные права пользователя. Общая стоимость решения. Потребляемая мощность (энергопотребление)

Для реализации сети с технологиями LPWAN требуется несколько шагов:

- Установить в микрорайоне базовую станцию — связующее звено между приборами учёта и сервером приложений, концентрирующее и транспортирующее на сервер весь трафик с оконечных устройств;
- Смонтировать в жилых домах радиомодули, преобразующие сигналы M-Bus, поступающие от оконечных устройств, в сигналы LoRaWAN;
- Необходимо произвести первичную настройку базовых станций и оконечных устройств для регистрации и привязке к серверу.



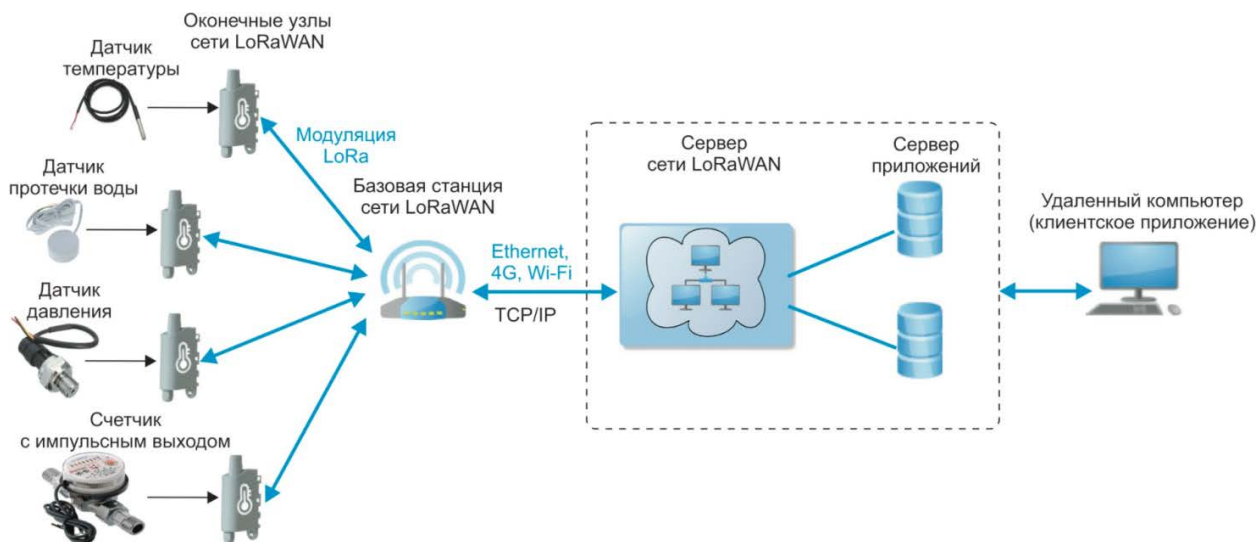


Рисунок 2. Принципиальная схема построение сети LoRaWAN

По большей части сети LoRaWAN базируют на топологии «звезда», в которой шлюзы LoRa пересылают данные от приборов учёта до ядра сети. В свою очередь, базовые станции подключаются к ядру сети при помощи протокола TCP/IP (Ethernet, 3G/4G). Все оконечные приборы учёта соединяются с базовыми станциями посредством протокола LoRa.

В сетях LoRaWAN может быть организована двусторонняя передача данных, но по большей части выгодна односторонняя передача данных от конечных устройств к сетевому серверу LoRaWAN, так как уменьшается время нахождения в радиоэфире. Именно топология типа «звезда» обеспечивает наилучший баланс между зоной покрытия сети, количеством передающих сигнал антенн и временем автономной работы устройства.

Сеть LoRaWAN состоит из оконечных устройств, шлюзов LoRa, сетевого сервера и сервера приложений.

Оконечный устройство измеряет показания с счетчиков и в дальнейшем передает их на базовую станцию.

Шлюз LoRa принимает данные от всех конечных устройств через радиотракт посредством протокола LoRa и пересылает их далее в вышестоящую по уровню сеть. В качестве транзита могут выступать семейства технологий пакетной передачи данных Ethernet, технологии мобильных сетей 3G/4G, сети беспроводной передачи Wi-Fi и так далее. К шлюзу LoRa все конечные устройства соединяются по топологии «звезда».

Все функции управлению сетью LoRaWAN берет на себя сетевой сервер. Он, в свою очередь, может задавать точное время передачи данных от оконечных устройств, управлять скоростью передачи данных, занимается хранением и обра-

боткой принимаемых данных. Абонентам предоставляется возможность прозрачно и, самое главное, безопасно передавать данные.

Сервер приложений предназначен для управления работой конечных узлов и регистрации данных с них.

Сервер приложений собирает данные с оконечных устройств и одновременно ведёт дистанционный контроль за их работой.

Транспортировка данных в сетях LoRaWAN строится на использовании радиосвязи на частоте вещания 868 МГц. Выбор наиболее оптимальной скорости передачи данных зависит от расстояния до базовой станции сети и размера передаваемого сообщения.

Для максимального увеличения срока автономной работы источника питания устройств LoRaWAN используется схема Adaptive Data Rate (далее — ADR) — метод адаптивной скорости передачи данных [2]. Каждое подключенное устройство, подключенное к сети, настраивает индивидуальную скорость в зависимости от условий приёма сигнала. Конечные устройства могут передавать данные по свободному доступному каналу в любое время, используя любую доступную скорость ADR при условии соблюдения следующих правил:

- конечное устройство изменяет канал псевдослучайным образом для каждой передачи, тем самым обеспечивая разнесение частот;
- конечное устройство должно соблюдать максимальные ограничения рабочего цикла передачи, определенные требованием регулирующего органа (диапазон 868 МГц).

Порядок согласования скорости используется сетью для передачи данных с оконечного узла на требуемой скорости [4]. В таблице 2 представлена зависимость от скорости передачи данных от коэффициента расширения спектра (SF — Spreading Factor).

Таблица 2. Соотношение скорости и дальности передачи данных от коэффициента расширения спектра в сети LoRaWAN

Спрэд-фактор (SF). При полосе радиоканала 125кГц	Скорость передачи данных, бит/с	Дальность радиосвязи (в прямой видимости), км	Время передачи (при полезной нагрузке 10 байт), мс
SF7	5270	2	56
SF8	3025	4	90
SF9	1570	5	170
SF10	870	7	320
SF11	400	10	700
SF12	260	14	1300

Для того чтобы уменьшить время нахождения в радиозфире и при этом сократить энергопотребления оконечных устройств, сетевой сервер LoRaWAN сети регулирует скорость при помощи ADR. Благодаря этой особенности можно добиться значительного повышения автономной работы радиомодулей в сопоставлении с другими способами беспроводной передачи информации.

При развертывании радиосетей рекомендуется проводить предварительные расчеты времени передачи информации, пропускной способности и дальности радиосвязи.

## 2. Метод расчета характеристик радиосети LoRaWAN

### *Расчет времени передачи одного пакета через радиointерфейс LoRaWAN*

Пакет сети LoRaWAN состоит из блока данных физического уровня и преамбулы (состоит из 8 байт). Поле преамбулы выступает для синхронизации приёмника с входящим потоком и обозначения следующего начала блока физических данных [3]. Общее число символов в поле преамбуле  $n_{preamble}$  может быть в диапазоне от 6 до 65535.

Скорость передачи данных в сети определяется уровнями модуляции и коэффициентами расширения спектра в совокупности с пропускной способностью канала. Выбранные параметры радиосигнала в первую очередь влияют на физическую битовую скорость и время в эфире. SF — это целое число, которое задается в интервале от 7 до 12. Чем выше задано значение SF, тем выше помехозащищенность линии связи. Общее число символов в блоке данных физического уровня определяется по формуле [3]:

$$payloadSymbNb = 8 + \text{ceil} \left( \frac{8 + PL - 4 \cdot SF + 28 + 16 \cdot CRC - 20 \cdot H}{4 \cdot (SF - 2 \cdot ADR)} \right) \cdot (CR + 4) \quad (1)$$

где  $PL = 12 + FRM$  — количество байт полезных данных в блоке физического уровня (PHPPayload);

FRM — количество байт полезных данных на уровне приложения (FRMPayload);

SF — коэффициент расширения спектра;

CRC — проверка избыточности циклической суммы ( $CRC = 1$ , когда передача поля CRC блока полезной нагрузки включена, и  $CRC = 0$  — когда выключена);

H — параметр, отражающий наличие заголовка в радиопакете ( $H = 0$ , когда передача заголовка (PHDE+PHDE\_CRC) включена, и  $H = 1$  — когда заголовок отсутствует);

ADR — оптимизация скорости передачи данных (ADR = 1, когда оптимизация для низких скоростей передачи включена, и ADR = 0 — когда выключена. Для SF=11 и SF=12 оптимизация скоростей передачи должна быть выключена);

CR = 1...4 — скорость кодирования ( $1-\frac{4}{5}$ ,  $2-\frac{4}{6}$ ,  $3-\frac{4}{7}$ ,  $4-\frac{4}{8}$ );

ceil — операция округления до ближайшего большего целого числа [3].

Время передачи преамбулы рассчитывается по формуле:

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4,25) \cdot T_{sym}, \quad (2)$$

где  $T_{sym}$  — длительность передачи одного символа, рассчитываемая по формуле:

$$T_{sym} = \frac{2^{SF}}{W}, \quad (3)$$

где  $W$  — полоса одного радиоканала.

Время передачи блока данных физического уровня рассчитывается по формуле:

$$T_{payload} = payloadSymb \cdot T_{sym}, \quad (4)$$

Время передачи всего пакета в сети LoRaWAN рассчитывается по формуле:

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload}, \quad (5)$$

Выполним расчет передачи одного Uplink-пакета (с полезной нагрузкой 10 байт) в сети LoRaWAN.

Исходные значения:

- полоса радиоканала  $W = 125$  кГц;
- количество символов в преамбуле  $n_{preamble} = 6$ ;
- полезные данные (FRMPayload) FRM = 10 байт;
- физический блок данных (PHYPayload — блок данных, полученный от MAC/ передаваемый на уровень MAC) PL = 22 байт;
- флаг включения заголовка PHDE+PHDE\_CRC в пакет H = 0;
- флаг включения CRC в пакет CRC = 1;
- флаг включения оптимизации скоростей ADR = 0 (для SF7 — SF10);
- скорость кодирования CR = 1.

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчетов передачи одного Uplink-пакета с полезной нагрузкой

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Время передачи 1-го символа, мс	$T_{sym}$	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768
Флаг включения оптимизации скоростей	ADR	0	0	0	0	1	1
Общее число символов в блоке данных	payloadSymNb	24	33	33	28	28	26
Время передачи преамбулы, мс	$T_{preamble}$	10,496	20,992	41,984	83,968	167,936	335,872
Время передачи блока данных, мс	$T_{payload}$	43,008	67,584	135,168	229,376	458,752	851,968
Время передачи всего пакета, мс	$T_{packet}$	53,504	88,576	177,152	313,344	626,688	1 187,84

Расчет передачи одного Downlink-пакета без полезной нагрузки в сети LoRaWAN.

Исходные значения:

- полоса радиоканала  $W = 125$  кГц;
- количество символов в преамбуле  $n_{preamble} = 6$ ;
- полезные данные (FRMPayload) FRM отсутствуют;
- физический блок данных (PHYPayload — блок данных, полученный от MAC/ передаваемый на уровень MAC) PL = 12 байт;
- флаг включения заголовка PHDE+PHDE\_CRC в пакет H = 0;
- флаг включения CRC в пакет CRC = 1;
- флаг включения оптимизации скоростей ADR = 0 (для SF7 — SF10);
- скорость кодирования CR = 1.

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

В реальной жизни в большинстве случаев используется коэффициент расширения спектра SF= 12 из-за наилучшей помехозащищённости. Время передачи пакета для данного коэффициента равно 1 187,11 мс.

Таблица 4. Результаты расчетов передачи одного Downlink-пакета без полезной нагрузки

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Время передачи 1-го символа, мс	$T_{sym}$	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768
Флаг включения оптимизации скоростей	ADR	0	0	0	0	1	1
Общее число символов в блоке данных	payloadSymNb	24	22	21	19	21	20
Время передачи преамбулы, мс	$T_{preamble}$	10,496	20,992	41,984	83,968	167,936	335,872
Время передачи блока данных, мс	$T_{payload}$	24,576	45,056	86,016	155,648	344,064	655,36
Время передачи всего пакета, мс	$T_{packet}$	35,072	66,048	128	239,616	512	991,232

*Расчет времени передачи одного пакета через радиointерфейс LoRaWAN*

Все LoRaWAN-устройства, участвующие в радиотракте, получают доступ к общей среде передачи в произвольном формате. Алгоритм доступа к среде подчиняется протоколу «чистая ALOHA» [7]. В этом случае временной диапазон передачи пакетов планируются оконечными устройствами, исходя из их потребностей.

Оценка ширины канала протокола «чистая ALOHA» определяется при условиях:

- все пакеты передаются за одинаковую длительность и имеют одну длину данных;
- данные с радиомодулей передаются на шлюзы LoRa случайно, создавая пуассоновский поток;
- отброшенные пакеты передаются повторно, образуя такой же пуассоновский поток;
- в сети находится бесконечное число удалённых оконечных устройств (однако если конкретный ОУ уже транслирует данные, это не влияет на вероятность передачи данных другими ОУ).

В этом случае вероятность того, что за время передачи одного пакета  $T$  поступит еще  $k$  пакетов от всех радиомодулей сети, определяется формулой Пуассона:

$$\Pr(k) = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!}, \quad (6)$$

где  $G$  — среднее число сообщений для передачи, появившееся на всех терминалах сети за время  $T$ .

Коллизия не будет распознана, если на тайм-слоте передачи пакета, а также на одном предыдущем тайм-слоте не появятся еще пакеты для передачи от других радиомодулей сети ( $k = 0$ ). Таким образом, вероятность успешной передачи составляет [7]:

$$P = e^{-2G}. \quad (7)$$

Среднее число успешно переданных пакетов за время  $T$ , другими словами, пропускная способность сети, составляет [7]:

$$S = G \cdot P = G \cdot e^{-2G}. \quad (8)$$

Расчет пропускной способности для проектируемой системы выполним при помощи формул (7) и (8) для  $G = 0 \dots 1,5$  (с шагом 0,1), а также построим график для наглядности (рисунок 3).

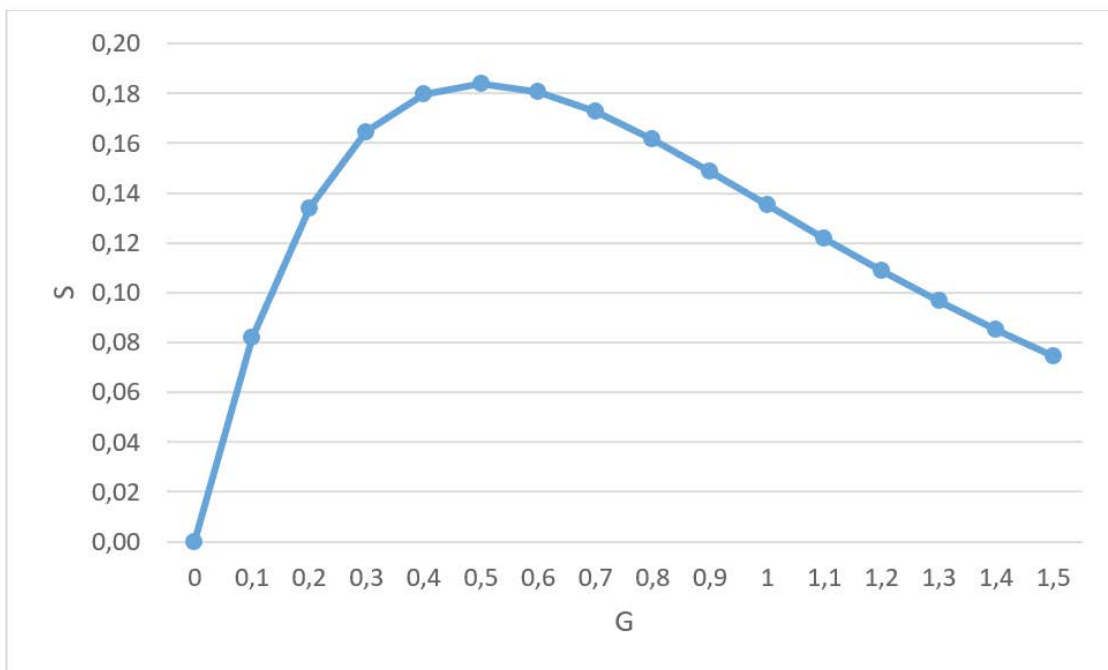


Рисунок 3. График пропускной способности сети LoRaWAN

Максимальное значение пропускной способности равно 0,184 при интенсивности поступления пакетов.

Рассчитаем вероятность успешной передачи пакетов и построим график (рисунок 4).

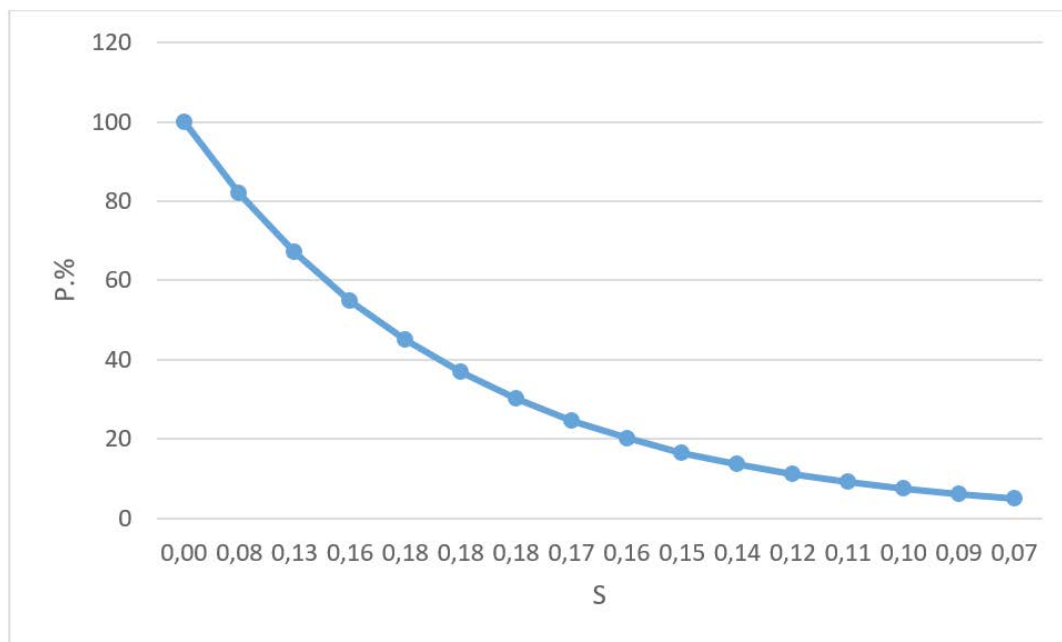


Рисунок 4. График зависимости успешной передачи пакетов данных от пропускной способности

При наибольшем значении пропускной способности сети вероятность успешной передачи пакетов из-за коллизии составит 37%.

### 3. Экспериментальная применимость беспроводной технологии сбора данных LoRaWAN на примере 22-го микрорайона города Сургута

Для удостоверения результатов теоретического расчета при развертывании радиосети LoRaWAN на территории 22 микрорайона был выполнен сбор и анализ экспериментальных данных, отражающих характеристики работы сети. Для построения сети применялось оборудование отечественной компании «Вега Абсолют»:

- В качестве окончательных устройств, которые, в свою очередь, преобразуют импульсные сигналы от квартирных счетчиков в сигналы LoRa и передают их на базовую станцию, были выбраны счетчики ВЕГА СИ-11, ВЕГА СИ-13-485, Вега M-Bus-1 — конвертер сигналов из M-Bus в LoRaWAN, к которому подключается до десяти счетчиков тепла;
- В роли шлюза LoRa использовалась базовая станция Вега БС-1.2 с антенной 868-01-A10 — антенна 10dBi для базовой станции LoRaWAN;



- В качестве сервера для сети LoRaWAN использовался персональный компьютер, подключенным к интернету, с установленным ПО IoTVegaServer, IoTVegaAdminTool.

Функциональная схема рассматриваемой АСКУЭ приведена на рисунке 5.

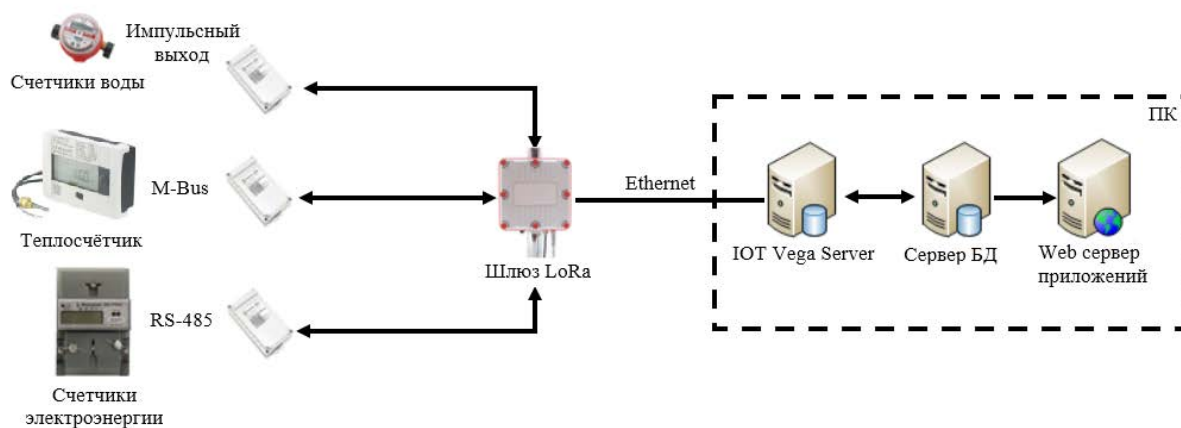


Рисунок 5. Функциональная схема подключения АСКУЭ

В сетях LoRaWAN все БС зарегистрированы и имеют непосредственное прямое соединение к сетевому серверу сети. Также все оконечные устройства должны пройти первичную регистрацию и инициализацию на сетевом сервере посредством активации, существуют два способа активации оконечных устройств: активация по воздуху — Over-The-Air Activation (ОТАА) и активация персонализацией — Activation by Personalization (ABP).

Между БС и ОУ нет специальной привязки. БС передает информацию с сервера в радиоэфир, а все радиомодули в радиусе действия сигнала принимают эти сообщения. Этот же метод работает в обратную сторону, то есть радиомодули передают сообщения, а БС принимают сообщения и пересылают их в транзитную сеть к серверу. Сообщения содержат конфиденциальную, идентификационную информацию, поэтому радиомодули которые не прошли регистрацию в сети LoRaWAN, в последующем сервером не обрабатываются и отбрасываются [6].

В исследуемой системе в качестве источников данных были: счетчик ГВС и ХВС, теплосчетчик, счетчик электроэнергии. В рассматриваемой системе передачи данных радиосеть имеет следующие характеристики.

Полоса радиоканала  $W = 125$  кГц, общее число символов в преамбуле  $n_{preamble}$  — 6, средний размер полезных данных, передаваемых в поле  $FRMPayload = 10$  байт, физический блок данных (PHYPayload)  $PL = 22$  байт, флаг заголовка в пакете ( $H = 0$ ), флаг CRC в пакете ( $CRC = 1$ ), флаг оптимизации скоростей в ( $ADR = 0$ ), скорость кодирования  $CR$  — 1 (4/5); общее число радиочастотных каналов  $N_f$  — 8,

общее число пакетов на устройство в сутки  $N_{ENpacket} = 24$ , используемые коэффициенты расширения спектра SF7 — SF12, пакеты передаются только от шлюза и оконечных устройств (с подтверждения доставки); средняя частота передачи пакетов одним оконечным устройством — 1 пакет в час, совмещение по времени в одном радиоканале двух пакетов от различных источников считается коллизией независимо от используемых коэффициентов расширения спектра SF, допустимая вероятность потери пакетов из-за коллизии  $p_{loss} = 5\%$ , интенсивность поступления пакетов на 1 канал  $G_{5\%} = 0,0256$ , вероятность потери пакетов из-за коллизии  $p_{loss}$  составляет 5% (см. рисунок 3), время передачи одного пакета ( $T = T_{ULpacket} + T_{DLpacket}$ ) для разных коэффициентов расширения спектра SF определяется данными из таблицы 3.

Общее число пакетов на базовую станцию в сутки рассчитывается по формуле:

$$N_{LGpacket} = N_f \cdot \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{5\%}}{T} \quad (9)$$

Сбор данных генерировался на ПК администратора в специальной программе «IoT Vega Admin Tool», в которой регистрировалось время отправки данных. Данные с счетчиков приходили на сервер «IoT Vega Server» с фиксацией времени приема. В дальнейшем «IoT Vega Admin Tool» выгружал данные о времени приема с сервера и рассчитывал длительность передачи пакета данных. Результаты экспериментальных расчетов передачи пакетов от оконечных устройств с подтверждением доставки и без подтверждения представлены в таблицах 5 и 6 соответственно.

Таблица 5. Результаты экспериментальных расчетов передачи пакетов от оконечных устройств с подтверждением доставки

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Время передачи одного UL-пакета, мс	$T_{ULpacket}$	53,504	88,576	177,152	313,344	626,688	1 187,84
Время передачи одного DL-пакета, мс	$T_{DLpacket}$	35,072	66,048	128	239,616	512	991,232
Количество пакетов на базовую станцию в сутки, тыс. шт.	$N_{LGpacket}$	199,768	114,437	58,562	32	15,539	8,12
Количество устройств на базовую станцию, тыс. шт.	$N_{EN}$	8,323	4,768	2,44	1,333	0,647	0,338

Таблица 6. Результаты экспериментальных расчетов передачи пакетов от конечных устройств без подтверждения доставки

Коэффициент расширения спектра	SF	7	8	9	10	11	12
Время передачи одного UL-пакета, мс	$T_{ULpacket}$	53,504	88,576	177,152	313,344	626,688	1 187,84
Количество пакетов на базовую станцию в сутки, тыс. шт.	$N_{LGpacket}$	330,717	199,768	99,884	56,470	28,226	14,896
Количество устройств на базовую станцию, тыс. шт	$N_{EN}$	13,779	8,323	4,161	2,352	1,176	0,620

Как видно из таблиц 5 и 6, при использовании режима с подтверждением доставки каждого пакета в сети LoRaWAN наблюдается закономерность с увеличением коэффициента расширения спектра: количество конечных устройств, использующих одну базовую станцию, пропорционально уменьшается и в это же увеличивается время передачи пакетов по сети. Что нельзя сказать про режим без гарантии доставки, в этом случае уменьшается время передачи пакетов по сети LoRa и одновременно увеличивается количество конечных устройств на БС, что даёт большой прирост подключаемых приборов учёта.

Следуя из эксперимента, можно утверждать, что время передачи одного Uplink пакета с полезной нагрузкой, равной 10 байтам, при спрэд факторе составляет 53,504 мс, а при максимальном 1187,84 мс.

#### *Измерение проходимости радиосигнала в 22-м микрорайоне*

При проведении измерений сбора экспериментальных данных на крыше 17-этажного здания, находящегося по адресу ул. Мелик-Карамова, 90, была установлена базовая станция Вега БС-1.2 с антенной 868-01-A10 — антенна 10dBi для лучшего приёма сигнала. Для лучшего приема и передачи сигнала антенну вместе с базовой станцией установили на высоте подвеса около 2 метров, для того чтобы края крыши не срезали диаграмму направленности.

Для тестирования проходимости радиосигнала были выбраны 5 точек учёта радиомодулей Вега СИ-13-485, подключенных к электросчетчику Меркурий 201 и Меркурий 206 RN через интерфейс RS-485.

Объект 1: Тепловой шкаф первого этажа, находящийся по адресу: проезд Тихий, 2.

Объект 2: Тепловой шкаф четвертого этажа, находящийся по адресу: проезд Тихий, 4.

Объект3: Лестничная клетка первого этажа, находящаяся по адресу: ул. Московская, 52.

Объект 4: Тепловой шкаф третьего этажа, находящийся по адресу: ул. Московская, 34Б.

Объект 5: Тепловой шкаф девятого этажа, находящийся по адресу: ул. Московская, 34/1.

На рисунке 6 можно рассмотреть местоположение оборудования беспроводной сети LoRaWAN и пролеты экспериментальных радиолиний, на которых проводились измерения качества сигнала.

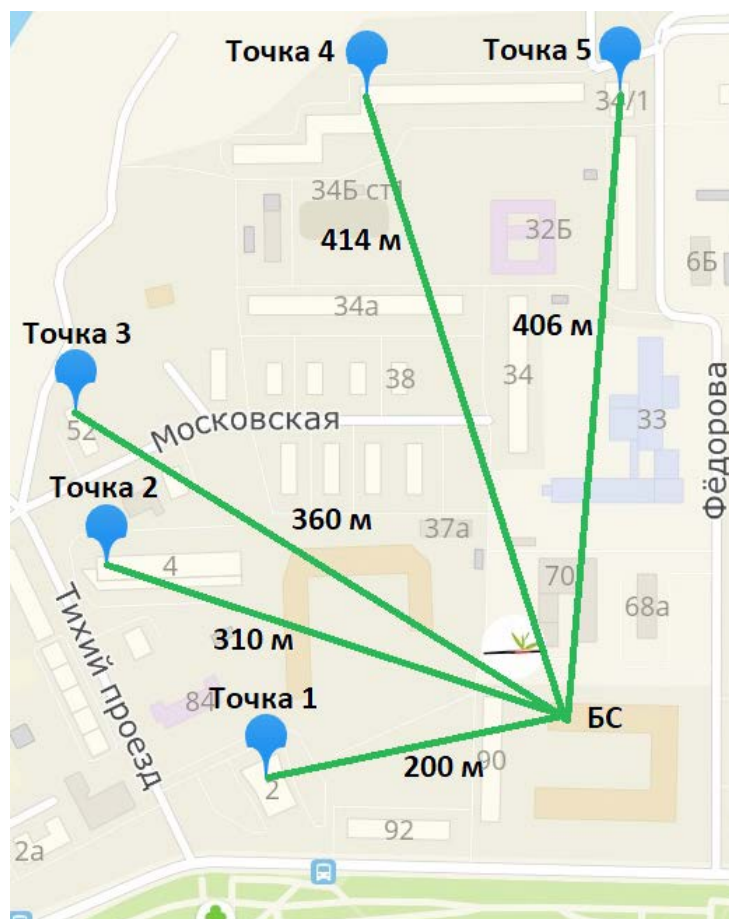


Рисунок 6. Местоположение устройств сети LoRaWAN в 22-м микрорайоне

Результаты измерений качества передаваемого радиосигнала, дальности радиолинии, полной мощности принимаемого приёмником сигнала (RSSI), отношение уровня сигнала к уровню шума (CINR) и варианта размещения антенны представлены в таблице 7.

Таблица 7

№ измерения	Дальность радиолинии, м	Дальность передачи, м		Размещение антенны	RSSI, дБм		CINR, дБ	
		SF12	SF7		SF12	SF7	SF12	SF7
1	200	200	200	На крыше здания	-38	-42	65	42
2	310	310	310		-42	-55	59	38
3	360	360	360		-49	-70	57	36
4	414	414	414		-56	-75	48	35
5	406	406	406		-60	-80	47	38

При размещении антенны БС на крыше здания связь обеспечивается для всех жилых домов 22-го микрорайона в радиусе 450 м. Уровень RSSI при коэффициенте расширения спектра SF12 в самой удаленной точке достиг значения 60 дБм. Зная, что уровень чувствительности у LoRa-устройств равен около 138 дБм, можно сделать вывод, что запас по уровню чувствительности — 78 дБм. При заданном местоположении базовой станции в радиусе покрытия, равной 450 метров, можно заметить достаточно высокий уровень сигнала, что, в свою очередь, допускает установку радиомодулей внутри помещений МКД и при этом надежно и стабильно передавать данные с них [5].

#### 4. Выводы

В ходе выполнения работы были рассмотрены варианты сбора данных, проведен анализ выбора технологии для реализации сети связи, произведен теоретический расчет времени передачи одного пакета через радиointерфейс LoRa и пропускной способности сети LoRaWAN, экспериментально протестирована применимость данной технологии беспроводного сбора данных на примере 22-го микрорайона города Сургута. Из теоретического расчета и экспериментально полученных данных можно сделать вывод, что величина относительной погрешности при расчете времени передачи пакета составила 5,6 %, что демонстрирует большую точность расчетов. Экспериментальная проверка проходимость радиосигнала показала удовлетворительные значения характеристики сети LoRa, это значит, что технология идеально подходит для реализации АСКУЭ, но при условии размещения антенны на крыше здания с целью снижения городских радиопомех.

### Список использованной литературы

1. Роенков Д. Н., Яронова Н. В. Основы технологии LORA. Перспективы ее применения // Автоматика. Связь. Информатика. — 2017. — № 4. — С. 31–35.
2. Руководство разработчика устройств LoRaWANver1.1. — СПб., 2019. — 63 с.
3. Технология связи // Емкость сети LoRa. — URL: <https://itechinfo.ru/content/емкость-сети-lora>. (дата обращения: 01.04.2022).
4. Практический опыт эксплуатации сети LoRaWAN. Заметки IoT-провайдера. — URL: <https://nag.ru/material/32357>. (дата обращения: 01.04.2022).
5. Опыт использования LoRaWAN в системе АСКУЭ в реальных городских условиях. — URL: <https://habr.com/ru/post/419665/>(дата обращения: 01.04.2022).
6. Сеть LoRaWAN на базе оборудования Вега Абсолют // Руководство по разворачиванию сети rev02. — URL: <https://iotvega.com/content/ru/bs/Руководство%20по%20разворачиванию%20сети%20rev02.pdf>. (дата обращения: 01.04.2022).
7. Абонентские сети доступа и технологии высокоскоростных сетей // Лекция : Абонентские сети доступа : версия для печати и PDA. — URL: [http://struk.narod.ru/CNAT/cnat\\_1.html](http://struk.narod.ru/CNAT/cnat_1.html)
8. IOT.RU // LoRaWAN: широкие возможности сети дальнего радиуса. — URL: <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-shirokie-vozmozhnosti-seti-dalnego-radiusa>
9. Цена на Беспроводной счетчик импульсов Вега СИ-11 [Электронный ресурс] // <https://shop.nag.ru> — сайт магазина NAG Shop. — URL: <https://shop.nag.ru/catalog/28584.lorawan/31448.schetchiki-radiomodemy-uspd/26697.vega-si-11> (дата обращения 01.04.2022).
10. Цена на Беспроводной счетчик импульсов Вега СИ-12 [Электронный ресурс] // <https://shop.nag.ru> — сайт магазина NAG Shop. — URL: <https://shop.nag.ru/catalog/28584.lorawan/31448.schetchiki-radiomodemy-uspd/26291.vega-si-12> (дата обращения 01.04.2022).
11. Цена на Беспроводной счетчик импульсов Вега СИ-13-485 [Электронный ресурс] // <https://shop.nag.ru> — сайт магазина NAG Shop. — URL: <https://shop.nag.ru/catalog/28584.lorawan/31448.schetchiki-radiomodemy-uspd/26292.vega-si-13-485> (дата обращения 01.04.2022).

УДК 621

*Кондрашкина Е. Г., Витвицкий В. А.*

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ КАК ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

г. Сургут

**Аннотация.** В статье ставится задача — рассмотреть систему мониторинга и диагностики погружного электродвигателя. Объектом исследования выступает сам погружной электродвигатель, который является одной из двух главных составляющих установки электроцентробежного насоса, применяемой для подъема пластовой жидкости из нефтяных скважин. Рассмотрены основные дефекты, факторы, влияющие на работу, и причины неисправности электропогружных установок. Сделан вывод о необходимости повышения эффективности работы погружных электроустановок путём широкого внедрения систем мониторинга и диагностирования.

**Ключевые слова:** установка электроцентробежного насоса, погружной электродвигатель, эффективность, мониторинг, вибрация, температура.

*Kondrashkina E. G., Vitvitsky V. A.*

Surgut State University Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra, Surgut

## INCREASING THE EFFICIENCY OF USING ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP INSTALLATIONS AS AN ELECTRICAL COMPLEX OF OIL AND GAS ENTERPRISES

**Abstract.** The article aims to consider a system for monitoring and diagnosing a submersible motor. The object of study is the submersible motor itself, which is one of the two main components of the electric centrifugal pump installation used to lift formation fluid from oil wells. The main defects, factors affecting the operation, and the causes of malfunction of electric submersible installations are considered. It is concluded that it is necessary to improve the efficiency of submersible electrical installations through the widespread introduction of monitoring and diagnostic systems.

**Keywords:** installation of an electric centrifugal pump, submersible motor, efficiency, monitoring, vibration, temperature.

Одной из наиболее важных отраслей экономики Российской Федерации является добыча нефти. Количество нефтяных скважин постоянно увеличивается, на данный момент превышает 150 000 единиц. Механизированный подъём — основной вид добычи нефти в нашей стране. Число скважин, которые добывают черное золото с помощью установок электроцентробежных насосов (УЭЦН), за последнее десятилетие выросло на 50%, почти до 100 000. Число скважин, оборудованных штанговым глубинным насосом (ШГН), сократилось на 21%, до 45 000.

Несколько лет назад количество УЭЦН равнялось половине общего фонда, на данный момент их доля составляет 66%. Это обусловливается необходимостью обеспечения высоких значений добычи нефти из скважин во все более сложных геологических условиях.

В 2021 году порядка 81% от общего объёма добычи нефти удалось добыть благодаря установкам электроцентробежных насосов. Необходимо отметить, что показатель среднего межремонтного периода (МРП) фонда нефтяных скважин за этот промежуток времени изменился в лучшую сторону, то есть увеличился в 1,5 раза, приблизительно до 800 суток.

На данный момент реализовано множество методов диагностики и мониторинга погружного электродвигателя. Система мониторинга предназначена для регистрации основных параметров и их непрерывного измерения. Она предоставляет информацию для контроля режима работы погружного электродвигателя. Сбор и обработку информации осуществляют программируемые контролеры в телеметрической системе.

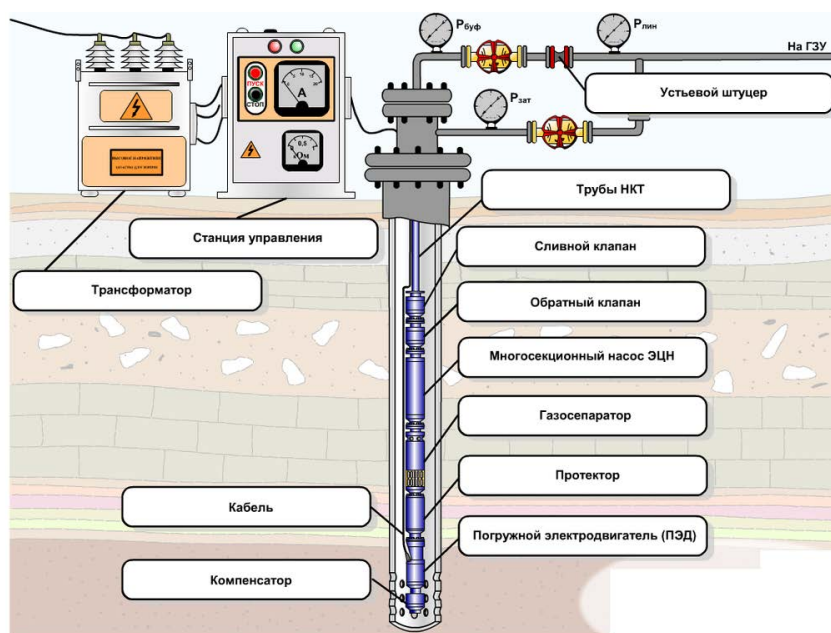


Рисунок 1. Схема УЭЦН



Использование УЭЦН является наиболее эффективным потому, что с их помощью намного проще можно внедрить автоматизацию управления добычей нефти. Основными составляющими установки электроцентробежного насоса, схема узлов которого представлена на рисунке 1, являются центробежный насос (ЦН) и погружной электродвигатель (ПЭД), который выполняет приводную функцию установки — его устройство представлено на рисунке 2.

Используя установку электроцентробежного насоса, выявляется необходимость в постоянном контроле технического состояния из-за отказов в процессе работы. Отказы в основном связаны с конструктивными особенностями УЭЦН — это низкая динамическая жесткость, несоблюдение стандартов при производстве деталей установки. Существует множество дефектов у погружных электродвигателей и центробежных насосов, которые, являясь основными составляющими установки, оказывают значительное влияние на её работоспособность. Соответственно, возникновение дефектов в их конструкции ведёт к нарушению нормальной работы и отказу всей установки в целом. Помимо прочего, высокая температура и различные примеси, находящиеся в скважине, также способны оказывать негативное влияние и затруднять устойчивую работу УЭЦН, что в конце концов приведёт к выходу из строя оборудования и остановке добычи из нефтяной скважины.

Стоит заметить, что улучшение технических показателей работы электродвигателя с помощью проведения постоянной диагностики и мониторинга параметров погружного электрооборудования является экономически более выгодно, нежели совершенствование коэффициента полезного действия или же других показателей эффективности.

Очевидно, что контролировать абсолютно все параметры погружного электродвигателя невозможно, поэтому мы выделяем те, которые обладают наиболее точной и полной информацией о техническом состоянии двигателя. По совокупности ряда причин было сделано заключение о том, что такими параметрами являются температура и вибрация.

Температура как источник информации даёт возможность наблюдать за циклами работы двигателя и анализировать, когда он находится в работе и когда останавливается, для того чтобы охладиться из-за нагрева корпуса. Также следить за исправностью работы оборудования, при достижении максимальной температуры двигатель необходимо остановить, чтобы превышение температурной нормы не стало причиной выхода из строя всей установки.

Вторым параметром, как было изложено выше, является вибрация, её минимизация или отсутствие говорит о высоком качестве и надёжности произведённого

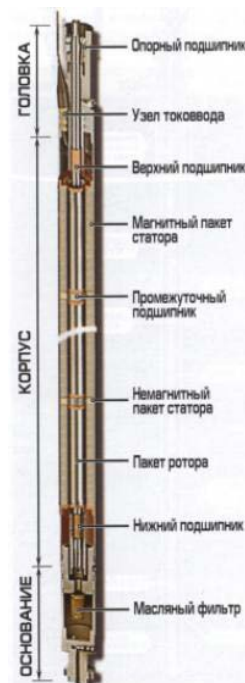


Рисунок 2.  
Устройство погружного электродвигателя

электрического оборудования. Говоря об обратном, брак завода-изготовителя, безответственное проведение испытаний на вибрацию или не выполнение их вовсе приводят к её возрастанию. С помощью наблюдения за данным параметром ПЭД можно составить общую картину технического состояния электродвигателя.

Сегодня предприятия нефтегазодобывающей отрасли проявляют свою заинтересованность к разработкам, способным диагностировать, предсказывать и предотвращать приближающиеся неисправности, вызывающие отказы установок электроцентробежного насоса. Данные системы также можно использовать как устройства предиктивного будущего.

Таким образом, повышение надежности технического обслуживания ПЭД и энергоэффективности можно достичь применением систем мониторинга и диагностики электропогружных установок там, где они до сих пор не применяются, либо модернизацией уже существующих

### Список используемой литературы

1. Китабов А. Н. Система измерения вибрации и температуры погружного электродвигателя // Мавлютовские чтения : сб. тр. в 5 т. Т. 2 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; под ред. Р. А. Бадамшина. — Уфа : УГАТУ, 2009. — С. 106–108.
2. Китабов А. Н. Обнаружение неисправностей погружного электродвигателя по вибрационным параметрам // Мавлютовские чтения : сб. тр. в 5 т. / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; под ред. Р. А. Бадамшина. — Уфа : УГАТУ, 2010. — Т. 2. — С. 107–108.
3. Архипова О. В., Чертов Р. А., Денисенко А. В., Крохалев М. А., Хусаинов Э. И., Балыклов Е. С. Математическая модель погружного асинхронного двигателя как электротехнического комплекса // Инженерный вестник Дона, 2020. — №12. — URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6702](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6702)
4. Международная практическая конференция «Механизированная добыча-2018» // Экспертный Совет по механизированной добыче нефти. — URL: [pumpsovet.com/upload/ctatya\\_pressreliz\\_md\\_2018\\_oil&gas\\_journal\\_№5\\_2018.pdf](http://pumpsovet.com/upload/ctatya_pressreliz_md_2018_oil&gas_journal_№5_2018.pdf) (дата обращения: 01.04.2022г).
5. Китабов, А. Н. Информационно-измерительная система диагностики погружного электродвигателя / А. Н. Китабов, В. П. Токарев // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. — 2011. — Т. 15. — № 1(41). — С. 153–164. — EDN PWTMKV.
6. Кудрявцев, А. В. Повышение информативности измерений вибрации системой погружной телеметрии / А. В. Кудрявцев, И. Р. Енгальчев, А. Н. Китабов // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. — 2011. — № 2. — С. 4–13. — EDN OPBSYH.

УДК 62-52

**Кондрашкина Е. Г., Зиннатуллин А. У., Шулятицкий С. В.**

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

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

г. Сургут

**Аннотация.** Задачи управления производством в последние годы значительно усложнились. Развитие информационных технологий позволило достичь более высокого качества сбора и анализа производственной информации, что привело к повышению степени понимания производственных процессов и обоснованности принимаемых управленческих решений на всех уровнях. Автоматизированные системы обслуживания и ремонта должны совершенствовать план вывода производственных единиц из работы, формируя таким образом график доступности оборудования, который напрямую должен учитываться при календарном планировании производственной деятельности.

**Ключевые слова:** *электрооборудование, диагностика, предписывающее обслуживание.*

**Kondrashkina E. G., Zinnatullin A. U., Shulyatitskij S. V.**

Surgut State University, Surgut

## AUTOMATIC DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF INDUSTRIAL ELECTRICAL EQUIPMENT

Surgut

**Abstract.** The tasks of production management have become much more complicated in recent years. The development of information technologies has made it possible to achieve a higher quality of collection and analysis of production information, which has led to an increased understanding of production processes and the validity of management decisions at all levels. Automated maintenance and repair systems should improve the plan for the withdrawal of production units from work, thus forming a schedule for the availability of equipment, which should be directly taken into account in the calendar planning of production activities.

**Keywords:** *Electrical equipment, automation, diagnostics, prescriptive maintenance.*

Исследование проведено на оборудовании ПАО «Сургутнефтегаз» сетевого района №1 УЭХ и посвящено эффективной концепции прогнозного или «предиктивного» обслуживания и автоматической диагностики состояния высоковольтных асинхронных электродвигателей. При данном подходе проблема оборудования обнаруживается на стадии развития возникших дефектов, что позволяет избежать аварийного выхода оборудования из строя и провести ремонт в более комфортных условиях (рисунок 1). Кроме того, это приведет к экономии на объеме и сроках закупки запасных частей.

В работе рассмотрен способ обслуживания промышленного электрооборудования с применением системы предиктивного анализа Smart Signal, предложено комплексное решение для предписывающего обслуживания промышленного оборудования, разработана цифровая аналитическая платформа и выполнен экономический расчёт.



Рисунок 1. Типичные этапы деградации оборудования и технологии технического обслуживания

Ключевым преимуществом предложенного комплексного решения является применение алгоритмов Similarity Based Modelling, являющихся развитием общеизвестного метода опорных векторов. В реальном времени программный комплекс Smart Signal сравнивает актуальные показания датчика с предсказаниями модели, описывающей нормальное функционирование оборудования. Неисправность работы можно представить в виде суммы векторов, представляющих точку

на графике. Отдаленность точки от шаблона нормальной работы позволяет точнее определить причину неисправности в работе электрооборудования (рисунок 2). Преимуществом решения является большое количество готовых библиотек шаблонов работы оборудования, а также типовых причин неисправностей. В работе изучены методы математического моделирования, затронуты облачные технологии хранения и обработки данных.

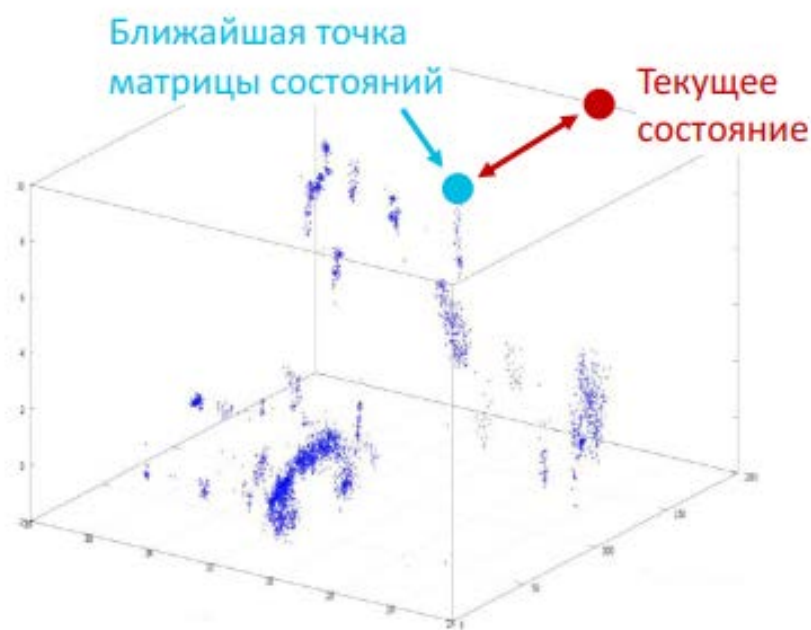


Рисунок 2. Графическая интерпретация модели Similarity Based Modelling

### Список использованной литературы

1. Cornelius Scheffer, Paresh Girdhar. Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. — 2004. — 254с.
2. Ming Xu, Ph. D. Spike energy measurement and case histories. — 2016. — 15 с.

УДК 621.314.6

*Халатов М. С.<sup>1</sup>, Нейман Л. А.<sup>1</sup>, Нейман В. Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОРТОГОНАЛЬНЫХ СХЕМАХ ТРЕХФАЗНЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** Применение в электротехнических комплексах и системах, реализующих ортогональный принцип построения интегрированных в многопульсные выпрямители трансформаторных преобразователей числа фаз при условии обеспечения угла коммутации при нарушениях конструктивной симметрии, может стать одним из путей повышения электромагнитной совместимости выпрямителей с питающей сетью. В работе представлены обобщенные зависимости, позволяющие определять угол коммутации выпрямителя при всевозможных конструктивных несимметриях в реализующих ортогональный принцип построения трансформаторных преобразователей числа фаз.

**Ключевые слова:** преобразователь числа фаз; ортогональные схемы выпрямителей; угол коммутации; конструктивная несимметрия.

*Khalatov M. S.<sup>1</sup>, Neiman L. A.<sup>1</sup>, Neiman V. Yu.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## RESEARCH OF SWITCHING PROCESSES IN ORTHOGONAL CIRCUITS OF THREE-PHASE RECTIFIERS FOR POWER SUPPLY SYSTEMS OF ELECTRIC VEHICLES

*Novosibirsk*

**Abstract.** The use in electrical complexes and systems that implement the orthogonal principle of construction of transformers integrated into multipulse rectifiers of the number of phases, provided that the switching angle is provided in case of structural symmetry violations, can become one of the ways to improve the electromagnetic compatibility of rectifiers with the supply network. The paper presents generalized dependencies that make it possible to determine the switching angle of the rectifier with all kinds of structural asymmetries in transformer converters of the number of phases that implement the orthogonal principle of construction.

**Keywords:** phase number converter; orthogonal rectifier circuits; switching angle; structural asymmetry.

Статические преобразователи электрической энергии, как обладающие неоспоримыми технико-экономическими преимуществами, получили широкое применение во многих отраслях производства. Тенденция развития устройств преобразовательной техники, основанной на полупроводниковых приборах, широко применяемых в электротехнических комплексах и системах, привело к снижению качества электроэнергии и ухудшению их электромагнитной совместимости с питающей сетью [1, 5].

Одним из решением данной проблемы может быть выбор оптимальной структуры интегрированного в многопульсный выпрямитель трансформаторного преобразователя числа фаз. По мнению ряда исследователей, работающих в данной области, увеличение фазности таких преобразователей позволяет не только увеличить кратность частоты пульсаций выходного напряжения, но и повысить качество выходного выпрямленного напряжения [4, 7].

Интегрированные в трансформаторные преобразователи числа фаз схемотехнические решения многопульсных выпрямителей, основанные на достижениях в области преобразовательной техники и трансформаторостроения, по многим критериям удовлетворяют требованиям электромагнитной совместимости.

Однако вопрос выбора схемотехнического решения построения таких преобразователей все-таки не теряет своей актуальности. И это связано прежде всего с тем, что значительное количество доступных в настоящее время результатов исследований основаны на анализе электромагнитных процессов многофазных преобразователей, построенных по традиционным эквивалентным схемам выпрямления.

Традиционные схемы выпрямления основаны на принципе формирования многофазной системы ЭДС посредством различных схем соединения обмоток многообмоточных трансформаторов. Применение различных схем соединения позволяет обеспечивать сдвиги между векторами напряжений обмоток на угол  $2\pi/m$  ( $m$  — число пульсаций выпрямленного напряжения) и возможность формирования многофазной системы с фазностью, кратной трем. Что, несомненно, является одним из основных недостатков.

В этой связи определенный интерес представляют технические решения реализующих ортогональный принцип построения интегрированных в многопульсные выпрямители трансформаторных преобразователей числа фаз по схеме Скотта, позволяющие обеспечить любую кратность пульсации выходного напряжения [3, 7].

Анализ электромагнитных процессов в таких преобразователях следует проводить с учетом взаимного влияния элементов схем трансформаторного преобразователя числа фаз и элементов схемы выпрямления, адекватно отражающего протекающие в них физические процессы [7]. Однако наиболее часто принимаемые другими исследователями допущения основаны на идеализации трансформаторных преобразователей числа фаз и его абсолютной симметрии, пренебрегая сопротивлением и индуктивностью рассеяния его обмоток. Принимаемые допущения по-

звоняют получать соотношения между основными параметрами многопульсных выпрямителей, не отражая происходящих в схемах реальных процессов.

Так, имеющаяся в реальных трансформаторных преобразователях индуктивность рассеяния обмоток обуславливает длительность переходного процесса переключения тока с одного вентиля на другой, в течение которой ток одной фазы снижается, а другой — увеличивается. Следовательно, мгновенная коммутация вентиля в реальных цепях невозможна.

Выпрямление тока, осуществляемое с помощью полупроводниковых устройств, тесно связано с процессами коммутации, широкое использование и распространение которых требует точного учета определяющих их факторов. В частности, важным является вопрос о степени влияния конструктивной несимметрии трансформаторного преобразователя числа фаз на угол перекрытия и на выпрямленное напряжение в зоне коммутации.

В случае конструктивной несимметрии для установившегося режима при допущении прямолинейного характера коммутации (без учета активных сопротивлений обмоток трансформатора и идеальных характеристик вентиля) математическое описание коммутационных процессов для схем выпрямления без привязки к конкретной структуре может быть описано системой уравнений, в которых определяющие величины связаны через число пульсации выпрямленного напряжения [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = \psi_0 - \psi_{\text{ком}}; \\ \psi_{\text{ком}} = \pi - \psi_1 + \operatorname{arctg} \left[ \frac{\sin(\psi_1 - \psi_2)}{\cos(\psi_1 - \psi_2) - \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}}} \right]; \\ \psi_k = \frac{2\pi}{m}(1-k), \quad k = 1, 2, 3, \dots; \\ \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_0 + \psi_1) - \cos(\psi_0 + \psi_2) = \\ = \frac{I_0 2\omega L_s}{E_{m_2}} + \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_{\text{ком}} + \psi_1) - \cos(\psi_{\text{ком}} + \psi_2) \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $\gamma$  — угол, характеризующий относительное время длительности процесса коммутации;

$\psi_{\text{ком}}$  — угол начала коммутации коммутирующих ЭДС;

$\psi_0$  — угол окончания коммутации вентиля;

$I_0 = i_{(1-k)} + i_k$  — ток активно-индуктивной нагрузки при абсолютном сглаживании;

$i_{(1-k)}$  и  $i_k$  — интервалы времени проводимости токов;



$\psi_k = \frac{2\pi}{m}(1-k)$  — угол сдвига по фазе коммутирующих напряжение ЭДС;

$L_s$  — величина эквивалентных индуктивностей трансформатора, определяющая продолжительность интервалов прохождения тока в межкоммутационном интервале за счет энергии, накопленной в индуктивности;

$E_{m_1}$  и  $E_{m_2}$  — амплитуда выпрямленной ЭДС фаз.

Преобразуя последнее выражение в (1) к виду

$$\begin{aligned} & \cos \psi_0 \left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos \psi_1 - \cos \psi_2 \right) - \sin \psi_0 \left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \sin \psi_1 + \sin \psi_2 \right) = \\ & = \frac{I_0 2\omega L_s}{E_{m_2}} + \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_1) - \cos(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_2) \end{aligned} \quad (2)$$

получаем зависимость между углом окончания коммутации вентилей  $\psi_0$  и влиянием индуктивности рассеяния через составляющую  $\frac{I_0 2\omega L_s}{E_{m_2}}$ , входящую в (2).

При рассмотрении нормальных режимов работы преобразователя, полагая  $\cos \psi_0 = 1 - \frac{\psi_0}{2}$  и  $\cos \psi_0 = \psi_0 - \frac{\psi_0^3}{6}$ , ограничиваясь первыми двумя членами разложения в ряд, погрешность при величине угла окончания коммутации вентилей  $\psi_0 < 59^\circ$ , погрешность в вычислениях составила 10%, а при величине  $\psi_0 < 38^\circ$  погрешность составляет менее 1%.

Принимая за начало отсчета времени коммутации вентилей равенство электродвижущих сил источников, что соответствует углу  $\omega t = 0$ , угол окончания коммутации с учетом длительности процесса ( $\gamma$ ) составит угол  $\psi_0 = \psi_{\text{КОМ}} + \gamma$ . Уравнение (2) преобразуется

$$\begin{aligned} & \left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_1) - \cos(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_2) \right) \cos \gamma - \\ & - \left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \sin(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_1) - \sin(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_2) \right) = \\ & = \frac{I_0 2\omega L_s}{E_{m_2}} + \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_1) - \cos(\psi_{\text{КОМ}} + \psi_2) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

На основании выполненных расчетов, позволивших выявить количественную связь между основными параметрами (кратность пульсации выпрямленного напряжения и амплитуда фазных ЭДС углов коммутации)

$$\left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} = \frac{\sin\left(\psi_{\text{КОМ}} - \frac{2\pi}{m}\right)}{\sin \psi_{\text{КОМ}}} \right),$$

выражение (3) преобразуется к виду

$$\cos \gamma = \frac{I_0 2\omega L_s}{\left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_{\text{ком}} + \psi_1) - \cos(\psi_{\text{ком}} + \psi_2) \right) E_{m_2}} + 1. \quad (4)$$

Таким образом, выражение для угла коммутации с учетом длительности процесса коммутации, обусловленного конструктивной несимметрией (4), примет вид

$$\gamma = \arccos \left[ \frac{\frac{I_0 2\omega L_s}{E_{m_2}}}{\left( \frac{E_{m_1}}{E_{m_2}} \cos(\psi_{\text{ком}} + \psi_1) - \cos(\psi_{\text{ком}} + \psi_2) \right)} + 1 \right]. \quad (5)$$

Полученное выражение (5) является обобщенной зависимостью, позволяющей определять угол коммутации выпрямителя при всевозможных конструктивных несимметриях в реализующих ортогональный принцип построения трансформаторных преобразователей числа фаз.

### Список использованной литературы

1. Бадер М. П. Электромагнитная совместимость. — Москва : УМК МПС, 2002. — 638 с.
2. Ворфоломеев Г. Н., Нейман Л. А. Влияние несимметрии напряжений многопульсного выпрямителя с трансформаторным преобразователем числа фаз по схеме Скотта // Электротехника. — 2007. — № 9. — С. 60а–64.
3. Ворфоломеев Г. Н., Нейман Л. А. Исследование коммутационных процессов в многопульсных схемах выпрямления // Электротехника, электромеханика, электротехнологии / под редакцией Н. И. Щурова. — Новосибирск : НГТУ, 2005. — С. 54 — 56.
4. Здрок, А. Г., Самотин А. А. Выпрямительные устройства электропитания и управления (теория и расчет). Москва : Энергия, 1975. — 328 с.
5. Зиновьев, Г. С. Основы силовой электроники. — Новосибирск : НГТУ, 2003. — 664 с.
6. Малинин Л. И., Нейман В. Ю. Теория цепей современной электротехники. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. — 347 с.
7. Палванов В.Г. Шестифазные мостовые преобразователи //Электричество. — 1974. — №6. — С. 79–81.

УДК 621.311

*Чирятьев К. В.<sup>1</sup>, Лаптев Д. С.<sup>2</sup>, Кислицин Е. Ю.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ПАО «Сургутнефтегаз», УВСИНГ, УЭХ, г. Сургут

<sup>2</sup> Филиал ПАО «ОГК-2» Сургутская ГРЭС-1, г. Сургут

<sup>3</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», г. Сургут

## ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье рассматривается возможность применения возобновляемых источников энергии для электроснабжения объектов нефтегазовой отрасли, находящихся на большом расстоянии от централизованной системы электроснабжения. Рассматриваются основные потребители электроэнергии, для которых возможно применение гибридных электростанций, указываются достоинства и недостатки такого метода электроснабжения.

**Ключевые слова:** *возобновляемые источники энергии, гибридные электростанции, нефтегазовая отрасль.*

*Chiryatev K. V.<sup>1</sup>, Laptev D. S.<sup>2</sup>, Kislitsin E. Yu.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Surgutneftegas, UVSING, UEH, Surgut

<sup>2</sup> Branch «OGK-2» Surgut Power Station — 1, Surgut

<sup>3</sup> Surgut State University, Surgut

## APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR POWER SUPPLY OF OIL AND GAS FACILITIES

*Surgut*

**Abstract.** The article discusses the possibility of using renewable energy sources for power supply of oil and gas industry facilities located far away from centralized power supply system. Considered the main consumers of electricity and indicated advantages and disadvantages of this method of power supply.

**Keywords:** *renewable energy sources, hybrid power plants, oil and gas industry.*

Добыча нефти и газа играет большую роль в бюджете современной России, так как 35,8% доходов страны происходят из этой отрасли [2]. Нефтегазовый комплекс оказывает большое влияние на экономику и всю страну в целом. Ежегодно происходит увеличение объемов добычи, транспортировки и переработки сырья, что ведет к необходимости увеличения электропотребления на нужды отрасли. От этого возникает необходимость введения дополнительных мощностей, повышения энергоэффективности производства и необходимость энергосбережения ресурсов.

Одной из проблем является удаленность объектов нефтегазодобычи от централизованной системы электроснабжения на десятки и сотни километров. Производственный процесс требует обеспечения бесперебойности и высокой надежности электроснабжения. Основными потребителями электроэнергии на нефтегазовых месторождениях являются: системы электрообогрева трубопроводов; электродвигатели погружных насосов и систем поддержания пластового давления. В случае остановки добычи могут быть возможны: опасности, связанные с угрозой жизнью и здоровью персонала, недоотпуск продукции, экологические катастрофы. В связи с этим электроснабжение потребителей нефтегазовой отрасли должно осуществляться от резервируемых источников питания, способных обеспечивать постоянное снабжение электроэнергией при любых условиях. В качестве основных источников будут рассматриваться возобновляемые источники электроэнергии, а именно гибридные электростанции на основе энергии солнца и ветра.

Одними из основных недостатков, влияющих на возможность применения гибридных электростанций, являются:

- невозможность прогнозирования и регулирования вырабатываемой мощности в связи с прямой зависимостью вырабатываемой электроэнергии от силы ветра и излучения солнца в конкретный момент времени;
- необходимость установки большого числа ветрогенераторов и солнечных панелей для покрытия нагрузок, что ведет к существенному увеличению установленной мощности электростанции;
- потребность в больших площадях земельных участков, в сравнении с традиционными источниками питания;

Согласно данным, приведенным в таблице 1 [3], для объекта с условной нагрузкой 1 МВт, требуется:

Приведенные данные позволяют говорить о том, что применение гибридных электростанций для особо важных и энергоемких потребителей нефтегазовых месторождений на данном этапе развития является нецелесообразным.

Однако, помимо основных потребителей, существуют объекты небольшой мощности, в пределах до 20 кВт, находящиеся существенно далеко от источников питания. К подобным потребителям относятся:

- мощностью до 1 кВт: системы контроля загазованности;
- мощностью до 5 кВт: электрифицированные узлы запорной арматуры трубопроводов, предназначенных для транспорта нефти и газа;
- мощностью до 10-20 кВт: электроснабжение газораспределительных станций, узлов редуцирования газа, установки одоризации газа, установки электрохимической защиты трубопроводов от коррозии.

Таблица 1. Сравнение гибридных и газопоршневых электростанций

Параметры	Электростанция	
	Гибридная	Газопоршневая
Установленная мощность, МВт	16	2,5
Занимаемая площадь, км <sup>2</sup>	0,16	0,0015
Капитальные вложения, млрд руб	1,56	0,22

Обычно электроснабжение таких потребителей осуществляется от воздушных линий электропередачи 6(10) кВ, с установкой по месту комплектных трансформаторных подстанций 6(10)/0,4 кВ. Протяженности трубопроводов составляют десятки, а иногда и сотни километров, что делает экономически невыгодным применение воздушных линий на всем протяжении участка. Использование гибридных электростанций для электроснабжения подобных объектов может быть более рациональным решением. Это поможет отказаться от строительства протяженных линий электропередачи высокого напряжения и разместить гибридные электростанции непосредственно рядом с электроприемниками.

Преимуществами данного подхода являются:

- большой уровень автономности;
- отсутствие необходимости применения топливных ресурсов для выработки электроэнергии;
- достаточный ветро-солнечный потенциал на территории России для применения возобновляемых источников энергии (рисунки 1, 2, 3) [1];
- постоянное развитие и рост эффективности используемых возобновляемых источников энергии;
- долгий срок службы (более 20 лет) гибридных электростанций и их достаточный уровень надежности;

- низкий уровень эксплуатационных затрат и периодичность технического обслуживания не более одного раза в год;
- функционирование источников электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии с применением дистанционных систем управления, с отсутствием технологического и технического персонала на объекте;
- высокая экологичность применяемых электроустановок.

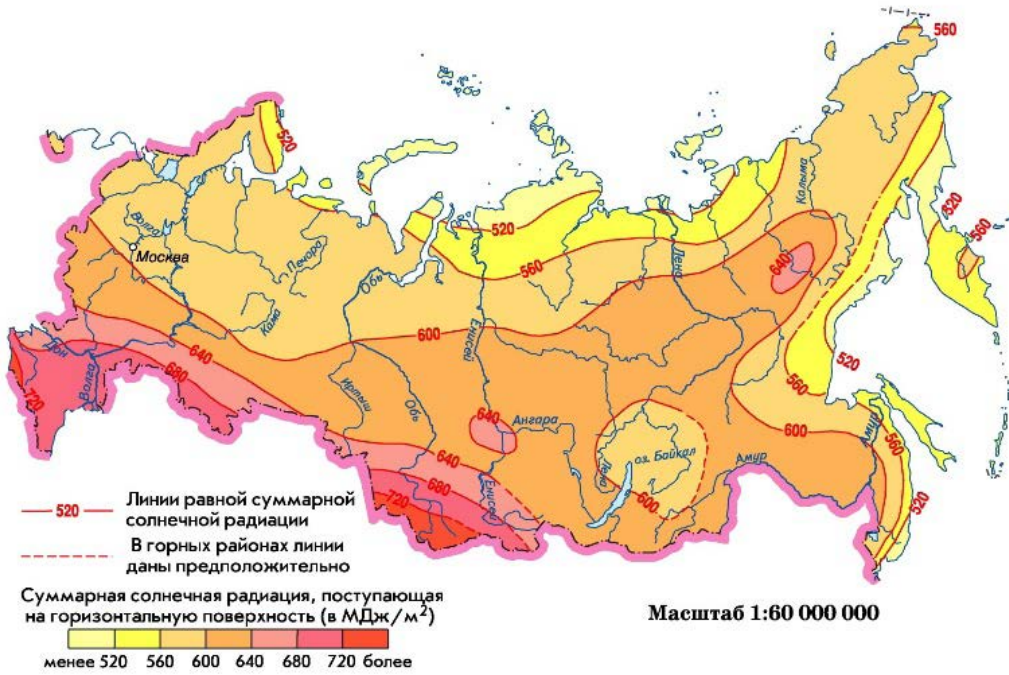


Рисунок 1. Карта распределения солнечной активности на территории России

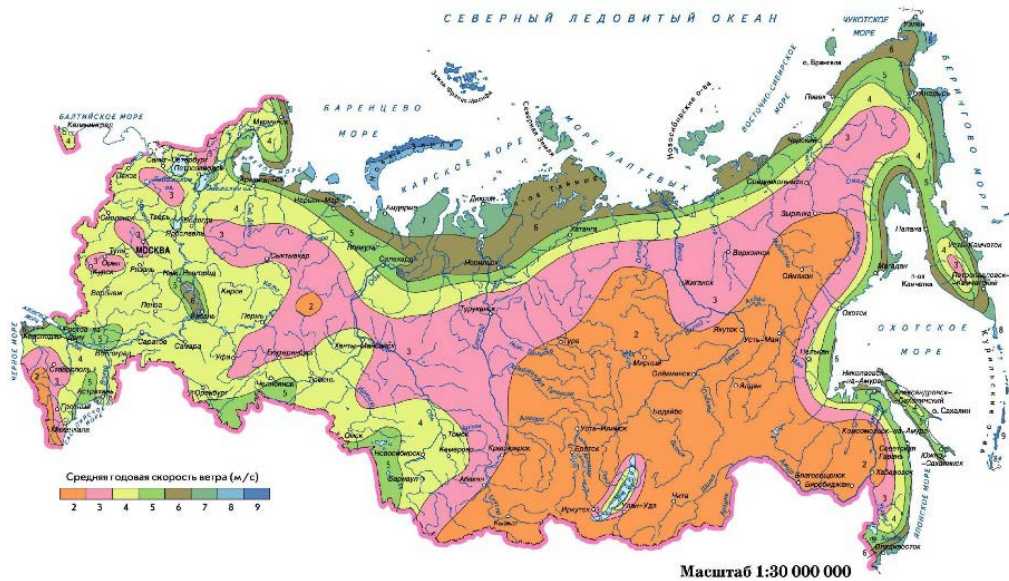


Рисунок 2. Карта распределения ветровой активности на территории России

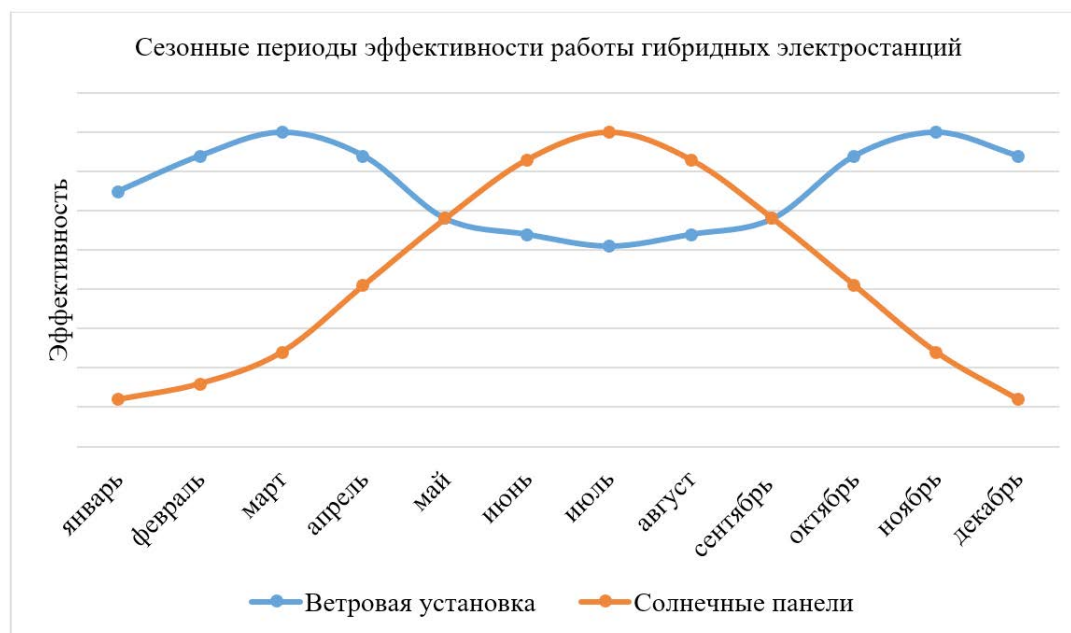


Рисунок 3. Эффективность применения гибридных электростанций

Таким образом, наиболее рациональным и экономически выгодным вариантом использования ветро-солнечных электростанций на объектах нефтегазовых месторождений является их применение в качестве автономных источников электроэнергии на удаленных от централизованной сети объектах с потребителями небольшой мощности. Также важно предусматривать возможность резервирования с применением аккумуляторных батарей для покрытия пиковых нагрузок.

### Список использованной литературы

1. Голубев С. В. Возобновляемые источники энергии в энергетике газовой отрасли. Перспективы и аспекты применения ВИЭ на объектах ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. — 2016. — № 12/746. — С. 72–76.
2. Министерство финансов Российской Федерации. — URL: [https://minfin.gov.ru/ru/statistics/fedbud/execute/?id\\_65=80041yezhegodnaya\\_informatsiya\\_ob\\_ishpolnenii\\_federalnogo\\_byudzheta\\_dannye\\_s\\_1\\_yanvary\\_a\\_2006\\_g](https://minfin.gov.ru/ru/statistics/fedbud/execute/?id_65=80041yezhegodnaya_informatsiya_ob_ishpolnenii_federalnogo_byudzheta_dannye_s_1_yanvary_a_2006_g). (дата обращения: 02.04.2022).
3. Туровин О. А., Огнев Е. Н., Кочнев А. Е. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве альтернативного источника электроснабжения нефтяных объектов компании «Газпром нефть» // ПРОнефть. — 2017. — № 2. — С. 69–74.

УДК 004.942

***Вильбергер М. Е.<sup>1</sup>, Попов Н. С.<sup>1</sup>, Аносов В. Н.<sup>1</sup>, Погосян А. А.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», г.  
Новосибирск

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** Алгоритм предназначен для компьютерного исследования тяговой системы электрического безрельсового транспортного средства и позволяет реализовать энергоэффективный режим работы системы стабилизации скорости безрельсового транспортного средства. Разработанный и реализованный в данной программе алгоритм позволяет в автоматическом режиме осуществлять переход в энергоэффективный режим работы с сохранением динамических характеристик транспортного средства.

**Ключевые слова:** *электромобиль, нечеткая логика, алгоритм управления, запас хода, энергоэффективность.*

***Vilberger M. E.<sup>1</sup>, Popov N. S.<sup>1</sup>, Anosov V. N.<sup>1</sup>, Pogosyan A. A.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## ALGORITHM FOR CALCULATION OF THE CONTROL PARAMETERS OF THE DESIGNER FOR THE OPTIMAL DISCHARGE OF ELECTRIC VEHICLE BATTERIES

*Novosibirsk*

**Abstract.** The algorithm is designed for computer research of the traction system of an electric trackless vehicle and allows implementing an energy-efficient mode of operation of the trackless vehicle speed stabilization system. The algorithm developed and implemented in this program allows you to automatically switch to an energy-efficient mode of operation while maintaining the dynamic characteristics of the vehicle.

**Keywords:** *electric car, fuzzy logic, control algorithm, power reserve, energy efficiency.*

Вследствие усиления экологических требований к используемым транспортным средствам, повышения стоимости энергоресурсов, а также развития новых



источников энергии приобретает актуальность вопрос о первоочередных направлениях развития подвижного состава безрельсового электротранспорта. Основной проблемой электрических транспортных средств на сегодняшний день является малый запас автономного хода по сравнению с традиционными транспортными средствами на базе двигателей внутреннего сгорания. Разработка новых алгоритмов управления, исследование особенностей их использования в системе тягового электропривода является актуальной задачей, стоящей перед специалистами. Решение этой задачи приведет в конечном итоге к разработке и созданию энергоэффективного транспортного средства.

На рисунке 1 представлена классическая система стабилизации скорости электрического безрельсового транспортного средства на базе бесколлекторного двигателя постоянного тока BLDC в составе мотор-колеса, с питанием от автономного инвертора напряжения АИН. Питание всей системы осуществляется от блока аккумуляторной батареи АКБ, для согласования уровня напряжений звена постоянного тока ЗПТ и АКБ применяется понижающий DC-DC преобразователь [1]. Блок АКБ включает в себя сборку аккумуляторов и систему управления [2].

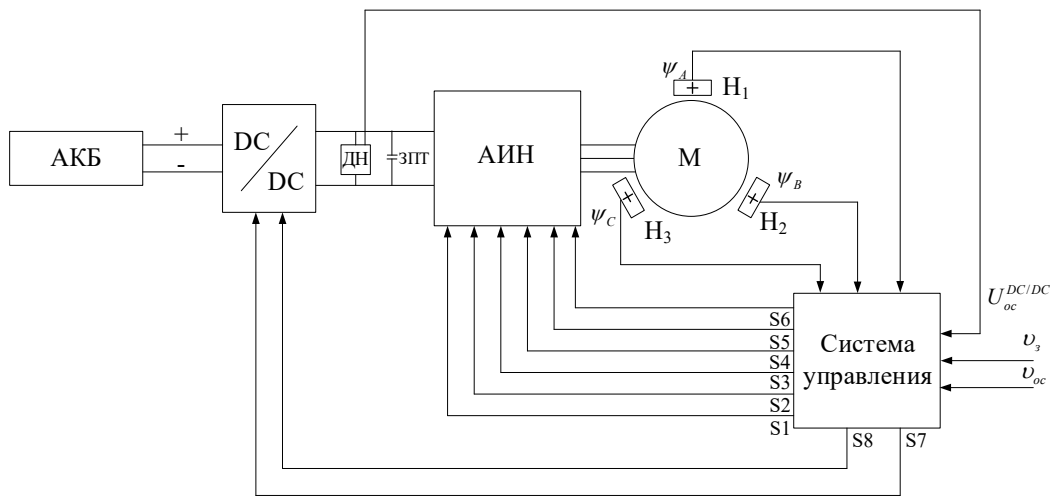


Рисунок 1. Функциональная схема системы стабилизации линейной скорости движения безрельсового транспортного средства

Система стабилизации скорости включает в себя три контура регулирования. Внешний контур регулирования — контур стабилизации линейной скорости транспортного средства на базе ПИД-регулятора. В качестве сигнала задания понимается сигнал, формируемый водителем, поступающий с акселератора. Сигнал обратной связи — это сигнал с датчика линейной скорости транспортного средства. Следующим, подчиненным ему контуром, является контур стабилизации угловой частоты вращения мотор-колеса (или контур регулирования оборо-

тов). В качестве сигнала задания понимается сигнал с выхода ПИД-регулятора, а сигнал обратной связи — это сигнал с датчика угловой частоты вращения — BR. Внутренний контур регулирования — это контур стабилизации напряжения ЗПТ на базе ПИ-регулятора напряжения ПИ РН. В качестве сигнала задания выступает сигнал с выхода ПИ-регулятора угловой частоты вращения мотор-колеса, а в качестве сигнала обратной связи — сигнал с датчика напряжения ДН звена постоянного тока. Выходным сигналом регулятора ПИ РН является скважность  $\gamma$ , необходимая для формирования коммутационных функций  $S_7$  и  $S_8$  алгоритма переключения ключей DC-DC преобразователя. Переключение ключей АИН выполняется за счет таблицы переключений в функции углового положения ротора BLDC, при этом формируются коммутационные функции  $S_1$  —  $S_6$  на соответствующие ключи АИН. Угловое положение ротора BLDC оценивается при помощи трех датчиков Холла  $H_1$  —  $H_3$ , установленных в каждой фазе двигателя и выполняющих измерение потокосцеплений  $\Psi_A, \Psi_B, \Psi_C$ .

На рисунке 2 представлена функциональная схема предлагаемого алгоритма стабилизации линейной скорости движения безрельсового транспортного средства с применением нечеткой логики.

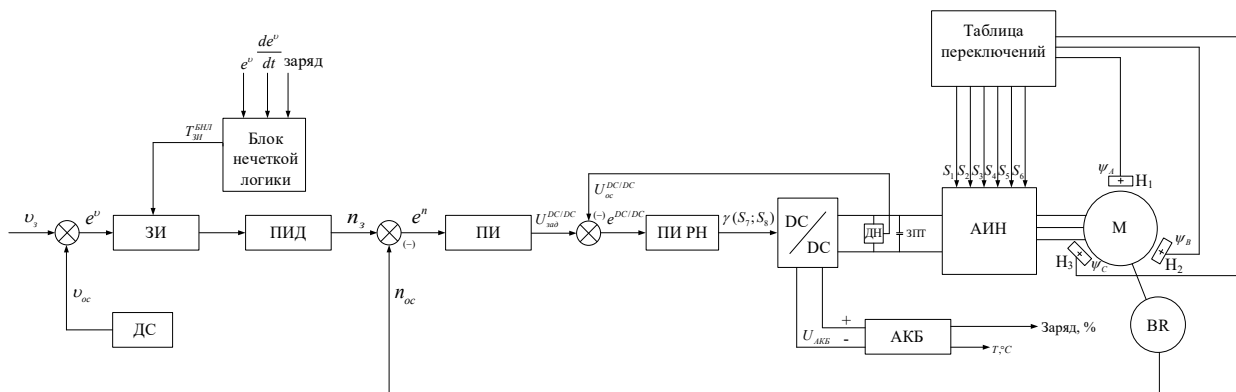


Рисунок 2. Функциональная схема алгоритма стабилизации линейной скорости движения безрельсового транспортного средства с применением нечеткой логики

Классическая система дополнена задатчиком интенсивности ЗИ с настраиваемой постоянной времени  $T_{ЗИ}^{БНЛ}$ , управляемым блоком нечеткой логики БНЛ [3]. В системе возможны три режима работы: экономичный, нормальный и динамичный.

Блок нечеткой логики БНЛ выполняет функцию управления режимами работы системы стабилизации линейной скорости безрельсового транспортного средства, воздействуя на постоянную времени задатчика интенсивности и автоматически переводя всю систему стабилизации линейной скорости в экономичный режим с целью увеличения запаса хода безрельсового транспортного средства. Однако,

блок нечеткой логики БНЛ сохраняет динамические характеристики автомобиля, при необходимости автоматически переводя систему управления безрельсового транспортного средства в нормальный или динамичный режим работы.

Входными сигналами для БНЛ являются сигнал  $e^v$ ,  $\frac{de^v}{dt}$  и заряд АКБ, значение которого поступает с системы управления АКБ. Выходной сигнал БНЛ — это постоянная времени задатчика интенсивности  $T_{ЗИ}^{БНЛ}$ , вычисление которой производится алгоритмами БНЛ, оптимизированными на увеличение запаса хода безрельсового транспортного средства.

Рассмотренный алгоритм поясняет блок схема, представленная на рисунке 3.

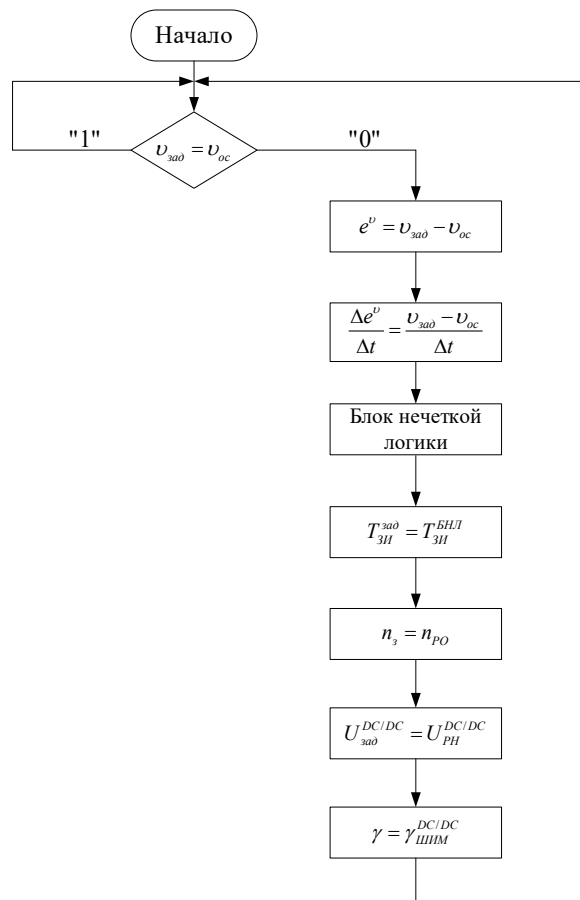


Рисунок 3. Блок-схема программы алгоритма

На рисунке 3 были приняты следующие обозначения:  $v_з$  — сигнал задания на линейную скорость,  $v_{ос}$  — сигнал обратной связи по линейной скорости,  $e^v$  — сигнал ошибки регулирования,  $\frac{\Delta e^v}{\Delta t}$  — первая производная по ошибке регулирования,  $T_{ЗИ}^{зад}$  — постоянная времени задатчика интенсивности,  $n_з$  — сигнал задания на контур стабилизации угловой частоты вращения,  $n_{рО}$  — сигнал с выхода регулятора линейной скорости,  $U_{зад}^{DC/DC}$  — сигнал задания на ПИ РН,  $U_{РН}^{DC/DC}$  — сигнал

с выхода регулятора стабилизации угловой частоты вращения,  $\gamma$  — скважность,  $\gamma_{ШИМ}^{DC/DC}$  — сигнал с выхода регулятора напряжения DC-DC преобразователя [4].

Система работает в режиме поддержания заданной линейной скорости движения безрельсового транспортного средства. При возникновении сигнала ошибки, связанного с изменением сигнала задания или линейной скорости электромобиля, запускается алгоритм стабилизации линейной скорости безрельсового транспортного средства с применением блока нечеткой логики БНЛ [5]. В зависимости от текущих параметров движения и заряда АКБ определяется режим работы системы стабилизации линейной скорости движения безрельсового транспортного средства [6].

На рисунке 4 представлена структурная схема алгоритма стабилизации линейной скорости движения безрельсового транспортного средства с применением нечеткой логики в программном комплексе MATLAB.

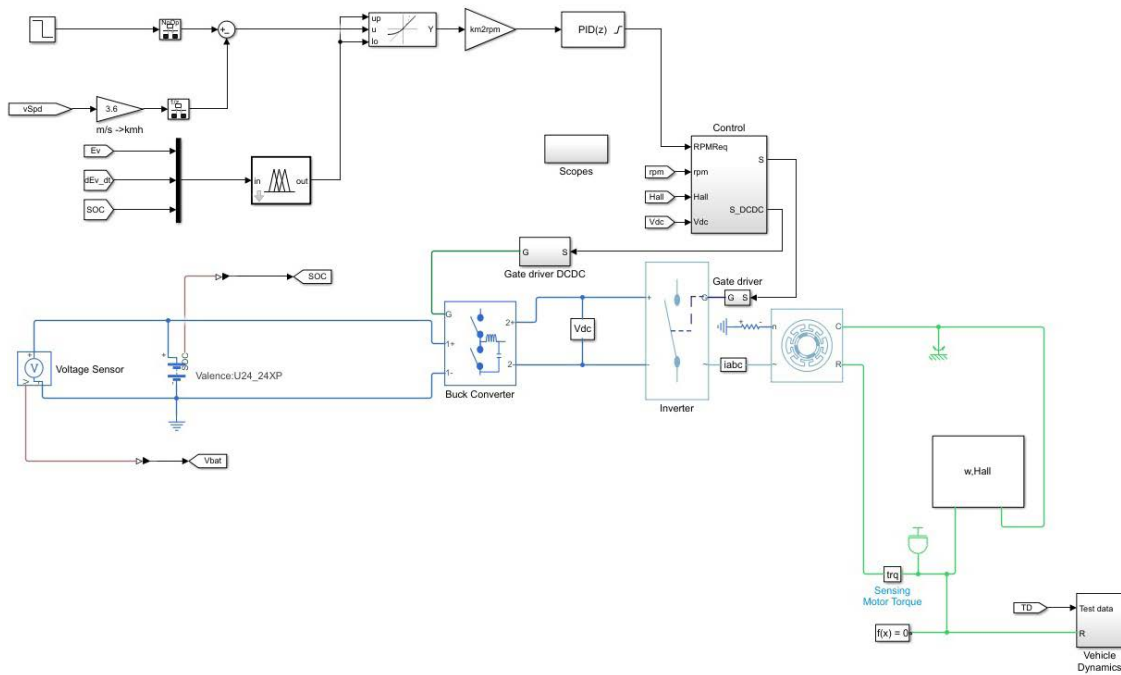


Рисунок 4. Структурная схема алгоритма стабилизации линейной скорости движения безрельсового транспортного средства с применением нечеткой логики в программном комплексе MATLAB

На рисунках 5–7 представлены переходные процессы по линейной скорости электромобиля, току статора и разряду аккумуляторной батареи при разгоне транспортного средства от 0 до 100 км/ч соответственно.

Анализ представленных переходных процессов демонстрирует влияние настройки регулятора линейной скорости на кривую разряда аккумуляторной

батареи. Оптимизация разряда аккумуляторной батареи возможна за счет соответствующей настройки регулятора линейной скорости. Настройка регулятора скорости, исходя из требований к оптимизации разряда аккумуляторной батареи, ухудшает динамические показатели тяговой системы. Настройка регулятора скорости, исходя из требований к быстродействию системы, увеличивает скорость разряда аккумуляторной батареи. Применение регулятора на основе нечеткой логики в данном случае оправдано, поскольку позволяет совместить в себе преимущества обоих вариантов настройки регулятора скорости.

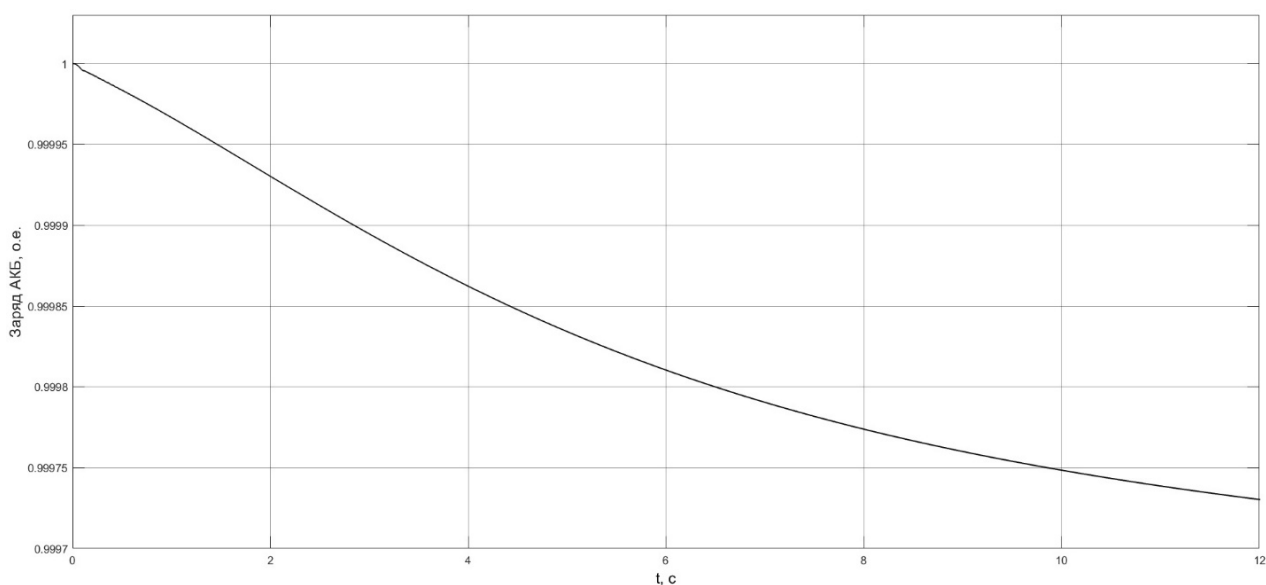


Рисунок 5. Линейная скорость автомобиля при разгоне от 0 до 100 км/ч

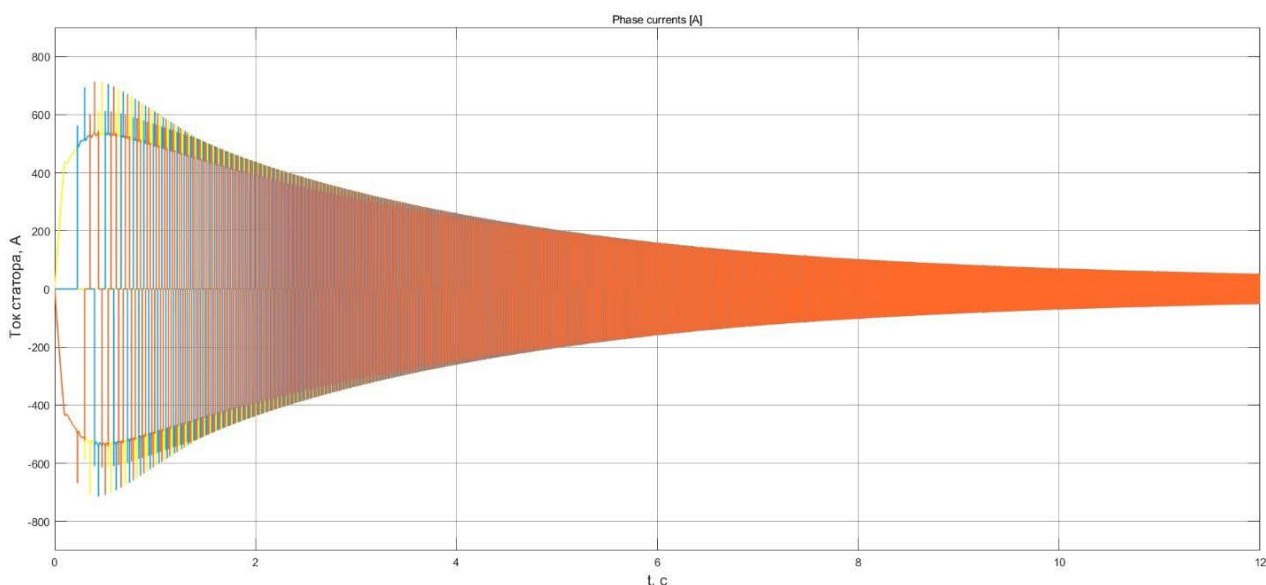


Рисунок 6. Переходные процессы по току статора BLDC при разгоне от 0 до 100 км/ч

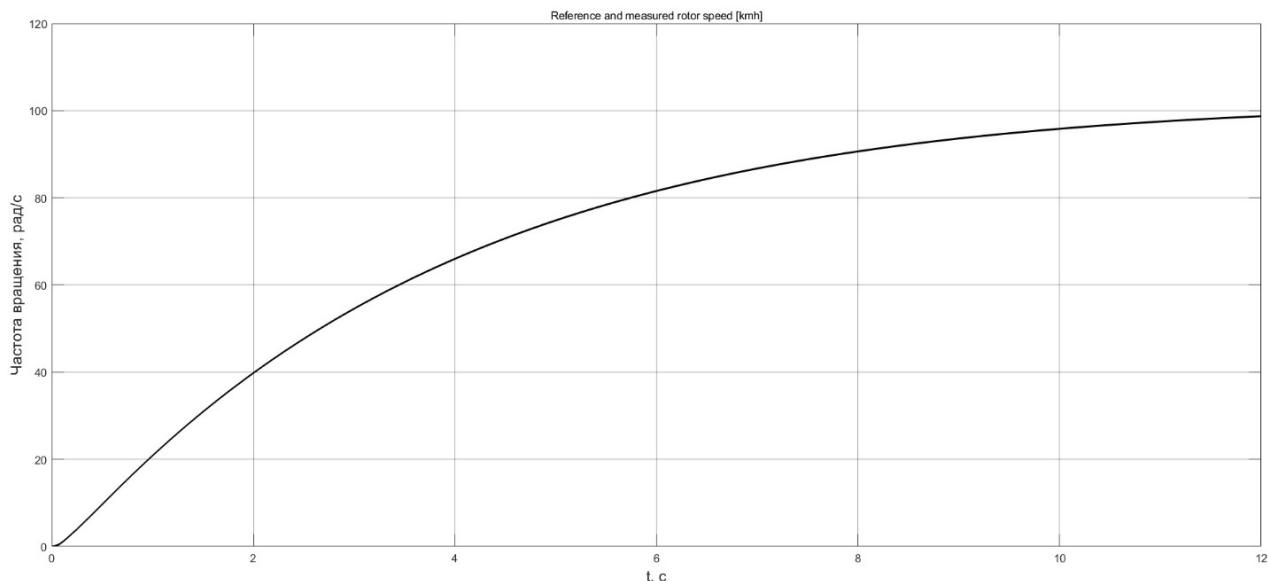


Рисунок 7. Кривая разряда аккумуляторной батареи

### Список использованной литературы

1. Popov N. S., Anibroev V. I., Mosin M. E.. Study of processes that cause degradation of lithium-ion batteries // Proceedings of the 3 international youth conference on radio electronics, electrical and power engineering (REEPE), 11–13 March 2021. — Moscow : IEEE, 2021. — Art. 52 (4 p.).
2. Ютт В. Э., Оспанбеков Б. К. Перспективные направления развития зарядных станций для электромобилей // Транспортная электроника и электрооборудование. — 2013. — С. 10–12.
3. Driankov, D.; Hellendoorn, H.; Reinfrank, M. An Introduction to Fuzzy Control; Springer Science & Business Media: Berlin, Germany, 2013.
4. Увеличение запаса хода автономного транспортного средства за счет применения алгоритмов нечеткой логики / Н. С. Попов, В. Н. Аносов, М. Е. Вильбергер, Е. А. Домахин // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем (ДНДС–2021): материалы 14 Всерос. науч.-техн. конф., Чебоксары, 2021. — Чебоксары. — С. 93–95.
5. Hellendoorn, H.; Palm, R. Fuzzy system technologies at Siemens R & D. Fuzzy Sets Syst. 1994, 63, 245–269.
6. Hussain, S.; Ali, M.U.; Park, G.-S.; Nengroo, S.H.; Khan, M.A.; Kim, H.-J. A Real-Time Bi-Adaptive Controller-Based Energy.

УДК 621.316

***Кочуров Н. А.<sup>1</sup>, Кислицин Е. Ю.<sup>2</sup>, Мищенко В. В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> МУП «Сургутские районные электрические сети» МО СР, п.г.т. Белый Яр

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ УСТАНОВОК КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Рассматриваются условия применения и экономическая эффективность применения установок компенсации реактивной мощности для повышения энергетической эффективности системы электроснабжения.

**Ключевые слова:** *система электроснабжения, энергетическая эффективность, снижение потерь, компенсация реактивной мощности, установка компенсации реактивной мощности.*

***Kochurov N. A.<sup>1</sup>, Kislitsin E. Yu.<sup>2</sup>, Mischenko V. V.<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> Surgut regional electrical networks, Bely Yar

<sup>2</sup> Surgut State University, Surgut

## INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE POWER SUPPLY SYSTEM BY INTRODUCING REACTIVE POWER COMPENSATION INSTALLATIONS

*Surgut*

**Abstract.** The conditions of application and the economic efficiency of the use of reactive power compensation installations to improve the energy efficiency of the power supply system are considered.

**Keywords:** *power supply system, energy efficiency, loss reduction, reactive power compensation, reactive power compensation installation.*

Повышение энергетической эффективности — комплекс работ или мероприятий, направленных на снижение потерь электрической энергии (далее — ЭЭ) при ее передаче по электрическим сетям. Потери ЭЭ в российских электрических

сетях составляют порядка 11%, в то время как данный показатель у зарубежных компаний — 6-8% [1].

Одним из возможных решений поддержания необходимой мощности при увеличении энергопотребления без увеличения генерации ЭЭ является повышение энергетической эффективности. Например, прогноз потребления ЭЭ и мощности по территории Ханты-Мансийского автономного округа на период до 2026 года, приведенный в таблице 1, показывает ежегодный прирост энергопотребления порядка 2-3% [2].

Таблица 1. Прогноз потребления ЭЭ и мощности

Показатель	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.
Энергопотребление, млн кВт·ч	65006	66196	68105	70173	71428	71965
Годовой прирост, %	5,2	1,8	2,9	3,0	1,8	0,8
Максимальная нагрузки, МВт	8338	8526	8784	8957	9203	9268
Годовой прирост, %	-6,1	2,3	3,0	2,0	2,7	0,7

Анализ текущего состояния систем электроснабжения (далее — СЭС) и показателей энергетической эффективности в энергосетевых компаниях показывает нерациональное использование энергетических ресурсов и высокий уровень потерь ЭЭ, обусловленный наличием:

- 1) расхода ЭЭ на собственные нужды, необходимые для обеспечения нормального режима работы технологического оборудования электроустановок и жизнедеятельности обслуживающего персонала электроустановок;
- 2) технических потерь ЭЭ, которые вызваны спецификой физических процессов, протекающих при передаче ЭЭ по электрическим сетям и проявляющихся в преобразовании части ЭЭ в тепловую энергию в различных элементах сетей;
- 3) инструментальных потерь, которые определяются режимами работы приборов и их метрологическими характеристиками;
- 4) коммерческих потерь ЭЭ, обусловленных несоответствием значений абсолютных и технических потерь. Разность значений может быть вызвана несоответствием показаний потребленной ЭЭ счетчиками и фактически оплаченной потребленной ЭЭ потребителями и другими причинами в области организации контроля за потреблением ЭЭ.

Потери активной мощности в элементе сети с сопротивлением  $R$  при напряжении  $U$  вычисляются по формуле [3, с. 136]:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R.$$



Из данной формулы следует, что потери активной мощности  $\Delta P$  напрямую зависят от величины передаваемой реактивной мощности  $Q$ . Следовательно, при уменьшении передаваемой реактивной мощности  $Q$  потери активной мощности  $\Delta P$  в элементе сети снижаются. Для уменьшения передаваемой реактивной мощности  $Q$  применяются компенсирующие устройства, задача которых состоит в компенсации реактивной составляющей переменного тока емкостного или индуктивного характера. Именно с их помощью обеспечивается увеличение значения коэффициента мощности и его поддержание на заданном требуемом уровне.

Установка компенсации реактивной мощности (далее — УКРМ) — электроустановка, предназначенная для компенсации реактивной мощности, состоящая из конденсаторов и относящегося к ней вспомогательного электрооборудования, например, регулятора реактивной мощности, контакторов, предохранителей. УКРМ способствует уменьшению потерь ЭЭ, снижению перетоков реактивной мощности, и следовательно, снижению потребляемой ЭЭ. За счет снижения передаваемой реактивной мощности происходит уменьшение нагрузки на электроустановки и силовые линии, а также снижение коэффициента загрузки силовых трансформаторов; уменьшение тепловых потерь, что позволяет увеличить пропускную способность СЭС в целом.

Решение о необходимости выполнения комплекса работ или мероприятий, направленных на компенсацию реактивной мощности и внедрение УКРМ, принимаются по значению потерь активной мощности  $\Delta P$  (рисунок 1), которое вычисляется по формуле:

$$\Delta P = P_{\text{факт.}} - P_{\text{норм.}} = K_{\text{изм.пот}} \cdot (Q_{\text{факт.}} - Q_{\text{норм.}}),$$

где  $K_{\text{изм.пот}}$  — коэффициент изменения потерь активной мощности.

Для промышленных предприятий значение принимают равным  $K_{\text{изм.пот}} = 0,07$ .

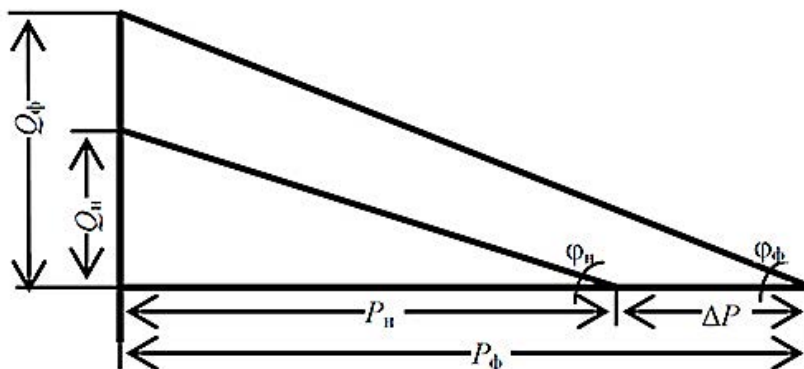


Рисунок 1. Треугольник мощностей

Тогда

$$P_{\text{норм.}} = P_{\text{факт.}} - K_{\text{изм.пот.}} \cdot (Q_{\text{факт.}} - Q_{\text{норм.}})$$

А из треугольника мощностей

$$\text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} = \frac{Q_{\text{норм.}}}{P_{\text{норм.}}} = \frac{Q_{\text{норм.}}}{P_{\text{факт.}} - K_{\text{изм.пот.}} \cdot (Q_{\text{факт.}} - Q_{\text{норм.}})}$$

Учитывая, что

$$Q_{\text{факт.}} = P_{\text{факт.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}},$$

выполним преобразование

$$\begin{aligned} Q_{\text{норм.}} &= \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} \cdot \frac{Q_{\text{факт.}}}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}} - K_{\text{изм.пот.}} \cdot Q_{\text{факт.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} + K_{\text{изм.пот.}} \cdot Q_{\text{норм.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} = \\ &= Q_{\text{факт.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} \cdot \frac{1 - K_{\text{изм.пот.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} \cdot (1 - K_{\text{изм.пот.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}})}. \end{aligned}$$

Подставив  $Q_{\text{н}}$  в формулу  $\Delta P$ , получаем

$$\Delta P = K_{\text{изм.пот.}} \cdot \left( Q_{\text{факт.}} - Q_{\text{факт.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} \cdot \frac{1 - K_{\text{изм.пот.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} \cdot (1 - K_{\text{изм.пот.}} \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}})} \right).$$

И после преобразований

$$\Delta P = 0,07 \cdot Q_{\text{факт.}} \cdot \frac{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} - \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}}}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} \cdot (1 - 0,07 \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}})}.$$

Полученная формула показывает, что при:

- 1)  $\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} = \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}}$  отсутствует экономический эффект внедрения УКРМ, т. е. компенсация реактивной мощности дает только техническую выгоду в виде оптимизации работы электрооборудования и стабилизации параметров сети;
- 2)  $\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} > \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}}$  потери активной мощности больше нуля, а следовательно, имеет место потребление большей мощности и увеличение затрат на оплату счетов за потребленную ЭЭ;
- 3)  $\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} < \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}}$  потери активной мощности меньше нуля, а следовательно, имеет место потребление меньшей мощности и уменьшение затрат на оплату счетов за потребленную ЭЭ.

Так, если среднее значение фактически потребляемой реактивной мощности  $Q_{\text{факт.}}$  в интервале максимальной нагрузки составляет 15000 квар и фактический  $\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} = 0,5$  при нормативном  $\text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} = 0,35$ , то:

$$\Delta P = 0,07 \cdot 15000 \cdot \frac{0,5 - 0,35}{0,5 \cdot (1 - 0,07 \cdot 0,35)} = 322,9 \text{ кВт}.$$

Учитывая 8-часовой режим работы, за месяц потери активной мощности добавят порядка 80 тыс. кВт·ч.

При тех же условиях, если уменьшить коэффициент реактивной мощности до  $\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} = 0,3$  путем внедрения УКРМ,

$$\Delta P = 0,07 \cdot 15000 \cdot \frac{0,3 - 0,35}{0,3 \cdot (1 - 0,07 \cdot 0,35)} = -179,4 \text{ кВт}.$$

При расчете 8-часового режима работы за месяц экономия ЭЭ составит порядка 45000 тыс. кВт·ч и, соответственно, уменьшатся затраты на оплату потребленной ЭЭ.

Оценка экономии ЭЭ по  $\Delta P$  в совокупности со сроком окупаемости капитальных вложений  $T_{\text{окуп}}$  позволяет определить не только экономическую целесообразность проведения работ (мероприятий) по снижению или ограничению потребления реактивной мощности, но и определить минимальный экономически эффективный коэффициент реактивной мощности для УКРМ.

Таким образом:

$$\Delta P \cdot k \cdot T_{\text{усред}} \leq \frac{Z_{\text{сум}}}{T_{\text{окуп}}},$$

где  $k$  — количество часов работы в год (ч/год);

$T_{\text{усред}}$  — усредненный тариф за оплату ЭЭ в руб/(кВт\*ч);

$Z_{\text{сум}}$  — суммарные затраты на УКРМ (руб);

$T_{\text{окуп}}$  — срок окупаемости.

Так, если задаться сроком окупаемости  $T_{\text{окуп}}$ , равным 5 лет, получим

$$\Delta P = 0,07 \cdot Q_{\text{факт.}} \cdot \frac{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} - \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}}}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} \cdot (1 - 0,07 \cdot \text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}})} \leq \frac{Z_{\text{сум}}}{T_{\text{окуп}} \cdot k \cdot T_{\text{усред}}},$$

или после использования нормативного  $\text{tg}(\varphi)_{\text{норм.}} = 0,35$ :

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0,07 \cdot Q_{\text{факт.}} \cdot \frac{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} - 0,35}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} \cdot 0,976} = 0,07 \cdot Q_{\text{факт.}} \cdot \left( 1,025 - \frac{0,36}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}} \right) = \\ &= 0,072 \cdot Q_{\text{факт.}} - Q_{\text{факт.}} \cdot \frac{0,025}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}} < \frac{Z_{\text{сум}}}{T_{\text{окуп}} \cdot k \cdot T_{\text{усред}}}. \end{aligned}$$

Откуда

$$0,072 \cdot Q_{\text{факт.}} - \frac{Z_{\text{сум}}}{T_{\text{окуп}} \cdot k \cdot T_{\text{усред}}} < Q_{\text{факт.}} \cdot \frac{0,025}{\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}}}$$

или

$$\text{tg}(\varphi)_{\text{факт.}} < \frac{0,072}{0,025} - \frac{Q_{\text{факт.}} \cdot T_{\text{окуп}} \cdot k \cdot T_{\text{усред}}}{Z_{\text{сум}}} = 2,88 - 0,125 \cdot \frac{Q_{\text{факт.}} \cdot k \cdot T_{\text{усред}}}{Z_{\text{сум}}}$$

Подводя итоги сказанному, можно сделать вывод, что повышение энергетической эффективности системы электроснабжения путем компенсация реактивной мощности:

- 1) во всех случаях имеет техническую, а часто и экономическую выгоду;
- 2) целесообразно с экономической части при правильном выборе УКРМ, мероприятий и расчете экономически эффективного коэффициента реактивной мощности.

### Список использованной литературы

1. Распоряжение Правительства РФ №511-р Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации и плана-графика издания нормативных правовых актов для ее реализации (с изменениями на 29 ноября 2017 года) [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/499011915> (дата обращения 05.04.2022)
2. Распоряжение Правительства Ханты-Мансийского автономного округа — Югры №217-рп Об одобрении схемы и программы развития электроэнергетики Ханты-Мансийского автономного округа — Югры на период до 2026 года [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/574719420> (дата обращения 05.04.2022)
3. Сивков А. А., Герасимов Д. Ю., Сайгаш А. С. Основы электроснабжения : учебное пособие / А. А. Сивков, Д. Ю. Герасимов, А. С. Сайгаш; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 180 с.

УДК 621.316

***Резанов Г. А.***

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

## ОСОБЕННОСТИ МЕНЕДЖМЕНТА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Электроэнергетика является ведущей отраслью экономики страны, она создает возможность для других отраслей существовать, производить ту или иную продукцию, другими словами, поддерживает функционирование жизненного цикла других отраслей. Надежность и эффективность электроэнергетики, в том числе и непрерывное снабжение потребителей электроэнергией, является фундаментом стабильного роста экономической составляющей страны, а также фактором обеспечения комфортного уровня жизни населения.

**Ключевые слова:** *электроэнергетика, стабильность, менеджмент, эффективность.*

***Rezanov G. A.***

Budgetary institution of Higher Education of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra «Surgut State University», Surgut

## FEATURES OF MANAGEMENT IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

*Surgut*

**Annotation.** The electric power industry is the leading branch of the country's economy, it creates an opportunity for other industries to exist, to produce certain products, in other words, it supports the functioning of the life cycle of other industries. The reliability and efficiency of the electric power industry, including the continuous supply of electricity to consumers, is the foundation of stable growth of the economic component of the country, as well as a factor in ensuring a comfortable standard of living for the population.

**Keywords:** *electric power industry, stability, management, efficiency.*

Электроэнергетика является ведущей отраслью экономики страны, она создает возможность для других отраслей существовать, производить ту или иную продукцию, другими словами, поддерживает функционирование жизненного цикла

других отраслей. Надежность и эффективность электроэнергетики, в том числе и непрерывное снабжение потребителей электроэнергией, является фундаментом стабильного роста экономической составляющей страны, а также фактором обеспечения комфортного уровня жизни населения.

Нужно понимать, что электроэнергетика — очень сложный технический процесс, который является полностью автоматизированным. В единой энергосистеме страны работают сотни генераторов электростанций, качественная работа и эксплуатация которых зависит от высококвалифицированных и подготовленных кадров.

Известно, что одной из главных целей менеджмента является достижение максимально возможной эффективности производства и более рациональное и лучшее использование потенциала каждой единицы в крупной энергосистеме.

В наше время практически все эксперты признают, что в коллективе важны как рабочая атмосфера, так и благоприятные человеческие отношения и др. Квалифицированный менеджер должен уметь урегулировать отношения среди персонала, грамотно подобрать кадры, которые будут подходить по всем качествам для более благоприятной работы в коллективе, и прочее. А также менеджер должен иметь навыки новатора в области ведения бизнеса как главного принципа менеджмента и мотивации.

Энергетика, на наш взгляд, является одной из самых капиталоемких отраслей страны. Это означает то, что данная отрасль всегда требует дополнительных вкладов и инвестиций, привлечения новых квалифицированных людей к урегулированию всех процессов, как производственных, так и экономических. Также энергетика как типичный представитель производства должна быть под контролем государства, а именно под контролем антимонопольных служб. Кроме того, постоянное финансирование и привлечение новых инвесторов необходимо для постоянной модернизации производства, ведь научно-технологический прогресс не стоит на месте и всегда требуется какие-либо производственные решения по улучшению или наладке технологических процессов.

Энергетический рынок довольно специфичен и определяется следующими особенностями, которые стоит выделить. Энергетические компании ограничены строгими рамками поставки своей продукции, нельзя просто так взять и внепланово остановить электростанцию, во-первых, при внеплановом отключении от сети компания, где произошло отключение, понесет высокие штрафные санкции за каждый час простоя до следующего пуска в сеть, а сам пуск электростанции, до включения в сеть, занимает определенное время, в зависимости от типа и мощности электростанции. Национальное значение энергетического сектора имеют оборонное и национальное значение. Требуется договорная форма отношений между производителем и потребителем электроэнергии.

Бизнес-среда компании состоит не только из рабочих, менеджеров и инженеров, но и из поставщиков сырья для работы электростанции. На примере парогазовой установки ПГУ Сургутской ГРЭС-2 можно рассмотреть более детально весь процесс. Газ для разворота газовой турбины сам по себе ниоткуда не берется, его поставляет другая компания – «Сургутнефтегаз». Обе эти компании работают на взаимовыгодных условиях. Сургутская ГРЭС-2 поставляет электроэнергию для отдельных цехов компании «Сургутнефтегаз» практически за себестоимость в обмен за более выгодные цены на горючий материал.

В наше время от грамотного менеджмента и привлечения новых специалистов зависит в том числе и экономичность производства не в убыток качеству. Например, на многих более новых электростанциях, где используется несоветское оборудование, остро стоит вопрос об импортозамещении. Иностранные расходные материалы для турбин и электрооборудования очень дорогостоящие, как и их установка. Пока что в России нет достаточно качественных расходников для турбин. Все попытки производства лопаток для турбин не увенчались успехом, а если инженеры и были близки, то нормы работы оборудования в дальнейшем не попадали под рамки действующих норм и законодательства по эксплуатации паротурбинных, газотурбинных и парогазовых установок. В то же время иностранные расходные материалы, в том числе и лопатки для турбин, стоят дорого, так, например, одна лопатка, а их более сотни, стоит как малоквадратная квартира.

В итоге нужно заметить, что характеризующие особенности менеджмента в электроэнергетике вытекают из его специфики. А эти особенности концентрированно собраны как в главном представителе естественной монополии — в государственном регулировании.

### **Список использованной литературы**

#### *Книги*

1. Скобелев Д. О., Степанова М. В. Энергетический менеджмент : руководство по управлению электропотреблением для промышленных предприятий. — 2020. — 39 с.

#### *Учебное пособие*

2. Ламакин Г. Н. Основы менеджмента в электроэнергетике : учебное пособие. — Тверь : ТГТУ, 2006. — 166 с.

# **СЕКЦИЯ 2**

ПРОБЛЕМЫ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ



УДК 621.316

***Вербовенко Н. И.***

Хайлон Петролиум Пайплайн Сервис Сургут, г. Сургут

## ПРОБЛЕМА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ ДЛЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Предложен выбор целевого потребителя для ВЭС, проведен практический эксперимент, в котором были проведены сравнения между разными группами потребителей. Выдвинуто предположение для наиболее целевого потребителя источников нетрадиционной электроэнергии. Определена разница между характеристиками потребителей и их влиянием на силовую установку в целом.

**Ключевые слова:** *ветряные генераторы, энергия на основе движения ветра, природные энергоресурсы, практический эксперимент.*

***Verbovenko N. I.***

Hilong Petroleum Pipeline Service Sutgut, Surgut

## THE PROBLEM OF CHOOSING A RATIONAL CONSUMER FOR WIND FARMS

*Surgut*

**Abstract.** The choice of target consumer for WPP is proposed, a practical experiment in which comparisons were made between different groups of consumers. The most targeted consumer for unconventional power sources is assumed. The difference between the characteristics of consumers and their impact on the power plant as a whole was determined.

**Keywords:** *wind generators, energy based on wind motion, natural energy resources, practical experiment.*

В настоящее время слово «рационализация», а также слово «выгода», как никогда, являются актуальными для каждого потребителя электроэнергии. В данный момент времени у энергетиков, а также экологов, достаточно проблем. Основные проблемы: дефицит основных источников энергии, вызванный их исчерпаемостью и неравномерным распределением по планете, ухудшение экологической обстановки, а также постоянные конфликты за ограниченные ресурсы [1].

Для решения части этих проблем ученые вынуждены искать замену традиционным источникам электроэнергии. Одним из этих источников можно назвать энергию на основе нескончаемого движения ветра. Но все ли так гладко с этим источником, можно ли применить этот вид энергии для всех потребителей или же возможно использовать их только для ограниченных категорий? Для ответов на эти вопросы был проведен практический эксперимент, позволивший узнать, как влияют различные виды потребителей на ветряной генератор.

Для проведения исследования был взят для примера ветрогенератор фирмы Falcon Euro мощностью  $S=2$  кВ·А и напряжением  $U_n=48$  В, установленный в г. Сургуте.

В первом исследовании были использованы потребители с продолжительным режимом работы, а именно освещение и обогрев в теплицах. Во втором исследовании были взяты потребители с повторно-кратковременным режимом работы, а именно электродвигатели.

Обе группы потребителей обладают эквивалентной мощностью потребления. В ходе исследований обе группы потребителей работали независимо друг от друга и подключались поочередно к одному и тому же источнику питания.

Методом исследования являлись два круглосуточных наблюдения с подключением разных групп потребителей с целью построения графиков потребления электроэнергии, а также определения способности ветрогенератора обеспечивать электроснабжение потребителей с разными режимами работы. Гипотеза же заключается в том, что ветрогенератор не способен обеспечить автономность работы, подключенных к сети электродвигателей, которые питаются от преобразователя ветрогенератора [2]. Оборудованием для исследования являлся анализатор качества электроэнергии с функцией осциллографа Fluke.

Первое наблюдение было зафиксировано 25 марта 2022 года. Скорость ветра составляла 10-12 м/с, что обеспечивало максимальную генерацию со стороны ветрогенератора.

По результатам первого наблюдения построен график потребления мощности (рисунок 1).

Второе наблюдение состоялось 26 марта. Скоростью ветра составляла 9-11 м/с. По результатам второго наблюдения построен график потребления мощности (рисунок 2).

Сравнительный анализ графиков показывает, что из-за пусковых токов различного времени и очередности включения первой и второй групп потребителей сильно искривляется график потребления мощности, из чего можно заключить, что потребители с индуктивным характером нагрузки оказывают негативное влияние на генератор, что, в свою очередь, влияет как на стабильность отдачи мощности

потребителя, так и на срок службы аккумуляторных батарей и, соответственно, всей силовой установки.

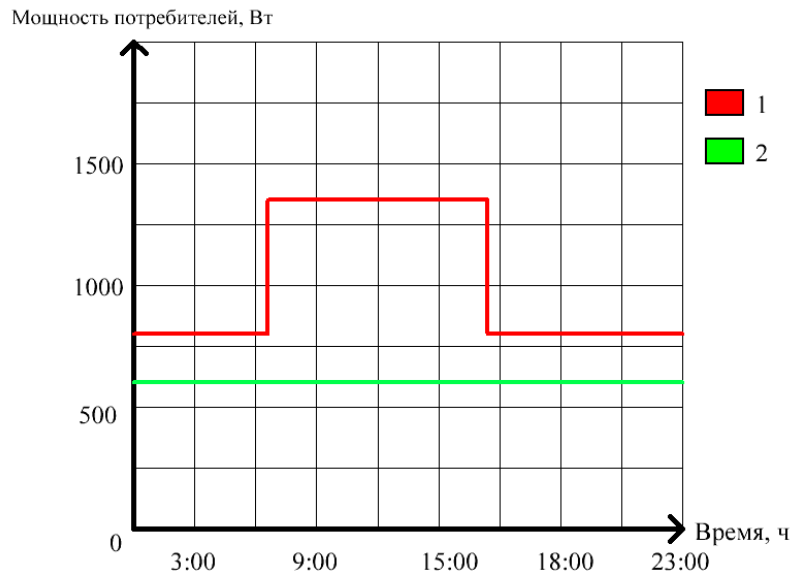


Рисунок 1. График потребления мощности первой группы потребителей:  
1 — с подключенным освещением, 2 — с подключенным обогревателем

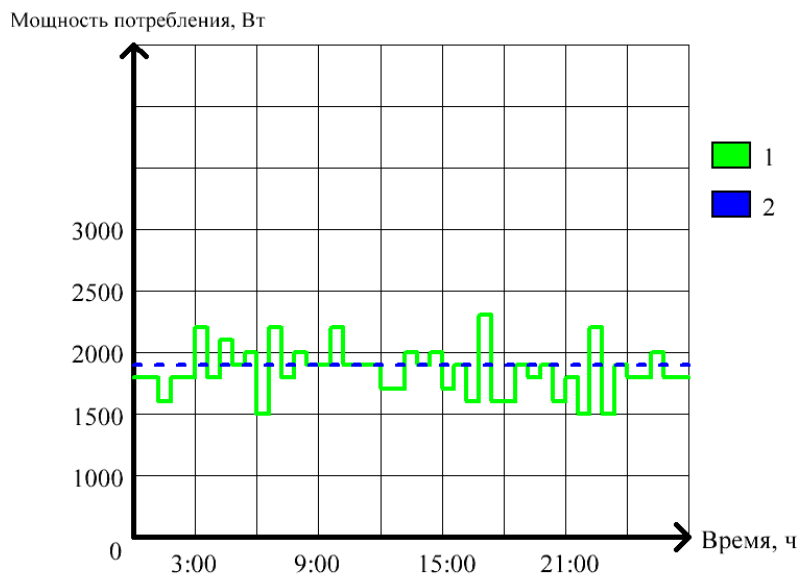


Рисунок 2. График потребления второй группы потребителей:  
1 — работа электродвигателей, 2 — мощность генератора

Подводя итог, можно предложить использование ветряных электростанций в массивах частных жилых секторов с минимальной долей индуктивной составляющей нагрузки и значительно удаленных от генерации традиционных источ-

ников электроэнергии [4]. Также важен фактор ветряного района, что обеспечит стабильность генерации мощности и будет способствовать минимальным перебо-  
ям в электроснабжении [5].

### Список используемой литературы

1. Aliyev R., Khakimov P., Bozarov O., Kiryigitov B., Rayimdjanova B. Design of lowpressure Microhydroelectric power plants with a reactive Hygro turbine and test results // Актуальные вопросы современной науки, образования и воспитания. — 2020. — №7. — С. 230–237.
2. Бабокин Г. И., Ляхомский А. В., Ставцев В. Л. Энергосбережение в промышленности жилищно-коммунальном хозяйстве. — Москва : Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. — 233 с.
3. Голиков Д. Энергобезопасность как фактор политической стабильности // Трубопроводный транспорт нефти. — 2006. — №10. — С.20–23.
4. Григораш О. В., Божко С. В., Попов А. Ю. и др. Автономные источники электроэнергии: состояние и перспективы: монография. — Краснодар : ВУЦ ВВС. — 2012. — 174 с.
5. Хузмиев И. К. Малые ГЭС для электроснабжения отдаленных территорий в горной зоне. //Устойчивое развитие горных территорий. — 2009. — №1. — С. 82–92.

УДК 621.311

*Денчик Ю. М.<sup>1</sup>, Иванова Е. В.<sup>1</sup>, Иванов М. Н.<sup>1</sup>,  
Иванов Д. М.<sup>2</sup>, Сальников В. Г.<sup>3</sup>, Кислицин Е. Ю.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,  
Новосибирск

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,  
Новосибирск

<sup>3</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», Сургут

## ЭФФЕКТИВНЫЙ РЕЖИМ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПИТАНИИ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ С БЕРЕГА

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** В статье рассматриваются актуальные вопросы снижения несимметрии линейных напряжений в электрических сетях предприятий водного транспорта. Исследованы несимметричные режимы в электрической сети, которые обусловили потребность в автоматизированном определении кондуктивной электромагнитной помехи. Эта помеха по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности определена с целью подавления и установления эффективного режима напряжения в сети при питании судов с берега.

**Ключевые слова:** *несимметрия напряжений, качество электроэнергии, электромагнитная помеха, электромагнитная совместимость, программные средства.*

*Denchik Yu. M.<sup>1</sup>, Ivanova E. V.<sup>1</sup>, Ivanov M. N.<sup>1</sup>,  
Salnikov V. G.<sup>3</sup>, Ivanov D. M.<sup>2</sup>, Kislitsin E. Yu.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> FSFEI HE «Siberian State University of Water Transport», Novosibirsk

<sup>2</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

<sup>3</sup> Surgut State University, Surgut

## EFFICIENT VOLTAGE MODE FOR SUPPLYING VESSELS AND FLOATING OBJECTS FROM THE SHORE

*Novosibirsk*

**Abstract.** The article deals with topical issues of reducing the asymmetry of line voltages in the electrical networks of water transport enterprises. Asymmetric modes in the electrical

network have been studied, which necessitated the automated determination of conductive electromagnetic interference. This interference by the negative sequence voltage unbalance factor is determined in order to suppress and establish an effective voltage regime in the network when ships are powered from the shore.

**Keywords:** *voltage unbalance, power quality, electromagnetic interference, electromagnetic compatibility, software.*

Существенное влияние уровня электрификации на нормальное функционирование отраслей экономики и социальной сферы заставляет обращать серьёзное внимание на улучшение свойств функционирующих электрических сетей. Обеспечить выполнение этого условия невозможно без улучшения электромагнитной обстановки (ЭМО) и обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств.

Экономически обоснованно осуществлять электроснабжение судов на стоянке и плавучих объектов с берега, значит, система электроснабжения береговых объектов должна развиваться с учетом электрических нагрузок судов, работающих в акватории. Судовые электроэнергетические системы технического флота часто создают несимметричные нагрузки на береговую сеть. Следовательно, определение электромагнитной обстановки береговых объектов при питании судов с берега позволяет повысить эффективность системы электроснабжения.

В основных положениях энергетической стратегии Российской Федерации изложены критерии развития электроэнергетики. Для выполнения этих положений необходимо максимально автоматизировать контроль за параметрами ЭМО и обеспечить высокую энергоэффективность электроэнергетических систем [1–4].

Одним из основных параметров, определяющих надежность работы технических средств, разработанных на основе законов теоретической электротехники, силовой электроники и радиотехники, является несимметрия линейных напряжений в трехфазных сетях. Несимметрия напряжения в этих сетях характеризуется коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности  $K_{2U}$ . При нарушении нормированных значений  $K_{2U}$  появляются кондуктивные низкочастотные электромагнитные помехи (ЭМП)  $\delta K_{2U}$ , которые негативно влияют на работу технических средств (ТС). Например, при  $\delta K_{2U} \geq 4\%$  срок службы асинхронных двигателей сокращается в два раза. В связи с этим контроль и подавление этой помехи является актуальной проблемой, особенно для удаленных районов (портов, причалов, ремонтных баз флота) Сибири с автономными системами электроснабжения, отличающимися незначительными значениями полной мощности короткого замыкания.

Одной из задач этой проблемы является разработка метода автоматизированного определения  $\delta K_{2U}$ . Предлагаемый метод основан на компьютерном моделирова-

нии несимметричных режимов [2, 4] и включает в себя следующую совокупность приемов и операций практического и теоретического познания действительности:

- Измерение показателей качества электроэнергии (ПКЭ) в электрических сетях.
- Создание автоматизированного рабочего места (АРМ) по технологии Smart Grid [3] для инженера-диспетчера, состоящего из ЭВМ, включающего в себя программную реализацию алгоритма определения кондуктивной низкочастотной ЭМП  $\delta K_{2U}$ .
- Обеспечение необходимыми техническими средствами и исполнительными механизмами.

Измерение ПКЭ в электрических сетях является нижним уровнем автоматизированной системы регулирования и управления технологическим процессом и производится с помощью приборов-анализаторов качества электрической энергии. Для получения достоверных данных приборы должны быть сертифицированы и внесены в реестр средств измерения. Полученные в результате измерения ПКЭ значения передаются на автоматизированное рабочее место оператора (диспетчера), где данные значения обрабатываются на ЭВМ с помощью программной реализации алгоритма автоматизированного определения ЭМП по коэффициенту несимметрии напряжений по обратной последовательности (рисунок 1).



Рисунок 1. Структурная схема взаимодействия средств автоматизированного определения и подавления  $\delta K_{2U}$

Алгоритм содержит математический аппарат, позволяющий определить вероятность появления ЭМП ( $\delta K_{2U}$ ). Этот алгоритм основан на положениях производящих функций и, следовательно, коэффициент  $K_{2U}$  можно охарактеризовать таблицей вероятностей, представленной в (1):

$$\begin{pmatrix} K_{2U1}, K_{2U2}, K_{2U3}, \dots, K_{2Ui}, \dots, K_{2Un} \\ P_1, P_2, P_3, \dots, P_i, \dots, P_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$  — вероятности появления;  $K_{2U}$ ;  $K_{2U1}, K_{2U2}, \dots, K_{2Ui}, \dots, K_{2Un}$  — определенные в течение расчётного времени значения  $K_{2U}$ , %.

Математическая модель (2) представляет ЭМП и объясняет вероятность ее появления. ЭМП может возникнуть, если вероятность ее появления не равна нулю в течение периода измерений.

$$K_{2U} \left[ \begin{array}{l} P(K_{2Un} < K_{2U} < K_{2Un}) > 0,05; \\ P(K_{2Un} < K_{2U} < \infty) \neq 0 \end{array} \right] \subseteq \delta K_{2U}, \quad (2)$$

где  $\delta K_{2U}$  — кондуктивная низкочастотная ЭМП по  $K_{2U}$ , %.

Помеха  $\delta K_{2U}$  может появиться, если в течение времени измерения вероятность нахождения  $K_{2U}$  в пределах от  $K_{2Un} = 2$  до  $K_{2Un} = 4$  % превышает 0,05. Помеха также появляется при значении  $K_{2U}$  свыше 4 %. Таким образом, выполнение одного из этих условий достаточно для появления кондуктивной помехи  $\delta K_{2U}$ .

Интегральная функция вероятности распределения непрерывно распределённой случайной величины  $K_{2U}$  в интервале указанных значений ( $K_{2Un}; K_{2Un}$ ) определяется по формуле

$$P(K_{2Un} < K_{2U} < K_{2Un}) = \int_2^4 \psi(K_{2U}) d(K_{2U}) \quad (3)$$

Для интервала ( $K_{2Un}; \infty$ ) эта функция может быть записана в виде следующей формулы:

$$P(K_{2Un} < K_{2U} < \infty) = \int_4^{\infty} \psi(K_{2U}) d(K_{2U}), \quad (4)$$

где  $\psi(K_{2U})$  — плотность вероятности распределения величины  $K_{2U}$ , 1/%.

На основании представленных рассуждений определяем вероятность появления в трёхфазной трёхпроводной электрической сети кондуктивной ЭМП  $\delta K_{2U}$ :

$$P(\delta K_{2U}) = P(K_{2Un} < K_{2U} < K_{2Un}) + (K_{2Un} \leq K_{2U} \leq \infty) - 0,05. \quad (5)$$



В настоящее время автоматизированное определение кондуктивных ЭМП практически невозможно из-за отсутствия специализированных программных продуктов. Для этого нужен постоянный мониторинг качества электроэнергии, специальные компьютерные программы для обработки данных результатов измерений показателей качества электроэнергии и расчёта кондуктивных низкочастотных ЭМП

Определить вероятность появления помехи  $\delta K_{2U}$  можно с помощью алгоритма, представленного на рисунке 2. Данный алгоритм признан объединенным фондом электронных ресурсов «Наука и образование», и получено свидетельство о регистрации № 23380. В соответствии с этим алгоритмом разработано специальное программное обеспечение, позволяющее производить автоматизированный расчёт параметров ЭМО.

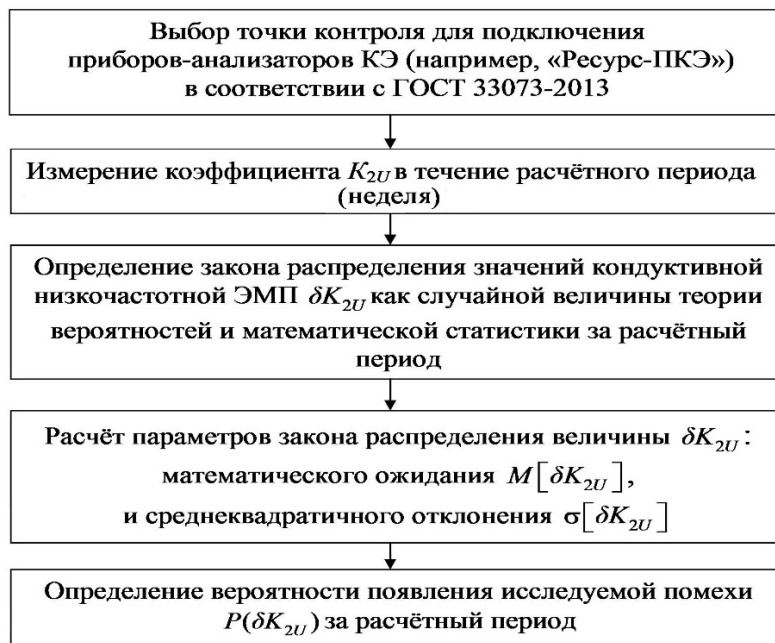


Рисунок 2. Алгоритм определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи  $\delta K_{2U}$

В соответствии с этим алгоритмом разработано специальное программное обеспечение и получено свидетельство о государственной регистрации (№2016661752). Интерфейс программы для определения параметров ЭМО по  $K_{2U}$  представлен на рисунке 3.

В качестве среды разработки была выбрана система автоматизированного проектирования LabVIEW фирмы National Instruments, основанная на языке графического программирования. Эта программа совместима с MatLab (Simulink)

и автоматизирует расчеты по определению кондуктивных ЭМП по  $\delta K_{2U}$ , что позволяет использовать ее для моделирования ЭМО и обеспечения эффективного режима напряжения береговой электрической сети при питании судов с берега.

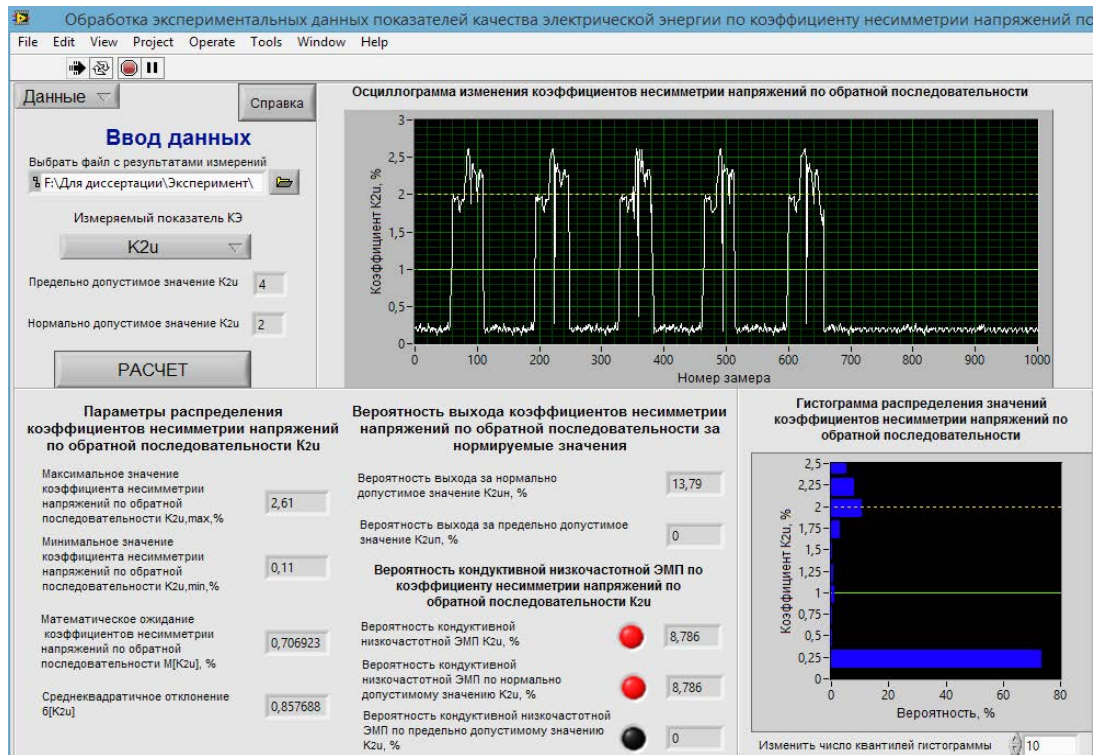


Рисунок 3. Интерфейс программы для определения параметров ЭМО по  $K_{2U}$

На рисунке 3 зафиксирован фрагмент определения ЭМО в электрической сети 0,4 кВ судоремонтно-судостроительного завода с электротермическими печами [4]. Параметры распределения кондуктивной низкочастотной ЭМП составляют:

- Математическое ожидание  $M[\delta K_{2U}] = 0,706\%$ .
- Среднеквадратичное отклонение  $\sigma[\delta K_{2U}] = 0,857\%$ .
- Вероятность появления  $P(\delta K_{2U}) = 8,786\%$ .

Для обеспечения эффективного режима напряжения в электрической сети при питании судов и плавучих объектов с берега разработан алгоритм симметрирования напряжений. Этот алгоритм охватывает все возможные варианты перегрузки по фазам: А и В ( $\delta U_{AB}$ ); В и С ( $\delta U_{BC}$ ); А и С ( $\delta U_{AC}$ ).

Для поддержания эффективного режима электрической сети необходимо создавать АРМ по технологии Smart Grid, куда с первичных преобразователей энергии или приборов-анализаторов ПКЭ через цифровые контроллеры необходимо передавать информацию о несимметрии напряжений. Зафиксированное появление кондуктивной низкочастотной ЭМП по несимметрии линейных напряжений

в электрической сети свидетельствует о недопустимом предаварийном режиме работы технических средств. Предложенный расчетный метод снижения несимметрии линейных напряжений приближает к созданию интеллектуальных электрических сетей по технологии Smart Grid.

### Список использованной литературы

1. Антонов А. И., Денчик Ю. М., Сальников В. Г. Метод автоматизированного определения параметров электромагнитной обстановки на основе компьютерного моделирования несимметричных режимов // Водный транспорт — научно-технологический прорыв: мат-лы нац. науч.-практич. конф. — Новосибирск: Сибир. гос. унив. водн. трансп., 2021 — С. 194–200.
2. Сальников, В. Г. Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / В. Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. — 2009. — № 2. — С.209–213.
3. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е. В. Иванова // Трансп. дело России. — 2006. — №8. — С. 16–20.
4. Denchik, Yu. M. Expected electromagnetic environment at the energy infrastructure facilities of remote ports (berths) / Yu. M. Denchik, E. V. Ivanova, M. N. Ivanov, V. G. Salnikov, D. A. Zubanov // *Journal of Physics: Conference Series 2131 (2021) 052048 1*. — URL: [https://doi.org/ 10.1088/1742-6596/2131/5/052048 1](https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/5/052048)

УДК 621.3.08

***Ермакова Е. Н., Антипин Д. П.***

НГДУ «Фёдоровскнефть», ПАО «Сургутнефтегаз», г. Сургут  
БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут

## ОПТИМИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И МОЩНОСТИ ВНУТРИСКВАЖИННЫХ УСТАНОВОК КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КУСТА НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ

*Сургут*

**Аннотация.** В работе рассматривается вопрос оптимизации выбора мощности внутрискважинного компенсатора реактивной мощности (ВКРМ) и напряжения на выходе станции управления в электрической сети, питающей погружные электродвигатели.

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

***Ermakova E. N., Antipin D. P.***

NGDU Fedorovskneft, PJSC Surgutneftegaz, Surgut  
Surgut State University, Surgut

## OPTIMIZATION OF VOLTAGE AND POWER OF THE IN-WELL DEPTH INSTALLATIONS FOR THE COMPENSATION OF THE REACTIVE POWER OF THE BUSH OF AN OIL-PRODUCING WELL

*Surgut*

**Abstract.** The paper considers the issue of optimizing the power selection of the downhole reactive power compensator (DPFC) and the analysis of the optimal voltage for the normal operation of submersible electric motors.

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

Основой на сегодняшний день российского экспорта является топливно-энергетические товары, поэтому повышение эффективности и надежности нефтедобы-

вающих объектов является приоритетной задачей. Одним из способов достижения поставленных задач является применение энергоэффективного оборудования с высоким коэффициентом полезного действия, а именно погружного электродвигателя с установкой внутрискважинной компенсации реактивной мощности (ВКРМ), что было предложено в работах [2, 3].

В статье [4] была поставлена и решена задача по выбору оптимальной мощности установок ВКРМ, расположенных вблизи двигателя, при условии, что номинальное напряжение  $U_{ном}$  всех двигателей одинаковы.

В данной работе рассмотрим оптимизационную задачу по выбору оптимальной мощности установок ВКРМ и напряжения на выходе станции управления, чтобы определить пределы возможного регулирования в начале линии для оптимальной работы куста нефтедобывающей скважины.

Задача формулируется следующим образом:

$$\Delta P(Q_n; U_{1i}) \rightarrow \min, \varphi(Q_{ki}; U_{1i}) = 0, \psi(Q_{ik}) = 0. \quad (1)$$

$$\varphi(Q_{ki}; U_{1i}) = U_{1i} - U_{2i} - \frac{P_{ni}r_0 + (Q_{ni} - Q_{ki})x_0}{U_{2i}} l_{0i};$$

$$\psi(Q_{ik}) = \sum_{i=1}^3 Q_{ki} - Q_{общ}; \quad (2)$$

$$\Delta P(Q_n; U_{1i}) = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{r_0 l_{0i}} (U_{1i}^2 + U_{2i}^2) - \frac{2}{r_0 l_{0i}} U_{1i} U_{2i} \right).$$

где  $\varphi(Q_{ki}; U_{1i})$  — функция связи переменных  $Q_{ki}$  и  $U_{1i}$ ;

$\psi(Q_{ik})$  — связь между переменными  $Q_{ki}$ ;  $\Delta P$  — потери мощности;

$P_{ni}$  — активная нагрузочная мощность;

$Q_{ki}$  — реактивная мощность устанавливаемого устройства ВКРМ;

$Q_{ni}$  — реактивная нагрузочная мощность;

$U_{2i}$  — напряжение на выводах погружного двигателя;

$Q_{общ}$  — общая реактивная мощность всех установок ВКРМ;

$r_0$  — погонное активное сопротивление кабельной линии;

$x_0$  — погонное индуктивное сопротивление кабельной линии;

$l_{0i}$  [км] — длина кабельной линии от повышающего промышленного трансформатора до погружного электродвигателя. С условием (ограничением) в 10% на потерю напряжения, что согласуется с ГОСТ 32144-2013 [1] на допустимое отклонение напряжения 10%.

Решение поставленной оптимизационной задачи будем искать методом неопределенных множителей. Функция Лагранжа имеет вид:

$$L = \sum_{i=1}^3 \left( \frac{1}{r_0 l_{0i}} (U_{1i}^2 + U_{2i}^2) - \frac{2}{r_0 l_{0i}} U_{1i} U_{2i} \right) + \lambda_i \left( U_{1i} - U_{2i} - \frac{P_{ni} r_0 + (Q_{ni} - Q_{ki}) x_0}{U_{2i}} l_{0i} \right) + \lambda_6 \left( \sum_{i=1}^3 Q_{ki} - Q_{общ} \right), \quad (3)$$

где  $\lambda_i, \lambda_6$  — множители Лагранжа.

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

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial U_{1i}} = \left( \frac{2}{r_0 l_{0i}} U_{1i} - \frac{2U_{2i}}{r_0 l_{0i}} \right) + \lambda_i = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial Q_{ki}} = \lambda_i \frac{x_0 l_{0i}}{U_{2i}} + \lambda_6 = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = U_{1i} - U_{2i} - \frac{P_{ni} r_0 + (Q_{ni} - Q_{ki}) x_0}{U_{2i}} l_{0i} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_6} = \sum_{i=1}^3 Q_{ki} - Q_{общ} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Произведя простые преобразования системы уравнений (5), получили следующую систему уравнений для нахождения искомых параметров:

$$\begin{cases} \lambda_i = -\lambda_6 \frac{U_{2i}}{x_0 l_{0i}} \\ U_{1i} = U_{2i} + \lambda_6 \frac{U_{2i} r_0}{2x_0} \\ Q_{ki} = Q_{ni} + P_{ni} \frac{r_0}{x_0} - \lambda_6 \frac{U_{2i}^2 r_0}{2x_0^2 l_{0i}} \\ \lambda_6 = \frac{\sum_{i=0}^3 \left( Q_{ni} + P_{ni} \frac{r_0}{x_0} \right) - Q_{общ}}{\frac{r_0}{2x_0^2} \sum_{i=0}^3 \frac{U_{2i}^2}{l_{0i}}} \end{cases} \quad (5)$$

Реактивная мощность установки ВКРМ определяется формулой

$$Q_i = P_{искв} \left( \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \phi_c} - 1} \right). \quad (6)$$

Общая реактивная мощность всех установок ВКРМ есть сумма  $\sum_i Q_i = Q_{общ}$  мощности единичных установок.

Для исходных данных, представленных в таблице 1, мы выбрали нефтяной куст, состоящий из 3 скважин:

Таблица 1. Исходные данные для расчётов

Параметры	Номер скважины		
	1	2	3
$P_{нi}$ , кВт	32	40	40
$Q_{нi}$ , квар	20,66	25,84	25,84
$l$ , км	2,343	2,27	2,26
$U_{ном}$ , кВ	0,9	1,25	1,25
$\cos\phi$	0,84	0,75	0,75
$\cos\phi_c$	0,95		
$x_0$ , Ом/км	0,0757		
$r_0$ , Ом/км	1,29		

Решение системы уравнений (5) для параметров скважин из таблицы 1 (6) представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты вычислений

Искомые параметры	Номер скважины		
	1	2	3
$Q_{общ}$	0,036		
$\Lambda_6$	0,012		
$U_{li}$	0,991	1,238	1,238
$\lambda_i$	-0,06	-0,077	-0,078
$Q_{ki}$ при $0,9 U_{ном}$	0,106	-0,034	-0,037
$Q_{ki}$ при $1,1 U_{ном}$	0,013	0,013	1,005

По результатам математических расчетов реактивная мощность в конце линии  $Q_{ki}$  — мощность установок ВКРМ — при падении напряжения до  $0,9 U_{ном}$ , на 2-й и 3-й скважинах приняло отрицательное значение. Это говорит о том, что на скважину 2 и 3 нужно присоединить дополнительную индуктивную нагрузку, чтобы соблюдался баланс реактивной мощности в сети, другими словами, в этих сква-

жинах при данных сопротивлениях линии и нагрузки напряжение падает менее 10% от  $U_{ном}$ . А в 1-й скважине наблюдается перекомпенсация почти в 3 раза.

Таким образом, пусть в сети при падении напряжения до  $0,9 U_{ном}$ , суммарную мощность компенсирующих устройств установим на 1-ю скважину  $Q_{k1} = Q_{общ}$ , что приводит к увеличению  $\cos\phi$  и, соответственно, компенсации потерь в сети. А на скважины 2 и 3 установки ВКРМ отсутствуют, то есть сохраняем суммарную мощность компенсирующих устройств. Полученные результаты показаны в таблице 3:

Таблица 3. Результаты вычислений

Параметры	Номер скважины		
	1	2	3
$U_{li}$	1,005	1,233	1,233
$Q_{ki}$	0,036	0	0

В таблице 4 представлены результаты расчётов напряжений и мощностей при отклонении напряжения  $1,1 U_{ном}$ .

Таблица 4. Результаты вычислений

Параметры	Номер скважины		
	1	2	3
$U_{li}$	1,186	1,463	1,463
$Q_{ki}$	0,036	0	0

Полученные результаты показывают, что для нормальной работы погружных электродвигателей напряжение в питающем узле можно принимать ближе к нижним границам значений, полученных в таблице 3 для скважин 2 и 3. Дальнейшее регулирование напряжения можно производить средствами станции управления.

### Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Копырин, В.А. Улучшение показателей эффективности электротехнических комплексов установок электроцентробежных насосов добычи нефти при ис-



пользовании внутрискважинных компенсаторов реактивной мощности: дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук (2019) / Владимир Анатольевич Копырин; ФГ БОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». — Тюмень, 2019. — 137 с.

3. Пат. 145053 Российская федерация, МПК G05F1/70, H02J3/18. Внутрискважинный компенсатор реактивной мощности / В. А. Копырин, Н. В. Гара, А. Л. Портнягин, О. В. Смирнов. — №2014116437/07; заявлен : 23.04.2014; опубликован : 10.09.2014, Бюл. №25. — 5 с.
4. Скиданова, А. Ю., Антипин Д.П. Определение оптимальной мощности внутрискважинных установок компенсации реактивной мощности куста / А. Ю. Скиданова, Д. П. Антипин // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020 : сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции (Россия, Сургут 23-24 апреля 2020 г.). — Москва : Знание-М, 2020. — С. 20–24.
5. Якимов, С. Б. О новых перспективах применения ПЭД с повышенным напряжением питания для снижения капитальных и операционных затрат / С. Б. Якимов, М. Н. Каверин, В. П. Тарасов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2015. — № 4. — С. 34–38.

УДК 621.311

**Иванов М. Н.<sup>1</sup>, Сальников В. Г.<sup>2</sup>, Кислицин Е. Ю.<sup>2</sup>, Иванов Д. М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»,  
Новосибирск;

<sup>2</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», Сургут;

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»,  
Новосибирск

## УСТОЙЧИВОСТЬ УЗЛОВ НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ (6-10) кВ КАК ПАРАМЕТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы электромагнитной совместимости технических средств в узле нагрузки электрической сети 10 кВ. Представлена концепция обеспечения устойчивости узла нагрузки. Определена связь между устойчивостью узла нагрузки и качественным функционированием электрической сети среднего напряжения.

**Ключевые слова:** *устойчивость узла нагрузки, электромагнитная совместимость, регулирующий эффект нагрузки, запас устойчивости нагрузки.*

**Ivanov M. N.<sup>1</sup>, Salnikov V. G.<sup>2</sup>, Kislicin E. Yu.<sup>2</sup>, Ivanov D. M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk;

<sup>2</sup> Surgut State University, Surgut;

<sup>3</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## STABILITY OF LOAD UNITS IN ELECTRIC NETWORKS (6-10) kV AS A PARAMETER OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY

*Novosibirsk*

**Annotation.** The issues of electromagnetic compatibility of technical means in the load node of the 10 kV electrical network are considered. The concept of ensuring the stability of the load node is presented. The relationship between the stability of the load node and the high-quality functioning of the medium voltage electrical network is determined.

**Keywords:** *load node stability, electromagnetic compatibility, load regulating effect, load stability margin.*

Для обеспечения нормального режима работы электроэнергетической системы (ЭЭС) используются автоматические регуляторы, устройства релейной защиты, противоаварийная автоматика и средства диспетчерского и технологического управления. В Методических указаниях по устойчивости энергосистем, утвержденных Приказом Минэнерго РФ № 277 от 30.04.2003 года, определены возмущения, которым должна противостоять ЭЭС. Нормативный документ по устойчивости ЭЭС не решает задачи качественного функционирования УН сети среднего напряжения. Эту задачу решают для каждого УН, учитывая особенности электрической нагрузки и системы электроснабжения.

Качество работы электрической сети зависит от стохастического характера изменения нагрузки. Это может характеризовать ухудшение работы узлов нагрузки (УН). Всякое изменение реактивной мощности зависит от режима потребления электроэнергии. При резких и значительных изменениях потребления реактивной мощности появляется кондуктивная электромагнитная помеха (КЭМП) по установившемуся отклонению напряжения. Совокупность показателей, характеризующих способность технического средства удовлетворять требованиям эксплуатации, определяет качество его функционирования, поэтому КЭМП необходимо подавить [1].

Технические решения для достижения нормируемых уровней электромагнитной совместимости (ЭМС), основанные на анализе статических характеристик, должны обеспечивать устойчивость УН по напряжению. Это позволит повысить качество работы электрической сети.

Для определения статической устойчивости УН вычисляется коэффициент запаса по напряжению [4]

$$\frac{U}{U_{кр}} \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение в узле в рассматриваемом режиме, В;

$U_{кр}$  — критическое напряжение, соответствующее границе статической устойчивости асинхронных электродвигателей, В.

Суточный график УН формируется случайными факторами, имеющими причинно-следственные связи. Необходимо рассмотреть график нагрузки по полной мощности за характерные сутки и определить интегральные показатели электропотребления: математические ожидания полной мощности  $M[S]$  и среднеквадратической полной мощности  $M[S_{скв}]$  [2].

$$\left. \begin{aligned} M[S] &= \int S(t) dt \\ M[S_{скв}] &= \sqrt{\int S^2(t) dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Коэффициенты: неравномерности  $k_{np}$ , заполнения суточного графика  $k_3$ , формы графика  $k_\phi$ , характеризуют суточный график нагрузки и определяются по известным формулам [3]:

$$\left. \begin{aligned} k_{np} &= S_{nm} / S_{nb} \\ k_3 &= M[S] / S_{nb} \\ k_\phi &= M[S_{ска}] / M[S] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $S_{nm}, S_{nb}$  — наименьшая и наибольшая полная мощность, МВА.

Для исследуемого УН с вероятностью 0,95 получены следующие характеристики:  $k_{np} = 0,71, k_3 = 0,86, k_\phi = 1,05$ .

Зная статические характеристики УН, определяется регулирующий эффект нагрузки. Этот эффект отображает способность стабилизировать напряжение и частоту (режимные параметры) при изменениях этих показателей.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i &= \varphi(U, f) \\ \sum_{i=1}^n Q_i &= \varphi(U, f) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $P_i$  и  $Q_i$  — активная и реактивная мощность  $i$ -го электроприемника, МВт, МВАр.

По известным статическим характеристикам определяются регулирующие эффекты, как частные производные  $P$  и  $Q$  по параметрам  $(U, f)$ :

$$\left. \begin{aligned} \alpha_f &= (dP / df)_{f=f_H}; & \alpha_U &= (dP / dU)_{U=U_H} \\ \beta_f &= (dQ / df)_{f=f_H}; & \beta_U &= (dQ / dU)_{U=U_H} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Для узла нагрузки исследуемой сети регулирующие эффекты составляют:

$$\begin{aligned} \alpha_U &\approx 0,6; & \beta_U &\approx 1,6-2,3; \\ \alpha_f &\approx 1,2-1,5; & \beta_f &\approx -(1,4-1,5) \end{aligned}$$

Чем выше регулирующий эффект, тем быстрее происходит стабилизация режимного параметра [4].

Для определения  $K_U$  проводится анализ графика функции  $E_3 = f(U/U_H)$ . Для этого первоначально составляется эквивалентная схема замещения ЭЭС, содержащая один эквивалентный источник электроэнергии и один узел нагрузки. Определяются параметры этой схемы замещения. Рассчитывается значение электродвижущей силы (ЭДС) эквивалентного генератора, учитывая, что все значения без индекса «н» относятся к фактическим значениям, а с индексом «н» — к нормальному режиму работы.

$$E_{\vartheta} = \sqrt{[(U/U_H) + (Q/Q_H)X/(U/U_H)]^2 + [(P/P_H)X/(U/U_H)]^2}. \quad (6)$$

Устойчивость узла нагрузки сохраняется при напряжении больше  $U_{кр}$ , в этом случае  $dE_{\vartheta}/dU > 0$ , и следовательно, определяется коэффициент запаса устойчивости по напряжению. Для исследуемого УН сети  $K_U = 0,19$ , т. е. ЭМС соответствует нормативным показателям при напряжении  $0,81U_H \leq U \leq 1,1U_H$ .

**Вывод:** устойчивость узла нагрузки исследуемой сети не может обеспечить ЭМС и не удовлетворяет требованиям, так как запас устойчивости УН в сети 10 кВ в 1,5 раза меньше, чем для сети 110 кВ. Подавление кондуктивных ЭМП и повышение устойчивости УН будет обеспечивать ЭМС в узле электрической сети.

### Список использованной литературы

1. ГОСТ 32144 — 2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Взамен ГОСТ 13109-97. — Москва : Стандартиформ, 2014.
2. Сальников, В. Г. Выбор базового объекта исследования электромагнитной совместимости в замкнутых сетях от 6 до 35 кВ северных месторождений газа / В. Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. — 2009. — № 2. — С. 209–213.
3. Иванова, Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях транспортных систем (теория, расчёт, подавление) / Е. В. Иванова // Трансп. дело России. — 2006. — №8. — С. 16–20.
4. Долгов, А. П. Устойчивость систем : учеб. пособие / А. П. Долгов. — Новосибирск : изд-во НГТУ, 2010. — 176 с.

УДК 620.98

*Косенко А. А., Путинин Я. С., Чернова А. Д., Соколова Т. Ю.*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЗАРЯДНО-ЗАЩИТНОЙ СТАНЦИИ БПЛА, РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ОПОРЕ ЛЭП, НА ОСНОВЕ ВИЭ

*г. Оренбург*

**Аннотация.** В статье рассматривается способ получения энергии для функционирования зарядно-защитной станции с применением возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** *возобновляемые источники энергии, диагностика воздушных линий электропередачи.*

*Kosenko A. A., Putinin Y. S., Chernova A. D., Sokolova T. Y.*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
«Orenburg State University», Orenburg

## DEVELOPMENT OF THE POWER SYSTEM OF THE CHARGING AND PROTECTIVE STATION UAV LOCATED ON A PLT, BASED ON RES

*Orenburg*

**Abstract.** The article discusses the option of obtaining energy for the operation of the charging and protection station using renewable energy sources.

**Keywords:** *renewable energy sources, diagnostics of overhead power lines.*

Единая энергетическая система Российской Федерации содержит более 10650 линий электропередачи (ЛЭП) класса напряжения 110–1150 кВ, а общая протяженность линий 110 кВ и выше составляет около 440 тыс. км, или 25% от всех других видов ЛЭП. В целях создания надежного электроснабжения, а также для сокращения рисков возникновения аварийных ситуаций необходим постоянный контроль технического состояния трасс воздушных линий электропередач (ВЛЭП).

Одной из наиболее перспективных технологий для мониторинга и диагностики ВЛЭП является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

При этом основной проблемой проведения диагностики ЛЭП при помощи БПЛА остается большая протяженность и труднодоступность воздушных линий, что затрудняет работу инженерно-технического персонала. Использование систем зарядно-защитных станций (ЗЗС), расположенных вдоль исследуемого участка, позволит решить проблемы с трудозатратами, а также снизить вероятность получения травм персоналом.

Для эффективного внедрения автоматизированных диагностических комплексов, состоящих из БПЛА и ЗЗС, необходим оптимальный источник питания, который будет отвечать следующим требованиям: автономность, надежность, экологичность и экономичность. Существующие устройства, предназначенные для решения аналогичных задач, в качестве питания используют однофазную сеть напряжением до 1000 В, что делает их использование невозможным при размещении ЗЗС на опорах высоковольтных линиях электропередачи.

Таким образом, целью работы является расчет системы питания зарядно-защитной станции для беспилотного летательного аппарата, расположенной на опоре ЛЭП, с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Рассмотрим возможность использования солнечных панелей для питания мало-мощных потребителей. На данный момент технологии по производству солнечных панелей позволили добиться наибольшей эффективности среди альтернативных источников электроэнергии ( $\approx 30\%$ ), что сопоставимо с мощностью, выдаваемой традиционными источниками питания.

В разрабатываемом комплексе для автоматической диагностики воздушных линий электропередачи закладывается цикл работы, состоящий из пролета БПЛА между соседними станциями и расхода энергии в режиме ожидания до момента возвращения на станцию старта [7, 8]. Рассчитывается количество электроэнергии, потраченной за этот цикл, и количество энергии, которую можно получить за время простоя.

Распространённым способом диагностики технического состояния ВЛЭП является термографический контроль. Оптимальное время для проведения обследования — первая половина дня, диапазон 6:00–9:00 ч., так как влияние солнечных лучей на достоверность диагностики минимальное.

Предлагается разделить диагностируемую линию на отрезки по 20 км и комплектовать каждые 5 участков следующим оборудованием:

- БПЛА с комплектом тепловизионного оборудования;
- четыре ЗЗС без возможности передачи данных;
- две ЗЗС с возможностью передачи данных.

Рассмотрим наиболее тяжелый случай для ЗЗС, когда время между зарядками минимальное, такое происходит на предпоследних станциях по маршруту, так как БПЛА вернется на предыдущую станцию для заряда через два цикла полета.



Рисунок 1. Энергозатратный вариант пролета БПЛА

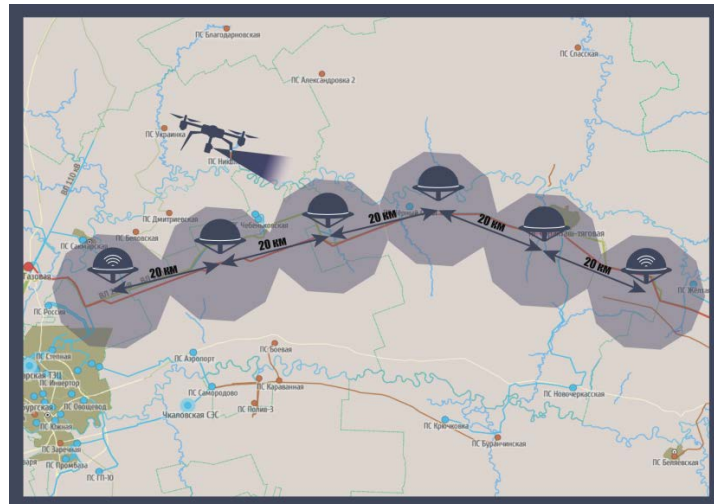


Рисунок 2. Площадь покрытия комплекта из шести зарядно-защитными станциями

ЗЗС будет находиться в режиме ожидания до момента, пока БПЛА не приблизится к ЗЗС на заданное расстояние. Данные по энергопотреблению в данном режиме сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Потребление энергии в режиме ожидания

Устройство	Мощность, Вт	Параметры питания	Время работы в сутки, часы	Энергия, Вт·ч
Главный контроллер ЗЗС [1]	10	5 В 2 А	24	240
Медиаконвертер [2]	3	5 В 0,6 А	24	72
Метеостанция [3]	0,15	3 В 50 мА	24	3,6



После приближения БПЛА на измеряемое с помощью силы сигнала расстояние ЗЗС переходит в рабочий режим. В данном режиме происходит несколько последовательных действий, энергопотребление которых представлено в таблице 2.

Таблица 2. Потребление электроэнергии

Этап	Устройство	Параметры питания	Время работы в сутки, мин.	Энергия, Вт·ч
Открытие и закрытие защитного укрытия	Электропривод	5 В 3А	10	2,5
Зарядка АКБ БПЛА	Аккумулятор	11,1 В 1А	300	55,5
	BMS-регулятор заряда	11,1 В 0,05А	300	0,55
Передача данных	Медиаконвертер	Учтен в таблице 1		
	Модуль беспроводной связи	Учтен в таблице 1		

По приведенным данным необходимо рассчитать мощность солнечной панели и емкость аккумуляторной сборки для накопления энергии на каждой из ЗЗС. Количество энергии, которое потрачено за сутки, определяется по следующей формуле:

$$W_{\text{сум.затр}} = \sum W_{\text{i.затр}}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{сум.затр}}$  — количество расходуемой энергии за цикл, Вт·ч;

$W_{\text{i.затр}}$  — потребление энергии одного компонента комплекса, Вт·ч.

$$W_{\text{сум.затр}} = 240 + 72 + 3,6 + 2,5 + 55,5 + 0,55 = 374,15 \text{ Вт·ч.}$$

Согласно данным портала «Energy. Альтернативная энергия», средний уровень инсоляции для Оренбургской области составляет 3,98 кВт·ч/м<sup>2</sup> [4].

Общая продолжительность солнечного сияния составляет 2198 часов. Наибольшая продолжительность отмечается в июле (322 часа), наименьшая — в декабре (55 часов). В среднем доля наблюдаемой продолжительности составляет 0,49 о.е. от теоретической, достигая 0,64 о.е. в теплое время года и постепенно снижаясь к последнему месяцу года до 0,22 о.е. За весь год в среднем наблюдается около 73 дней без солнечного света [5].

Для расчета принимаются 6 солнечных часов в сутки как самый минимальный показатель для Оренбургской области. Тогда мощность панели определяется:

$$P_{\text{панели}} = \frac{W_{\text{сум.затр}}}{n}, \quad (2)$$

где  $n$  — количество солнечных часов в сутки, ч.

$$P_{\text{панели}} = \frac{374,15}{6} = 62,36 \text{ Вт.}$$

Расход емкости  $\Delta C$  аккумуляторной батареи ЗЭС за время питания нагрузки определяется как:

$$\Delta C = \frac{P_n}{U_n} \cdot (24 - \Delta t_{\text{cc}}), \text{ А}\cdot\text{ч.} \quad (3)$$

где  $P_n$  — номинальная мощность нагрузки, Вт;

$U_n$  — номинальное напряжение АКБ, В;

$\Delta t_{\text{cc}}$  — интервал светлого времени суток, ч.

Разряд АКБ ниже номинальных значений напряжения приведет к преждевременному выходу батареи из строя. Для эффективного использования ресурса АКБ необходимо учитывать допустимую степень разряда, определяемую по формуле:

$$S_{\text{АКБ}} = \frac{C_n - C_{\text{min}}}{C_n} \cdot 100\% = \frac{\Delta C}{C_n} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Выразив из (4) емкость  $C_n$  с учетом (3), получаем выражение для определения требуемой емкости аккумуляторной батареи ЗЭС в виде:

$$C_n = \frac{P_n}{S_{\text{АКБ}} \cdot U_n} \cdot (24 - \Delta t_{\text{cc}}), \quad (5)$$

где  $\Delta t_{\text{cc}} = 6$  — продолжительность светлого времени в зимний период, ч;

$S_{\text{АКБ}} = 0,7$  — степень разряда, о.е.

$$C_n = \frac{16}{0,7 \cdot 11,1} \cdot (24 - 6) = 37,06 \text{ А}\cdot\text{ч},$$

Энергоемкость АКБ зарядно-защитной станции вычисляется по формуле:

$$W_{\text{АКБ}} = C_n \cdot U_n, \\ W_{\text{АКБ}} = 37,06 \cdot 11,1 = 411,37 \text{ Вт}\cdot\text{ч.} \quad (6)$$

где  $C_n$  — номинальная емкость АКБ, А·ч;

$U_n$  — номинальное напряжение АКБ, В.

Соотношение для определения общего числа одиночных аккумуляторных батарей, входящих в батарею ЗЭС, рассчитывается по следующей формуле:

$$N = \frac{100}{S_{\text{АКБ}}} \cdot \frac{P_n}{W_{\text{ячАКБ}}} \cdot (24 - \Delta t_{\text{cc}}), \quad (7)$$

где  $W_{\text{ячАКБ}}$  – энергоемкость отдельной аккумуляторной батареи.

$$W_{\text{ячАКБ}} = C_{\text{ячАКБ}} \cdot U_{\text{ячАКБ}}, \quad (8)$$

$$N = \frac{100}{S_{\text{АКБ}}} \cdot \frac{P_{\text{н}}}{C_{\text{ячАКБ}} \cdot U_{\text{ячАКБ}}} \cdot (24 - \Delta t_{\text{сс}}), \quad (9)$$

$$N = \frac{100}{70} \cdot \frac{16}{2 \cdot 3,7} \cdot (24 - 6) = 57 \text{ шт.}$$

Для максимальной выработки энергии поверхность солнечной панели должна быть перпендикулярна прямому свету солнечных лучей. Выполнение этой задачи обеспечивают существующие системы слежения с двухкоординатным солнечным трекером. Однако, большая продолжительность цикла работы зарядно-защитной станции позволяет заряжать аккумуляторные батареи в течение большого промежутка времени, поэтому использование солнечных трекеров нецелесообразно.

Оптимальный угол наклона для неподвижных солнечных панелей определяется с учетом широты и времени года [6]:

$$\alpha_{\text{ЗИМА}} = \text{Широта местности} + (10^\circ \div 15^\circ), \quad (10)$$

$$\alpha_{\text{ЛЕТО}} = \text{Широта местности} - (10^\circ \div 15^\circ), \quad (11)$$

где широта местности для Оренбурга составляет  $51^\circ$ .

Для генерации корректного количества электрической энергии солнечная панель должна располагаться посередине между двумя крайними значениями склонения сторон света в течение года:

$$\alpha_{\text{ЗИМА}} = 51^\circ + (10^\circ \div 15^\circ) = 61^\circ \div 66^\circ,$$

$$\alpha_{\text{ЛЕТО}} = 51^\circ - (10^\circ \div 15^\circ) = 41^\circ \div 36^\circ.$$

Монтаж солнечной панели не в массиве ячеек на земле, а на ферме опоры ЛЭП в достаточно свободном пространстве позволит решить проблему затемнения из-за налипания снега и пыли на поверхности фотоячеек.

## Выводы

Предложен способ питания маломощных потребителей, расположенных вдоль линий электропередачи, с использованием возобновляемых источников энергии.

Проведен расчет системы питания зарядно-защитной станции. Определены мощность солнечных панелей и емкость накопительной батареи, обеспечивающих бесперебойный заряд АКБ БПЛА.

Дальнейший этап работы предусматривает сбор данных о наведенном напряжении вдоль высоковольтных линий электропередачи, что позволит смоделировать систему питания на основе электромагнитного поля ЛЭП.

### Список использованной литературы

1. Energy. Альтернативная энергия. Значение солнечной инсоляции. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.betaenergy.ru/insolation/orenburg/>.
2. Аквафактор. Оборудование для воды. Профессиональная метеостанция с беспроводными датчиками. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://shop.aquafactor.ru/product/wireless-professional-weather-station-with-rcc-clock-ems001/>.
3. Интернет-магазин ChipDip. RaspberryPi 3 ModelB, Одноплатный компьютер на базе процессора BroadcomBCM2837 с Wi-Fi и Bluetooth [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/raspberry-pi-3-model-b>.
4. Интернет-магазин «Плеер.ру». Цифровой конвертер TP-LINK TL-FC111B-20 [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://bit.ly/3uqvFwY>.
5. Кибец А. С. Разработка беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для автоматической диагностики воздушных линий электропередачи / А. С. Кибец, Я. С. Путинин, А. А. Косенко, Р. Р. Темиргалиев, А. А. Веремеев // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Всероссийской научной конференции. — Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. — С. 159–163. — ISBN 978-5-8265-2203-5.
6. Кибец, А. С. Зарядно-защитная станция БПЛА / А. С. Кибец, Я. С. Путинин, А. А. Косенко, Р. Р. Темиргалиев, А. А. Веремеев // Энергетика, состояние, проблемы, перспективы : тр. XI Всерос. науч.-техн. конф., 2020 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федер., Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбургский гос. ун-т». — Оренбург : ОГУ, 2020. — С. 76–80.
7. Романов В. В. Применение возобновляемых источников энергии в условиях Оренбургской области / В. В. Романов, Д. К. Байкаменов // International innovation research : сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 частях, 2017 г. / Наука и Просвещение. — Пенза, 2017, — С. 69–75.
8. Экология производства. Научно-практический портал. Климатическая характеристика Оренбургской области [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.ecoindustry.ru/phorum/viewtopic.html?geo=56&f=14&t=2402>.

УДК 621.311

**Владимиров Л. В., Савинов С. А.**

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

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

г. Сургут

**Аннотация.** В публикации рассмотрены основные отличия в построении цифровых энергообъектов на основе стандарта МЭК 61850. Представлена архитектура построения цифровой подстанции с делением ее на несколько уровней и рассмотрены основные протоколы передачи данных между первичным оборудованием и интеллектуальными электронными устройствами.

**Ключевые слова:** *цифровая подстанция, МЭК 61850.*

**Vladimirov L. V., Savinov S. A.**

Surgut State University, Surgut

## DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Surgut

**Abstract.** The publication discusses the main differences in the construction of digital power facilities based on the IEC 61850 standard. The architecture of building a digital substation with its division into several levels is presented and the main data transmission protocols between primary equipment and intelligent electronic devices are considered.

**Keywords:** *digital substation, IEC 61850.*

С учетом проводимой в настоящее время политики на интенсификацию цифровизации электроэнергетики и промышленности актуальным является вопрос о внедрении подстанций нового поколения. Такими подстанциями стали цифровые подстанции (ЦПС). Один из технических стандартов ПАО «ФСК ЕЭС» дает следующее определение: *цифровая подстанция* — это подстанция электротехнической системы с высоким уровнем автоматизации, в которой процессы информационного обмена между элементами подстанции, а также управление работой подстанции осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850 [1]. Передача данных и информационное взаимодействие между отдельными

ми блоками осуществляется в цифровом формате. Наличие данного вида информационного обмена на подстанции является определяющим признаком ЦПС.

Условно структуру «традиционной» подстанции можно разделить на два уровня: первичная система, в которой передача данных и сигналов управления от первичных устройств (коммутационных и измерительных аппаратов) осуществляется посредством вторичных аналоговых цепей. Передача данных в цифровом формате по оптоволоконным каналам связи может осуществляться на верхнем уровне (вторичная система) для связи устройств микропроцессорной релейной защиты, автоматизированной системы коммерческого учета электрической энергии, устройств управления (рисунок 1). При создании концепции ЦПС разработчики в первую очередь старались устранить основные недостатки «традиционных» подстанций: наличие множества аналоговых соединительных проводов, обладающих плохой помехозащищенностью; значительное влияние протяженности вторичных аналоговых кабелей и, как следствие, затухание аналогового сигнала; ограниченный объем передаваемых данных. Сложившаяся концепция цифровой подстанции подразумевает использование помехозащищенных оптоволоконных линий для передачи измерений и сигналов в цифровом виде от каждого устройства до единого информационного пространства. Кроме того, такое решение позволяет повысить уровень автоматизации процессов производства, передачи и распределения электрической энергии, повысить эффективность управления и использовать облачные сервисы.

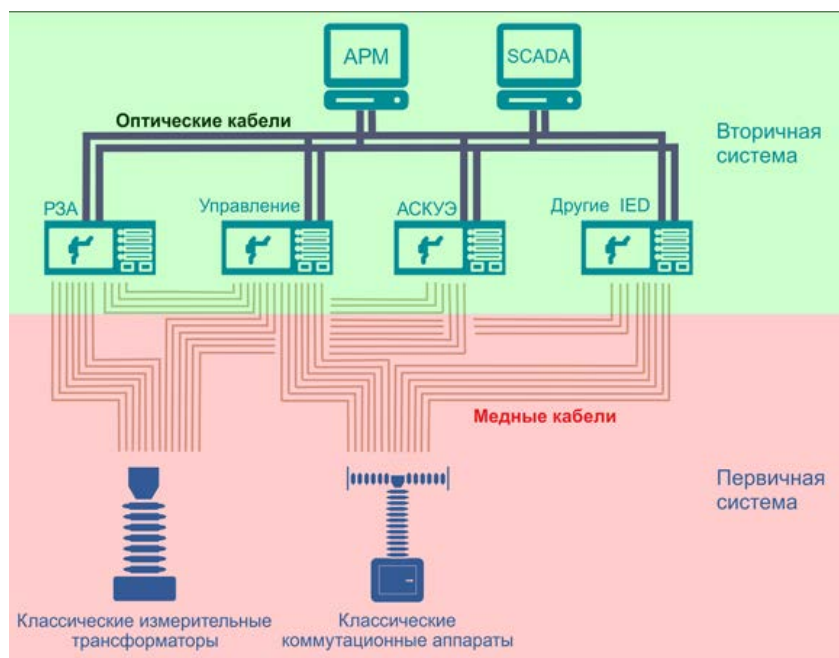


Рисунок 1. Структурная схема «традиционной» подстанции

Оборудование с точки зрения цифровой подстанции представляется интеллектуальным электронным устройством, которое наряду со вторичным оборудованием может быть сконфигурировано с использованием правил объектной модели, принятой стандартом МЭК 61850. Существует оригинальная международная версия стандарта (International Electrotechnical Commission), содержащая более тысячи страниц и состоящая из 10 основных глав, посвященных различным аспектам в описании правил построения и конфигурирования цифровых подстанций.

Стандарт IEC 61850 — это набор отдельных глав [2]. Основные главы стандарта IEC 61850 были опубликованы в конце 2002 — начале 2005 годов. Все документы стандарта делятся на три основных вида: **International Standard (IS)** — это международный стандарт, который официально принят. **Technical Specification (TS)** — это технические требования, по содержанию близкие к стандарту, но еще не принятые техническим комитетом или подкомитетом МЭК. К третьему виду документов относится **Technical Report (TR)** — это технический отчет, который носит информационный характер. Также данный стандарт закрепляет и требования к описанию электрических систем на всех уровнях, так, например, требования по электромагнитной совместимости, взаимозаменяемости устройств.

Архитектура построения цифровой подстанции (рисунок 2) условно представляет собой три различных уровня:

**Полевой уровень** — это уровень расположения цифровых измерительных трансформаторов, цифровых коммутационных аппаратов, т. е. уровень размещения измерительных датчиков и исполнительных устройств [3]. Возможно использовать и традиционные электрические аппараты путем включения дополнительного звена — устройства сопряжения (рисунок 3). Это позволяет в некоторой степени упростить переоборудование действующих энергообъектов, снизить издержки на реконструирование. Недостатком такого решения является использование аналоговых каналов связи от первичного оборудования до устройства сопряжения, но при этом их протяженность может быть минимальна.

**Уровень присоединения** уже содержит интеллектуальные устройства защиты, измерения и автоматики. Коммутация элементов на этом уровне осуществляется с помощью оптоволоконных каналов связи, что значительно упрощает топологию построения вторичных цепей. Кроме того, обмен данными может осуществляться в двух направлениях, а информация доступна для любого интеллектуального устройства.

**Уровень подстанции** представляет собой совокупность систем SCADA (система сбора, контроля и хранения информации о текущем режиме энергосистемы и состоянии оборудования), сервера точного времени и коммуникационного контроллера, который предоставляет отправку информации в диспетчерский центр через внешнюю телекоммуникационную сеть.

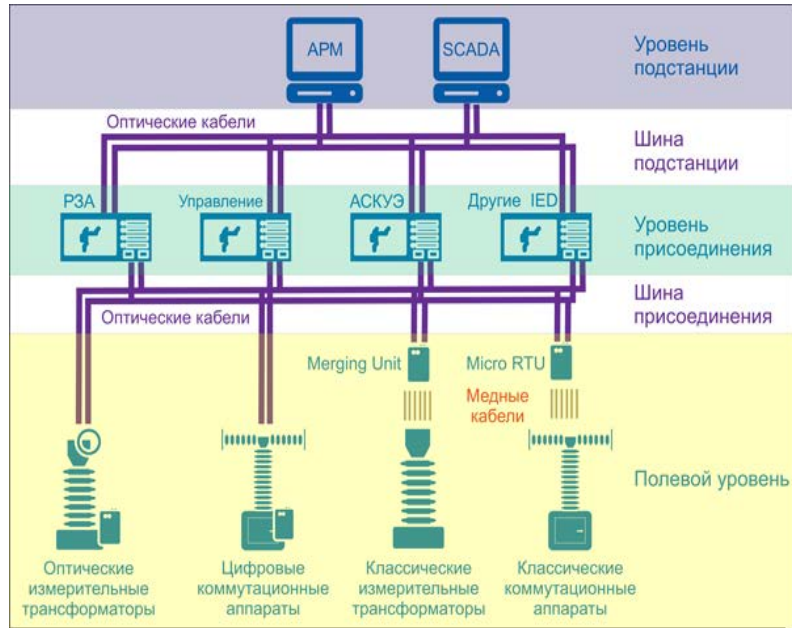


Рисунок 2. Структурная схема цифровой подстанции

Обмен информацией между блоками ЦПС осуществляется посредством общей коммуникационной сети, дабы разгрузить общую сеть и повысить уровень безопасности, общую сеть разделяют на две шины. Связь между полевым уровнем и уровнем присоединения осуществляется шиной процесса, тогда как шина станции обеспечивает связь устройств с подстанционным уровнем.



Рисунок 3. Устройство сопряжения ЦПС

Поскольку передача данных осуществляется в цифровом виде, немаловажно обеспечить защиту данных, возможность коммутации различных устройств при соблюдении требований по объему и скорости передачи, возможности син-



хронизации. В стандарте МЭК 61850 (IEC 61850) рассмотрены следующие виды протоколов:

- Sampled Values — протокол передачи высокодискретных измерений;
- GOOSE — протокол канального уровня;
- MMS — протокол TCP/IP для связи с системами верхнего уровня.

Протокол Sampled Values предназначен для передачи высокодискретных мгновенных измерений токов и напряжения от измерительных устройств полевого уровня в интеллектуальные устройства IED-уровня присоединения.

Сообщения GOOSE предназначены для передачи команд релейной защиты и противоаварийной автоматики, событий и сигналов, имеющих не только дискретный характер, но и сигналов, содержащих значения параметров. Этот универсальный протокол позволяет осуществлять коммуникационный обмен между устройствами полевого уровня, уровня присоединения и системами верхнего уровня.

Сообщения MMS представляют собой стандартный клиент-серверный протокол. Он предназначен для передачи любых типов данных, а также команд телеуправления между устройствами уровня присоединения и системами уровня в соответствии с положениями главы IEC 61850-8-1 международного стандарта [4].

Таким образом, на сегодняшний день основные положения и концепция построения цифровых энергообъектов достигли высокого уровня проработки. Дальнейшее внедрение цифровых устройств и реализация энергообъектов, реализованных по стандарту МЭК 61850, позволит перейти на новый уровень автоматизации и управления в электроэнергетике.

### Список использованной литературы

1. Общие требования к метрологическому контролю измерительных каналов ЦПС: СТО 56947007-29.240.10.265-2019 [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.240.10.265-2019.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.265-2019.pdf) (дата обращения 17.04.2022).
2. Структура стандарта МЭК 61850 [Электронный ресурс]. — URL: <http://digitalsubstation.com/blog/2012/10/18/struktura-standarta-me-k-61850/> (дата обращения 17.04.2022).
3. Макеев А. В., Хромцов Е. И. Многофункциональные устройства с поддержкой СВИ для цифровых подстанций и цифровых сетей // Релейная защита и автоматизация. — 2019. — № 4(37). — С. 20–25;
4. Цифровая подстанция. Методические указания по проектированию ЦПС: СТО 56947007-29.240.10.299-2020 [Электронный ресурс]. — URL: [https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.240.10.299-2020.pdf](https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.299-2020.pdf) (дата обращения 17.04.2022).

УДК 621.316

*Кайдар А. Б.<sup>1</sup>, Шапкенов Б. К.<sup>2</sup>, Уразалимова Д. С.<sup>3</sup>,  
Макажанов Н. Е.<sup>4</sup>, Жанбырбаев А. Р.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> докторант Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина, магистр техники и технологии, инженер-технолог компании «Альстом, ЭКЗ», г. Нур-Султан;

<sup>2</sup> кандидат технических наук, профессор, НАО «Торайгыров университет», Павлодар

<sup>3</sup> магистр, старший преподаватель НАО «Торайгыров университет», Павлодар

<sup>4,5</sup> магистрант НАО «Торайгыров университет», Павлодар

## РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРЕСТЬЯНСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**Аннотация.** В настоящее время использование альтернативных источников является экономически нецелесообразным в районах с развитой структурой традиционной энергетики. Однако для удаленных регионов, в том числе и частного сектора, актуально использование возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** автономное электроснабжение, ветросолнечная электрическая станция, гибридная электрическая станция, график электропотребления.

## CALCULATION OF THE POWER CONSUMPTION FOR AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEM OF A PEASANT FARM

*Kaydar A. B.<sup>1</sup>, Shapkenov B. K.<sup>2</sup>, Urazalimova D. S.<sup>3</sup>,  
Makazhanov Y. E.<sup>4</sup>, Zhanbyrbayev A. R.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> doctoral student of the Kazakh Agrotechnical University named after. S. Seifullina, master of engineering and technology, process engineer of the Alstom, EKZ company, Nur-Sultan;

<sup>2</sup> PhD of Technical Sciences, Professor, NJSC Toraigyrov University, Pavlodar

<sup>3</sup> Master, Senior Lecturer, NJSC Toraigyrov University, Pavlodar

<sup>4,5</sup> master student of the NJSC «Toraigyrov University», Pavlodar

**Abstract.** Currently, the use of alternative sources is not economically feasible in areas with a developed structure of traditional energy. However, for remote regions, including the private sector, the use of renewable energy sources is relevant.

**Keywords:** autonomous power supply, wind solar power plant, hybrid power plant, power consumption schedule.

Назначение автономных систем электроснабжения заключается в поставке электрических мощностей и энергии для потребителей. Такие системы генерирования должны выполнять свои функции, несмотря на непредвиденные климатические факторы или проблемы с ограничением органических энергетических ресурсов.

Система автономного электроснабжения, которая представлена на рисунке 1, будет состоять из: ветрогенератора и солнечной батареи, блока аккумуляторов, резервного жидкотопливного генератора, блока бесперебойного питания. В большинстве районов приход солнечной радиации и наличие ветра находятся в противофазе (т. е. когда светит яркое солнце, чаще всего отсутствует ветер, либо же когда дует сильный ветер, то имеется нехватка солнечной радиации) [1, с. 12-122]. В зимнее время основная выработка электроэнергии приходится на ветроэлектрическую установку, а в летнее используются как ветрогенератор, так и солнечные фотоэлектрические модули. Солнечные и ветровые энергетические технологии, экологически чистые и доступные, вполне могут заменить или дополнить традиционные способы получения энергии, связанные с использованием автономных генераторов. Последние реализуются посредством сочетания энергоустановок на возобновляемых источниках энергии и бензиновых или дизель-генераторах (рисунок 2), где

- 1 — ветроколесо;
- 2 — мультипликатор;
- 3 — обгонная муфта;
- 4 — однофазный генератор переменного тока на постоянных магнитах;
- 5 — выпрямитель;
- 6 — контроллер;
- 7 — аккумуляторная батарея;
- 8 — инвертор;
- 9 — стабилизатор;
- 10 — шина переменного тока;
- 11 — солнечная батарея;
- 12 — балласт;
- 13 — первый операционный усилитель в режиме компаратора (компаратор);
- 14 — первый подстроечный резистор R1 в режиме делителя напряжения;
- 15 — первое реле;
- 16 — контакт первого реле;
- 17 — обмотка 1 магнитного пускателя;
- 18 — первый нормально замкнутый контакт 1 магнитного пускателя;
- 19 — второй нормально замкнутый контакт 1 магнитного пускателя;

- 20 — третий нормально разомкнутый контакт 1 магнитного пускателя;
- 21 — второй операционный усилитель в режиме компаратора (второй компаратор);
- 22 — второй подстроечный резистор R2 в режиме делителя напряжения;
- 23 — обмотка второго реле;
- 24 — электростартер бензогенератора;
- 25 — бензогенератор на базе двигателя внутреннего сгорания с однофазным синхронным генератором;
- 26 — третий резистор R3;
- 27 — четвертый резистор R4;
- 28 — пятый резистор R5;
- 29 — шестой резистор R6;
- 30 — элемент И-НЕ;
- 31 — элемент НЕ;
- 32 — обмотка третьего реле;
- 33 — нормально разомкнутый контакт третьего реле;
- 34 — обмотка второго магнитного пускателя;
- 35 — первый нормально разомкнутый контакт второго магнитного пускателя;
- 36 — второй нормально разомкнутый контакт второго магнитного пускателя;
- 37 — нагрузка;
- 38 — автоматический выключатель;
- 39 и 40 — диоды.

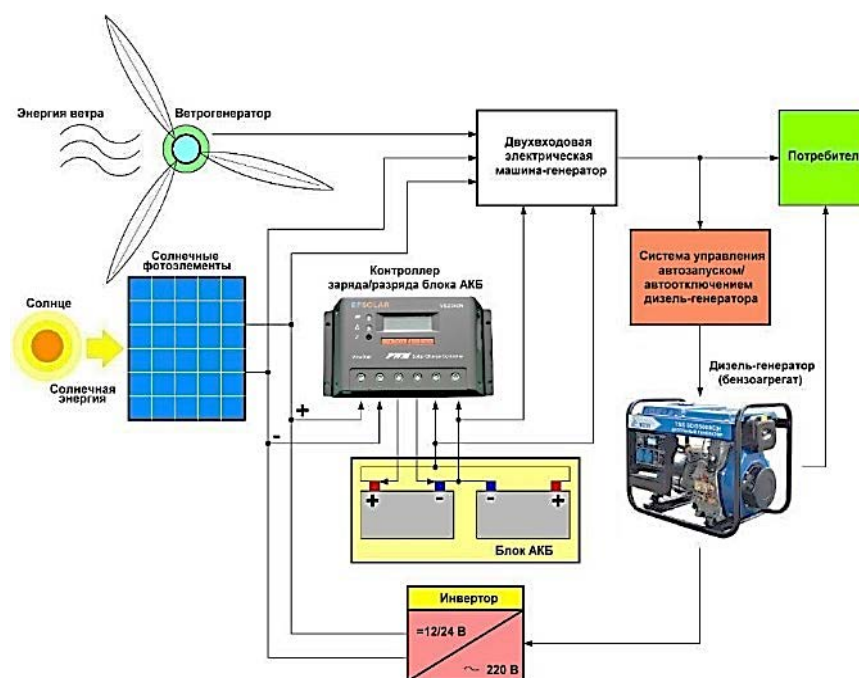


Рисунок 1. Состав гибридной системы [1, с. 120-122]

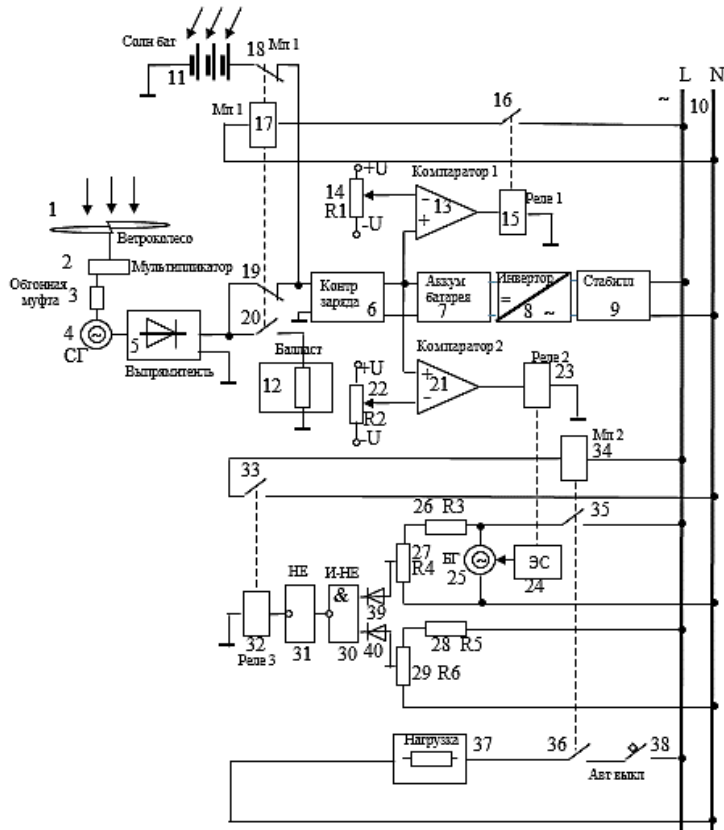


Рисунок 2. Ветросолнечная система автономного электроснабжения

Такая система увеличивает возможности для повышения экологической безопасности и экономии топлива двигателем внутреннего сгорания за счет обеспечения его более эффективной работы в условиях изменяющегося графика нагрузки, напрямую связанного с потребностями в электроэнергии в различное время суток. Анализ существующих разработок систем автономного энергообеспечения и характеристик используемого оборудования позволил выявить основные тенденции развития данной области, сформировать перспективное направление практической реализации энергоэффективной ветросолнечной энергоустановки для фермерских хозяйств [1, с. 120–122].

Расчет потребляемой электроэнергии и пиковой мощности потребителем.

После определения пиковой мощности необходимо зафиксировать работу электроприбора в различное время суток и отметить это в таблице, с указанием мгновенной потребляемой мощности утром, днем, вечером и ночью. Измерения необходимо производить с соответствующими допущениями по времени работы. Сложив данные столбцов мгновенной мощности  $P_t$ , мы выявим пиковую мощность энергопотребления  $P_{\text{п}}$  в конкретное время суток — утром, днем, вечером, ночью ( $P_{\text{пу}}, P_{\text{пд}}, P_{\text{пв}}, P_{\text{пн}}$ ). Значения представлены в таблице 1. Эти данные используются в дальнейшем для расчета номинальной мощности инвертора  $P_{\text{и}}$ .

Пиковая мощность энергопотребления рассчитывается по формуле:

$$P_{п} = \Sigma(P_i T_i). \quad (1)$$

Суточная пиковая мощность энергопотребления определяется по формуле:

$$P_{п\text{сут}} = P_{пу} + P_{пд} + P_{пв} + P_{пн}. \quad (2)$$

Таблица 1. Электропотребление в фермерском хозяйстве на 50 коров

Наименование нагрузки	Установленная мощность $P_i$ , кВт[2]	Время использования $T_i$ , ч				Потребление энергии $P_{п\text{сут}}$ , кВт·ч
		Утро, $P_{пу}$ , кВт·ч	День, $P_{пд}$ , кВт·ч	Вечер, $P_{пв}$ , кВт·ч	Ночь, $P_{пн}$ , кВт·ч	
Насос скважинный СН-90В Вихрь	0,55	0/0	1/0,55	1/0,55	0/0	1,1
Сепаратор Г9-ОМ-1А /1000 л/ч	1,5	2/3	0/0	2/3	0/0	6
Доильный аппарат ARD-U2200AL (20 коров в час)	2x0,55	1/1,1	0/0	1/1,1	0/0	2,2
Охладитель молока УОМ 500 л	0,25	1/0,25	0/0	1/0,25	0/0	0,5
Холодильник	0,2	1/0,2	1/0,2	1/0,2	1/0,2	0,8
Телевизор	0,1	0,5/0,05	3/0,3	2/0,2	0/0	0,55
Ноутбук	0,1	0/0	2/0,2	3/0,3	0/0	0,5
Стиральная машина	1,0	0/0	0/0	1/1	0/0	1
Микроволновка	1,5	0,3/0,45	0,3/0,45	0,3/0,45	0,3/0,45	1,8
Пылесос	0,65	0/0	0,5/0,325	0/0	0/0	0,325
Освещение 0,018x10	0,18	1/0,18	0/0	4/0,72	1/0,18	1,08
Чайник	2,0	0,2/0,4	0,2/0,4	0,2/0,4	0,2/0,4	1,6
Обогреватель	2,0	0/0	0/0	0/0	1/2	2
Итого	11,13	5,63	2,425	8,17	3,23	19,455

Объем потребляемой воды 50 коровами  $V_n$  при 2-разовом ( $k=2$ ) по 15 л поения в сутки составляет

$$V_n = V_i \cdot k \cdot n = 15 \cdot 2 \cdot 50 = 1500 \text{ л,}$$

где  $V_n, V_n$  — объемы воды, потребляемой одной и 50 коровами. Поэтому выбираем насос скважинный глубинный СН-90В Вихрь Ø100 мм,  $h_{\max}$  90 м, 1500 л, час [3]. Также выбираем сепаратор Г9-ОМ-1А с производительностью 1000 л/час [4], 2 доильных аппарата ARD-U2200AL (20 коров в час) мощностью 550 Вт с производительностью по 20 коров в час каждый [5], установку для охлаждения молока УОМ 500 объемом 500 л, причем при загрузке 50 % охлаждает с 36 до 4 °С за 3 часа [6].

Наиболее высокий пик мощности  $P_{\text{п}}$  для каждого периода суток, которые приведены в таблице 1 и на рисунке 3:

$$P_{\text{п сут}} = P_{\text{п у}} + P_{\text{п д}} + P_{\text{п в}} + P_{\text{п н}} = 5,63 + 2,425 + 8,17 + 3,23 = 19,455 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Так как максимальная пиковая мощность за сутки  $P_{\text{п}} = 8,17$  кВт. Тогда мощность инвертора должна быть  $P_{\text{и}} > 8,17$ . Принимаем  $P_{\text{и}} = 9$  кВт [7, С. 86-87].

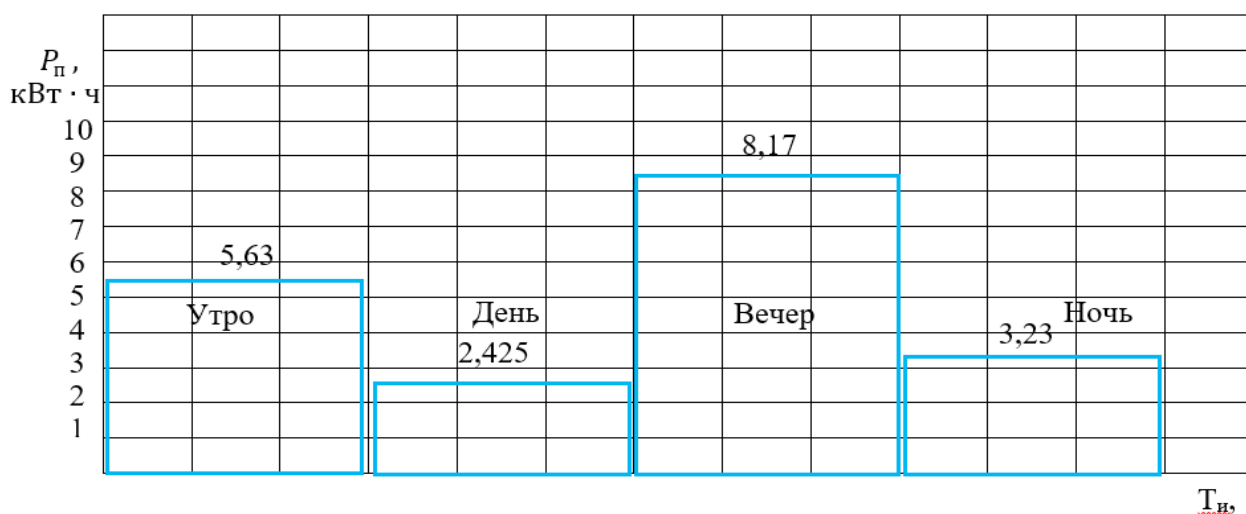


Рисунок 3. График электропотребления в фермерском хозяйстве на 50 голов КРС

Для минимизирования нагрузки на систему автономного электроснабжения не рекомендуется одновременное включение энергоемких потребителей.

Количество энергии, потребляемой объектом в сутки, показано в правой нижней ячейке таблицы  $P_{\text{п сут}} = 19,455$  кВт·ч. На это значение необходимо ориентироваться при дальнейшем расчете номинальной (установленной) мощности бензогенератора, солнечной батареи, ВЭУ и емкости аккумуляторной батареи.

### Список использованной литературы

1. Шапкенов Б. К., Кайдар А. Б. Ветросолнечные электрические станции : Монография / Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар. — Павлодар : Кереку, 2016. — 168 с. — ISBN 978-601-238-641-7
2. Таблица энергопотребления бытовых приборов. — URL: <https://hozsektor.com/tablicza-potrebleniya-elektroenergii-bytovymi-priborami>
3. URL: [https://otzovik.com/reviews/skvazhinniy\\_pogruzhnoy\\_nasos\\_vihr\\_sn-90v/](https://otzovik.com/reviews/skvazhinniy_pogruzhnoy_nasos_vihr_sn-90v/)
4. Сепаратор Г9-ОМ-1А. — URL: <https://agroserver.ru/b/separatory-dlya-moloka-na-100-l-ch-i-500-l-ch-315074.htm>
5. Доильный аппарат ARD-U2200AL (20 коров в час) 2x 550 Вт. — URL: <https://markakachestva.ru/rating-of/4696-luchshie-doilnye-apparaty.html>
6. Установка охлаждения молока УОМ 500 литров. — URL: <https://vector-agro.ru/catalog/holodilnoe-oborudovanie/omvt/omvt-500>
7. Сейтказин С. Б., Кайдар А. Б., Кайдар М. Б., Шапкенов Б. К., Бектурсунова М. С. Жел-күн электрлік станциялар : Монография / С. Б. Сейтказин, А. Б. Кайдар, М. Б. Кайдар, Б. К. Шапкенов, М. С. Бектурсунова, — Павлодар : Кереку, 2019. — 175 б.



УДК 621.316

*Kaidar A. B.<sup>1</sup>, Issenov S. S.<sup>3</sup>, Kislov A. P.<sup>4</sup>, Azamatov M. T.<sup>4</sup>,  
Sagaliev A.<sup>5</sup>, Aitpayev A. E.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> doctoral student of the Kazakh Agro-Technical University named after S. Seifullin, master of engineering and technology, production engineer of «Alstom, EKZ» Company, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;

<sup>2</sup> candidate of technical sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan;

<sup>3</sup> candidate of technical sciences, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

<sup>4</sup> master's degree, head of the laboratory, Toraigyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan.

<sup>5</sup> master's student of Toraigyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

## THE MECHANICAL MODELLINGS OF THE WIND ENERGY CONVERSION SYSTEM AND THEIR SPECIFIC FUNCTION IN THE ENERGY CONVERSION PROCESS

**Abstract.** This article describes the entire wind turbine system connected to the grid. The main parts contains several equipments. Themechanical modellings of the Wind Energy Conversion System (WECS) and their specific function in the energy conversion process from wind energy into electrical energyhas been discussed showing all components such as Permanent Magnet Synchronous generator (PMSG), converters which transfer the electric power from AC to DC to AC with different categories and finally the modelling of the grid. To show the principle and operation of the traditional control schemes, the classical control scheme using PI controllers has been simulated and results have been previewed for different values of wind speeds.

### Introduction

Since the wind turbine manufacturing and development began in 1980 until today, windenergy and its application is shown as a new technology and has become an attractiveinvention in the power generation market. Various wind turbine concepts and designed models have been evolved during this period of time. The Wind Energy Conversion System (WECS) has different mechanical and electrical components collected and operated together and controlled to harvest the wind mechanical power and convert it into useful electrical power within rated voltage and frequency [1, c. 155-162; 2, c. 356-365].

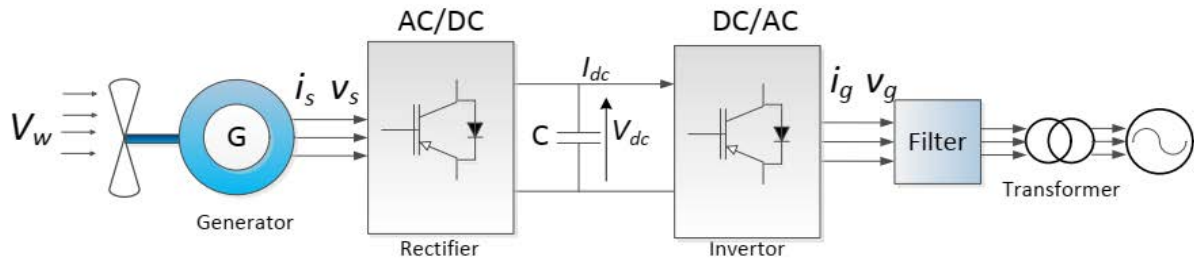


Figure 1. Schematic diagram of grid connected WECS model

In this chapter, all components will be presented and detailed in real values to satisfy overall description of the system during all operational cases. The whole system of a grid connected WECS consists of several components, which contribute to the operation of the conversion process of electric energy from wind energy into electrical energy. Figure 1 shows the main structure of wind turbine connected to generator which convert the power through a traditional Type 4, back to back converter and finally to the grid through filter [1, c. 155-162].

Firstly, the aerodynamics of the wind turbine will be expressed and formulated in detail. Simulation model will be developed to generate the wind turbine mechanical characteristics. Secondly; the electrical and mechanical models of the generator configuration will be presented, explained and followed by the power electronic converter interface design and control connected to the grid. In some cases the harmonics of the output currents distort the signal profile then the filter of R-L, L-C or L-C-L should be used to mitigate the Total Harmonic Distortion (THD) and finally reduce the power dissipation and losses.

It is also noticeable that the output voltage of the grid side should be the same of the grid. Otherwise, the transformer should be connected to convert the low voltage to high voltage to synchronise the vector quantities of the system voltages.

Wind energy is converted to mechanical power by a wind turbine and then to electrical energy by an electric generator. The kinetic energy which has been stored by the air is proportional to the unit area perpendicular to the direction of wind speed per unit mass is converted to mechanical energy. Assuming the front end of the wind stream is uniform, that is, all the particles have the same speed at the time. From Newton's Law, the kinetic energy exists in the wind stream can be expressed as follows [3, c. 293-298]:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v_w^2, \quad (1)$$

where  $E_{kin}$  is the kinetic energy stored in the wind,  $m$  mass of the air and  $v_w$  is the wind speed (m/s). By substitution the mass by the density times the volume, and the

volume is the speed times the area and time. Therefore, determination of the mass in a circular interfacing area between the wind stream and the turbine blades with area  $A$ , can be derived:

$$m = \rho v = \rho v_{\omega} A t = \rho v_{\omega} \pi R^2 t, \quad (2)$$

where  $\rho$  is the air density values from 1.1 to 1.3 ( $kg/m^3$ ),  $t$  is the time,  $R$  is the radius of the circular are as wiped by the turbine blades.

By substituting equation (2) into equation (1) yields:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v_{\omega}^3 \pi R^2 t. \quad (3)$$

Then, the stream power of the wind ( $P_{wind}$ ) can be expressed as [4, c. 379-386]:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v_{\omega}^3. \quad (4)$$

The power captured by a wind turbine from an airstream flowing through an area  $A$  is Equal to:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A C_p v_{\omega}^3, \quad (5)$$

where  $P_m$  is the wind power (watts or J/s), and  $A$  is the area swept out by turbine blades ( $m^2$ ). where  $R$  is the radius of the area swept out by blades turbine and  $\omega_m$  is the mechanical speed of the generator in rad/s. The power coefficient ( $C_p$ ) can then be expressed as a function of the Tip Speed Ratio (TSR) denoted by ( $\lambda$ ) and pitch angle  $\beta$  in equation (6) [5, c. 386–395]:

$$C_p(\lambda, \beta) = C_1 \left( \frac{C_2}{\gamma} - C_3 \beta - C_4 \right) e^{-\frac{C_5}{\lambda}} + C_6 \lambda \quad (6)$$

and

$$\lambda = \frac{1}{(\lambda + 0,008\beta) - (0,0035\beta^2 + 1)}, \quad (7)$$

where  $\beta$  is the pitch angle of the blade in degrees. The coefficients parameters of equation (6) are empirical constants and can be estimated for a WT as:  $C_1 = 0.5176$ ,  $C_2 = 116$ ,  $C_3 = 0.4$ ,  $C_4 = 5$ ,  $C_5 = 21$ , and  $C_6 = 0.0068$ . The Tip Speed Ratio (TSR) can be defined as follows:

$$\lambda = \frac{w_m R}{v_w}. \quad (8)$$

In ideal case, the power coefficient  $C_p$  reaches a maximum value that will be within the range 59.26 % according to Betz's limit. This means that the extracted power is practically from the wind is always less than this value [6, с. 128-129]. In other words, the extracted power from the wind is always less than 50 %. The value less than the theoretical limit is caused by the inefficient conversion of power that lead to different types of losses, which depend on the construction of the generator rotor with regard to weight, stiffness, number and structure of blades of the turbine.

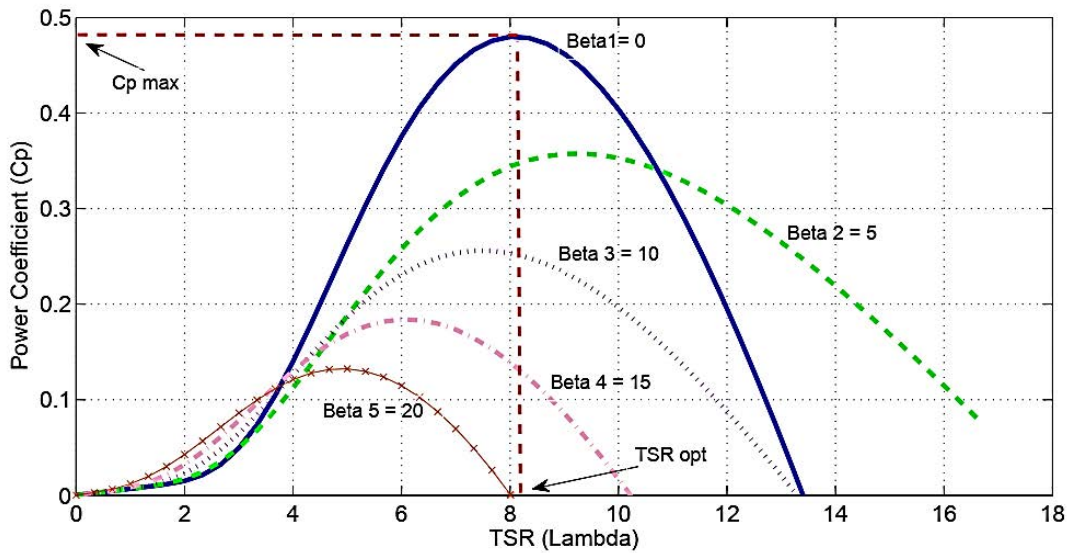


Figure 2. Variation of power coefficient with TSR

The relationship of the performance power coefficient,  $C_p$  of a wind turbine and the TSR shows that the maximum values of  $C_p$  in all operational situations occur at optimum values of TSR. By adjusting these values in the control circuit it is possible to obtain the Maximum Power Point Tracking MPPT for any variation of wind speed. Figure 2 shows the relationship between the power coefficient  $C_p$  and optimum values of TSR for different values of pitch angle  $\beta$ . The output mechanical power varies with the angular velocity  $\omega_m$ , for variable values of the wind speed according to the synchronous machine characteristics. A significant aim of this research is to achieve optimum values of  $\omega_m$  that satisfy the maximum output mechanical power of the wind. Therefore the above important relationships of  $C_p$  and  $\lambda$  should be taken in to account in order to obtain optimum design as shown in Figure 2. The dynamic equation of the wind turbine is given in equation (9):

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_c - T_m - F\omega_m, \tag{9}$$

where  $J$  is the total moment of inertia of wind turbine and generator,  $F$  is the friction of viscosity coefficient and  $T_m$  is the input mechanical torque to the turbine.

## References

1. Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П., Кайдар М. Б., Кайдар А. Б., Нефтисов А. В., Волгин М. Е., Бейсембаев Б. У. Топология силовой части многоуровневых преобразователей электрической энергии для автономных электроэнергетических систем, «XIX Сэтбаев оқулары» жас ғалымдар, магистранттар, студенттермен мектеп оқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары АкадемикҚ. И. Сэтбаевтың 120 жылдығына арналған. — Павлодар : С. Торайғыроватындағы ПМУ, 2019.ISBN 978-601-238-907-4Т. 12 «Студенттер». — 2019. — 296 б. — С. 155–162. — ISBN 978-601-238-919-7.
2. S. K. Sheryazov, S. S. Isenov, A. B. Kaidar. Classification of wind energy conversion systems, ВестникТорайғыровуниверситет. Серия энергетическая. — № 3. — 2020. — С. 356–365. — ISSN 1811-1858.
3. Кайдар А. Б., Шапкенов Б. К. , Кислов А. П., Марковский В. П., Жумадилова А. К., Шахман Е. Т. Энергоэффективные ветрогенераторы с улучшенными энергетическими показателями. Сборник Международной научно-практической конференции «VII Торайғыровские чтения. Качество жизни в Павлодарской области. Состояние и перспективы», посвященной 55-летию Павлодарского государственного университета имени С. Торайғырова. — Павлодар, 2015., т. 5. — С. 293–298. — ISBN 978-601-238-552-6.
4. Sheryazov S. K., Issenov S. S., Kaidar A. B., Specifics of the choice of electric energy conversion and storage systems in wind power plants for agriculture, Торайғыров университетінің 60 жылдығына арналған «XII Торайғыров оқулары» : Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. — Павлодар : Торайғыров университеті, 2020.ISBN 978-601-345-104-6 (жалпы), Т. 5. — 2020. — 542 б. — ISBN 978-601-345-108-4. — С. 379–386.
5. Шерьязов С. К., Исенов С. С., Кайдар А. Б. Предпосылки внедрения SMART GRID сетейс ветроэнергетическими установками в сельском хозяйстве, Торайғыров университетінің 60 жылдығына арналған «XII Торайғыров оқулары» : Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. — Павлодар : Торайғыров университеті, 2020.ISBN 978-601-345-104-6 (жалпы), Т. 5. — 2020. — 542 б.. — ISBN 978-601-345-108-4. — С. 386–395.
6. Б. Шапкенов, Б. Калиев, А. Кайдар. Теория и практика энергетических преобразователей : Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. — Изд. LapLambertAcademicPublishing, Saaarbrucken, Germany, 2014. — 461 с.

УДК 621.316

*Kaidar A. B.<sup>1</sup>, Issenov S. S.<sup>2</sup>, Kislov A. P.<sup>3</sup>, Shapkenov B. K.<sup>3</sup>,  
Makazhanov N. E.<sup>4</sup>, Fazlyev D. M.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> doctoral student of the Kazakh Agro-Technical University named after S. Seifullin, master of engineering and technology, production engineer of «Alstom, EKZ» Company, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup> doctor of technical Sciences, Professor, Professor of the South Ural state agrarian University, Chelyabinsk, Russian Federation;

<sup>3</sup> Candidate of technical sciences, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

<sup>4</sup> Master's student of, «Toraighyrov University», Pavlodar, Republic of Kazakhstan

## OVERVIEW OF WIND TURBINE SYSTEMS

**Abstract.** This article describes the entire wind turbine system connected to the grid. The main parts contains several equipments. The mechanical modellings of the Wind Energy Conversion System (WECS) and their specific function in the energy conversion process from wind energy into electrical energy has been discussed showing all components such as Permanent Magnet Synchronous generator (PMSG), converters which transfer the electric power from AC to DC to AC with different categories and finally the modelling of the grid.

This article introduces the fundamentals, principle of operation and control of Wind Energy Conversion System (WECS). General description to the principles and operation of WECS has been demonstrated by describing major components of grid connected WECS such as mechanical, electrical and control parts, operation voltage that the WECS work.

### Introduction

Several technological advancement in both aerodynamic or electrical equipment design have been developed by wind energy markets during last decades in industry or commerce environments. These issues related to mechanical equipment, electric generators and power electronic devices, which cooperated the control equipment in power systems integration.

From the perspective of electrical engineering, the electric generators and power electronic converters have major interest in the operation of WECS.

### Main part

Since the beginning of grid-connected wind system utilization in 1980s, different types of combinations of generators and equipment of power electronic converters have been applied and improved in modern wind turbines manufacturing companies to acquire fixed or variable rotational speed wind turbine system [1, p.155,2, p. 356-365]. The production of power which obtained by renewable sources in the world exceeded 1470 GW in 2012 representing nearly 19% of global energy consumption. As a result, in 2013 the sizes of offshore and onshore wind turbines are stated approximately as 3.613 and 1.926 MW respectively [3, p. 293-298].

Commercially the marketing of wind turbines expects that 10-20 MW of those turbines should be operated in large scale size in the future. These turbines have rotor diameters may exceed 150 m, that means double of the length of the air-plane Airbus A380.

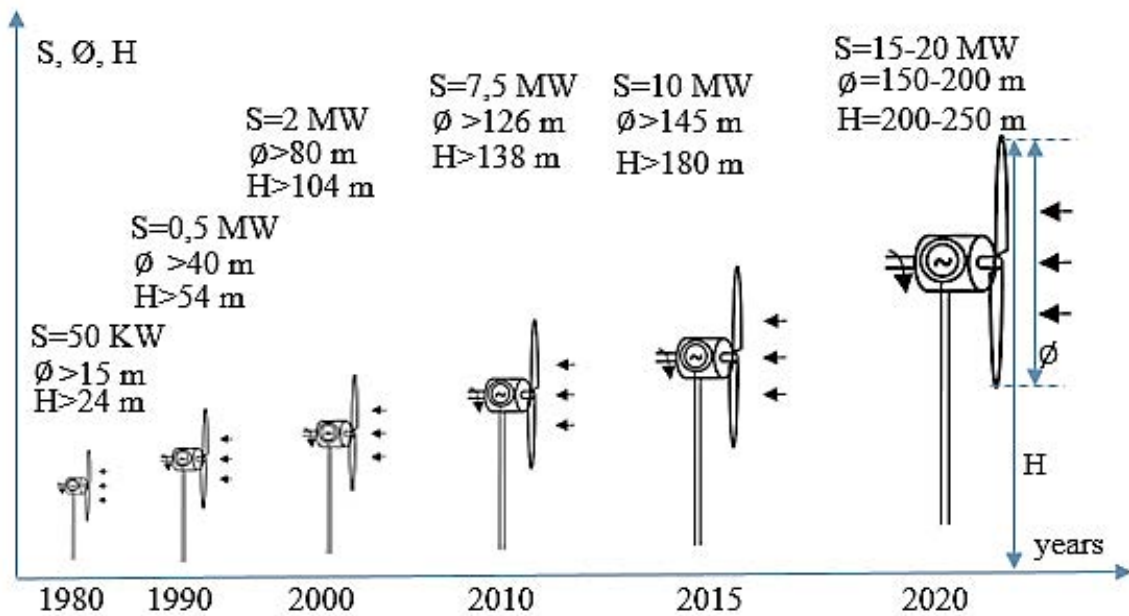


Figure 1. Development in commercial wind turbine sizes

The development of wind turbine size during last three decades is shown in Figure 1. Statistical studies show that the industrial plants consume the largest amount of delivered energy; where expected to absorb over half of total supplied energy in 2040. Research show that the renewable energy is one of the world’s rapidly growing sources of energy, increasing by 2.6% /year; nuclear energy grows by 2.3%/year, from 4% of the global total in 2012 to 6% in 2040[3, p.293-298].

In modelling, application and control of WECS many researchers have published various works focusing on the related topics. Some studies concentrated on designing using various types of generators and control schemes. To analyse the whole components of the system, it is important to concentrate on the fundamental and principles of

operation of these components such as generation, conversion devices and control parts that represent the main topics of recent studies.

The main configuration of grid-connected wind energy system is shown in Figure 2. The WECS consists of several components that manage the conversion process of kinetic energy captured by the wind into electric energy penetrated to the grid in reliable pattern and efficient performance.

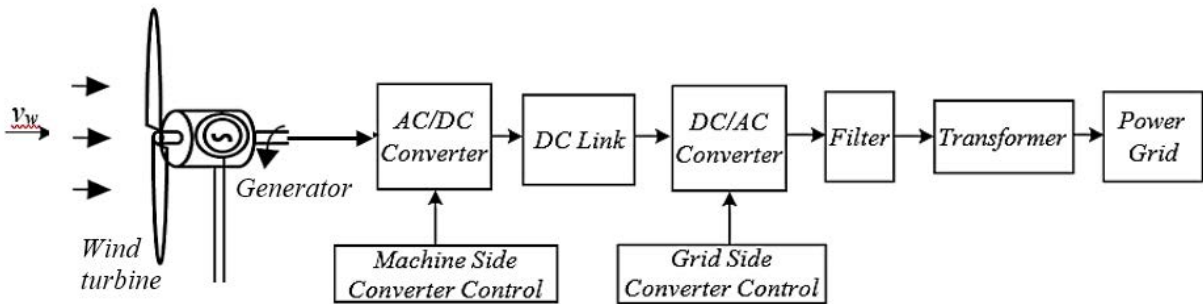


Figure 2. Basic structure of a grid connected wind turbine

Generally the essential components of a WECS contain mechanical, electrical and control components. The main mechanical parts contain the structure of tower, rotor hub, nacelle, rotor blades, moving parts of pitch drivers, yaw rotating drivers, gear box, drive-train, sensors of wind speed, and brakes. The electrical parts contain electric generator, connection wires, power converters and inverters and finally the collection point to the three-phase grid [4,p. 379-386].

In some models the harmonic filters and transformer are shown in the system. Control techniques are used with both the mechanical and electrical equipment to manage the energy conversion process [5,p. 386-395].

### Mechanical components of wind energy conversion system

First of all the kinetic energy captured by wind turbine can be converted into mechanical energy by the aid of air-foil structured rotating blades. In the common types of wind turbines, a three blades configuration is more beneficial and stable for the conversion process [1-5]. The efficiency of the energy conversion process depends upon many parameters like blade's angle, the structure of the rotor blades, air density, and velocity of wind [4,p. 379-386].

Some electronic or mechanical sensors are used to measure the values and direction of wind speed, while the yaw is designed to rotate the blades with nacelle in the direction of the wind to obtain the maximum power extraction [7, p.1-5]. When the turbine speed



is increased over the rated limit, the blades angle will be varied to maintain the output electric power within the rated value of the generator [4, p. 379-386].

The purpose of tower, nacelle and hubs is providing mechanical support to the structure of the blades. According to the aerodynamic properties, maximum electricity is generated by any particular turbine only within or above the rated value of wind speed [1-5]. The large scale turbines usually operate at relatively high torque and low speed (6-20 rpm) due to huge construction of the turbine. The review of wind power markets shows that the diameter of the rotor and power rating of offshore wind turbines and generator are higher than the onshore wind turbines. A multi stage gearbox is used for coupling purpose to convert the low speed and high torque to the high speed low torque generator shaft. The gearbox shows several effective impacts such as highly cost, high audible noise, low life span and efficiency, and finally requiring a continuous maintenance [1-5].

These drawbacks leads to think in an appropriate design to eliminate the gearbox of the machine. By corresponding the turbine speed with the rotor speed, the existence of gearbox can be omitted. The elimination of gearbox; which is usually called as direct-drive or gearless; helps to reduce mechanical problems, particularly in the case of offshore wind turbines [1-5].

Other mechanical equipment such as brakes can be mounted in the generator drive-train specially in those which have a shaft of high speed in order to break wind turbine in the case of unbalanced conditions such as fault or high wind gust during highly variable air flow.

### **Electrical components of the wind power conversion system**

To convert mechanical energy to electric energy, an electric generator is the tool that can be used. Over the last three decades, many types of generators like the Squirrel-Cage Induction Generator (SCIG), Doubly Fed Induction Generator (DFIG), Wound Rotor Induction Generator (WRIG), Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) and Wound Rotor Synchronous Generator (WRSG) have been studied and analysed in research for wind turbines manufacturing [1-5].

Growing up of these types began only with SCIG have been used in wind turbines, but recently the turbines in corporates both types of induction and synchronous generators. The induction generators (IGs) mainly run at highly speeds compared to the synchronous which operated with wide range of speeds [1-5].

The output voltage and frequency of the generator are changed proportionally with the wind speed. It will be difficult to control these variables when the generator is directly connected the grid. To achieve a controllable values of output variables, the

generator can be decoupled through a power electronic rectifiers and inverters, various types of converters topologies utilise the power switching devices usually connected to the DC-link equipment like capacitors or inductors. Harmonic filters can be applied in AC generator output converter or inverter to mitigate the harmonic of the switching process of power converters [6, p. 236-238].

In the generator side part, the harmonic filter can be applied to minimize the total harmonic distortion of the generator currents. This minimization can reduce the harmonic losses dissipated in the generator's winding and core. As a complement to the electric part of WECS, the grid side converter may use a harmonic filter to reduce the generated harmonics and to meet the requirements that indicated by the grid code [6, p. 236-238].

When the transferred voltage of the power inverter and filter is less than the grid voltage, a step-up transformer can be used to connect the filter to the grid side, and finally to electric circuit breaker of the bus-bar. Using power electronic converter at the point of power collection enable to connect system directly to the grid and then the need for step-up transformer can be omitted.

### **Wind turbine control systems**

To acquire desired operation as well as stable performance in WECS, the wind turbine system, several auxiliary control systems for both mechanical and electrical components can be used. The control equipment and sensors usually used to monitor various variables and parameter such as the velocity of wind speed and its direction, the voltages and currents of the generator, converters and filters as well as DC-link voltages. These variables have been provided to adjust the system operating states or variables in the case of the grid voltages and currents are changed to keep the operation at the reference limit [4,p. 379-386].

For example, active, passive or pitch stall control should be selected by the master control system when the variation of wind speed is more than the rated speed of the turbine. This control system manages the change of blades angle in way that the turbine output power kept no more than the rated value [1, p.155].

Applying a micro-controller, computer, Field Programmable Gate Array (FPGA) or Digital Signal Processor (DSP) used to be provided to the control system for the main tasks that should be performed [6, p. 296-298]. Using the recent control strategies, the control process can be faster and performing highly precision calculations (in less than 100 microseconds) and repeatedly.

### **Operating Voltages of Wind System Configuration**

In the energy markets of China and Europe, the definition of WECS operating voltages has recently been generalized [4, p. 286-296]. These voltages can be more classified according to margin, such as medium voltage (MV) and low voltage (LV) operation. Voltages below 1000 V are classified as LV and voltages around 1-34.5 kV are classified as MV. Various values have been used in the LV range, but the most standard ones used for power generators and converters in various areas of the electric power system are 575 or 690 V, and the output power of the applied MV generators and converters is in the range of 3-4 kV [4, p. 286-296].

Nowadays the participation of major industrial manufacturing companies in global markets reduce the importance of these regional classifications. Therefore, the commercial wind turbines should be connected to the Point of Common Collection (PCC) by cables or lines using step-up transformers, then the regional voltage will be irrespective.

### **Grid Code Regulations**

The increase of the power penetration of wind turbines and wind farms contribute to significant enhancement in supplying energy of the systems in the existing power plants.

Many specific technical requirements and regulations usually called as Grid Codes have been developed and continuously updated to ensure consumer power quality and the grid stability [4, p. 286-296]. The main requirements of grid codes contain the control constraints of active power in order to adjust the grid frequency and control of reactive power to satisfy the grid voltage regulation.

Other valuable variables such as the quality of power, voltage dip, Fault Ride-Through (FRT) detection, harmonic oscillations and overall protective devices are taken into account in grid code requirements. The correct determination of these requirements is crucial for manufacturers and operators of wind turbines.

### **References**

1. Шапкенов Б. К., Марковский В. П., Кислов А. П., Кайдар М. Б., Кайдар А. Б., Нефтисов А. В., Волгин М. Е., Бейсембаев Б. У. Топология силовой части многоуровневых преобразователей электрической энергии для автономных электроэнергетических систем, «XIX Сэтбаев окулары» жас ғалымдар, магистранттар, студенттермен мектеп оқушыларының : халықар. ғыл. конф. мат-дары АкадемикҚ. И. Сэтбаевтың 120 жылдығына арналған. — Павлодар : С. Торайғыроватындағы ПМУ, 2019. ISBN 978-601-238-907-4Т. 12 «Студенттер». — 2019. — 296 б. — С. 155–162. — ISBN 978-601-238-919-7.

2. Sheryazov S. K., Isenov S. S., Kaidar A. B.. Classification of wind energy conversion systems, Вестник Торайгыровуниверситет. Серия энергетическая. — № 3, 2020. — С. 356–365. — ISSN 1811-1858.
3. Кайдар А. Б., Шапкенов Б.К. , Кислов А. П., Марковский В. П., Жумадилова А. К., Шахман Е. Т. Энергоэффективные ветрогенераторы с улучшенными энергетическими показателями. Сборник Международной научно-практической конференции «УП Торайгыровские чтения. Качество жизни в Павлодарской области. Состояние и перспективы», посвященной 55-летию Павлодарского государственного университета имени С. Торайгырова. — Павлодар, 2015. , т. 5. — С. 293–298. — ISBN 978-601-238-552-6.
4. Sheryazov S. K., Issenov S. S., Kaidar A. B., Specifics of the choice of electric energy conversion and storage systems in wind power plants for agriculture, Торайгыров университетінің 60 жылдығына арналған «ХІІ Торайгыров оқулары» : Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. — Павлодар : Торайгыров университеті, 2020. — ISBN 978-601-345-104-6 (жалпы), Т. 5. — 2020. — 542 б. — ISBN 978-601-345-108-4. — С. 379–386.
5. Шерьязов С. К., Исенов С. С., Кайдар А. Б.Предпосылки внедрения SMART GRID сетейс ветроэнергетическими установками в сельском хозяйстве, Торайгыров университетінің 60 жылдығына арналған «ХІІ Торайгыров оқулары» : Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. — Павлодар : Торайгыров университеті, 2020.ISBN 978-601-345-104-6 (жалпы), Т. 5. — 2020. — 542 б. — ISBN 978-601-345-108-4. — С. 386–395.
6. Шапкенов Б., Калиев Б., Кайдар А.. Теория и практика энергетических преобразователей. Монография для студентов, магистрантов, аспирантов и ИТР, руководящего и обслуживающего персонала электростанций. — Изд. LapLambertAcademicPublishing, Saarbrucken, Germany, 2014. — 461 с.
7. Инновационный патент РК № 26105 на изобретение «Ветроколесо» // А. В. Дробинский, Б. К. Шапкенов, А. Б. Кайдар. — 14.09.12, бюл. № 9.

УДК 621.311.4

*Манусов В. З.<sup>1</sup>, Иванов Г. В.<sup>2</sup>, Талмазан Д.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

<sup>2,3</sup> Сургутский государственный университет, г. Сургут

## СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 6-10 кВ и 20 кВ

г. Сургут

**Аннотация.** Для новых районов больших городов (мегаполисов) с высокой тенденцией роста электрических нагрузок традиционное электроснабжение напряжением уровня 10 кВ не обеспечивает качественного и надежного обеспечения электрической энергией, поэтому предлагается систему электроснабжения новых районов выполнять сетями напряжением 20 кВ, что широко используется за рубежом. В работе анализируется техническая целесообразность перевода сетей среднего напряжения на уровень 20 кВ. Определена надежность систем электроснабжения по напряжению 10 кВ и 20 кВ на основе модели с различной плотностью электрических нагрузок. Сделан вывод о том, что сети электроснабжения 20 кВ являются приоритетными для развивающихся крупных городов и мегаполисов.

**Ключевые слова:** *распределительная сеть, система электроснабжения, энергоэффективность, потери электрической энергии, надежность электроснабжения, перспективы внедрения сетей напряжением 20 кВ, реконструкция сетей электроснабжения, пропускная способность.*

*Manusov V. Z.<sup>1</sup>, Ivanov G. V.<sup>2</sup>, Talmazan D.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

<sup>2,3</sup> Surgut state University, Surgut

## COMPARISON OF RELIABILITY INDICATORS OF MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS OF 6-10 kV and 20 kV

Surgut

**Abstract.** For new areas of large cities (megacities) with a high tendency to increase electrical loads, the traditional power supply with a voltage of 10 kV does not provide high-quality and reliable supply of electric energy, therefore, it is proposed to carry out the power supply system of new areas with a voltage of 20 kV, which is widely used abroad.

The paper analyzes the technical feasibility of transferring medium voltage networks to the level of 20 kV. The reliability of power supply systems with a voltage of 10 kV and 20 kV is determined on the basis of a model with different densities of electrical loads. It is concluded that 20 kV power supply networks should be a priority for developing large cities and megacities.

**Keywords:** *distribution network, power supply system, energy efficiency, loss of electrical energy, reliability of power supply, prospects for the introduction of 20 kV networks, reconstruction of power supply networks, capacity.*

В настоящее время широко используется пятиуровневая система распределения электрической энергии в виде 500/220/110(35)/10/0,4 кВ (рисунок 1), что вызывает повторные преобразования электрической энергии.

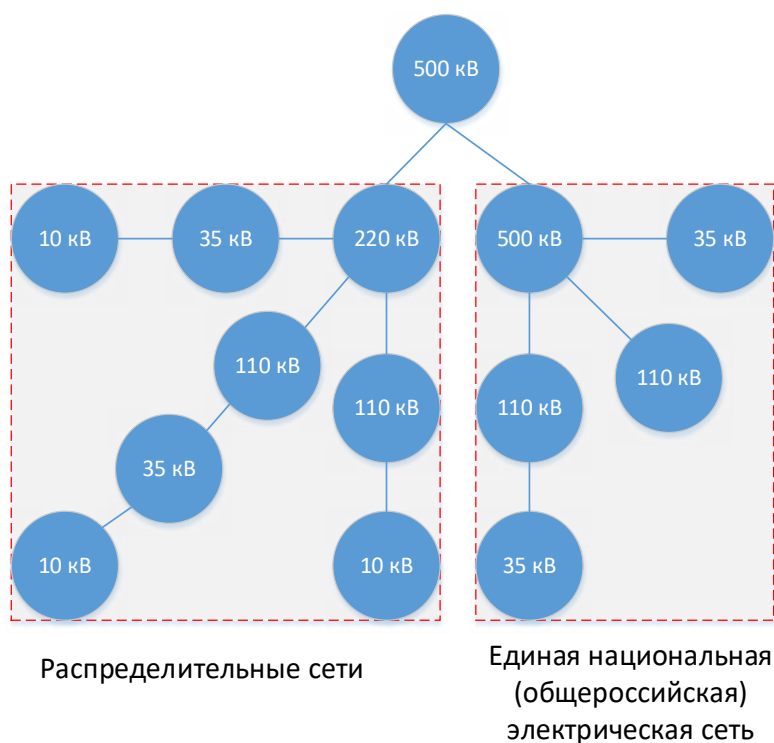


Рисунок 1. Пятиуровневая система распределения электрической энергии

Данная конфигурация требует крупных инвестиций в строительство, влечет серьезные эксплуатационные расходы на техническое обслуживание, сопровождается потерями электроэнергии и снижает надежность сетей электроснабжения.

Центры распределения среднего напряжения 6-10 кВ получают питание от распределительных центров 110 кВ и 35 кВ, которые, в свою очередь, являются источниками электроснабжения для энергоемких потребителей. Очевидно, что данная концепция претерпела серьезную многократную трансформацию: на уровне рас-

пределения высокого напряжения присутствуют сети 110 кВ и 35 кВ, а на уровне среднего напряжения — 35 кВ и 6-10 кВ. Как правило, механизм преобразования определяется исходя из требований электроснабжения конечного потребителя. При этом учитывается фактор перспективного развития электрической сети для данной местности, но используется постоянным образом конфигурация пятиступенчатой системы электроснабжения. Однако повсеместная стандартизация данной конфигурации не является лучшим решением, так как некоторые новые области потребителей (например: новые районы, включающие бизнес-центры, и жилые кварталы, малые производства, а также районы, подвергшиеся реновации) являются значительно более энергоемкими по сравнению со среднестатистическим потребителем.

Хотя фактическая энергосистема может соответствовать предварительному спросу на поставку электроэнергии, в дальнейшем в быстрорастущих и развивающихся районах могут возникнуть некоторые проблемы при эксплуатации:

- низкая возможность распределения необходимого объема электрической энергии, что подразумевает под собой соотношение выдаваемой максимальной мощности к запрашиваемой потребителем;
- высокие потери мощности в сети среднего и низкого напряжения;
- низкий уровень напряжения у конечного потребителя.

Выбор среднего уровня напряжения может напрямую повлиять на надежность, качество электроснабжения и экономическую эффективность энергосистемы.

Система электроснабжения по напряжению 10 кВ как один из уровней среднего напряжения в настоящее время является главным звеном в соединении систем распределения высокого и низкого напряжения, поэтому играет важную роль в развитии энергетической системы. Согласно РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей», Глава 1.1. Общие указания, система электроснабжения должна выполняться так, чтобы в нормальном режиме все элементы системы находились под нагрузкой с максимально возможным использованием их нагрузочной способности. Однако в будущем плотность загрузки большинства новых районов будет очень высокой.

Спрос на электроэнергию в городах быстро растет в результате развития экономики в новых областях, поэтому низкая энергоэффективность на уровне среднего напряжения 10 кВ будет постепенно оказываться все более очевидной, а для гибкости развития экономики данный уровень напряжения будет являться ограничивающим фактором.

Правильный принцип выбора уровня напряжения системы распределения электрической энергии заключается в том, чтобы уровень напряжения являлся передовым и выполнимым по технологии, а также экономичным и логичным в экс-

платации. Кроме того, выбор должен осуществляться в соответствии с уровнем напряжения передачи, условиями распределения в локальной области и прогнозом плотности нагрузки с учетом интенсивности прироста.

В представленной работе исследуется применение распределительных электрических сетей напряжением 20 кВ в новых районах с точки зрения обеспечения надежного электроснабжения.

Три концепции: 220/110/10, 220/110/20 и 220/20, анализируются и сравниваются при различных плотностях электрических нагрузок на параметр надежности электроснабжения.

Основными известными технологическими преимуществами сетей напряжением 20 кВ являются:

- уменьшение потерь напряжения: после повышения напряжения с 10 до 20кВ падение напряжения при неизменной нагрузке может уменьшиться на 75%, а если нагрузка удвоится, то падение напряжения уменьшится на 50%;
- пропускная способность линии 20кВ вдвое превышает пропускную способность линии 10кВ;
- радиус поставки электрической энергии вдвое больше при напряжении распределительной сети 20кВ по сравнению с сетями 10кВ;
- потери передаваемой мощности снижаются примерно на 75% при неизменной нагрузке;
- экономия цветного металла, заложенного в кабельную сеть: расход цветного металла будет снижен на 50%, если мощность передачи не изменится после повышения уровня напряжения;
- снижение потери в трансформаторах при холостом ходе и нагрузке.

Для расчета надежности сетей электроснабжения были выбраны районы площадью по одному квадратному километру с различной плотностью электрических нагрузок (1-2-5-10-20-40-60 МВт/км<sup>2</sup>). При составлении схемы электроснабжения учитывалось:

- пропускная способность линий электропередач 10–20 кВ;
- оптимальная длина линий электропередач 0,4кВ (300 м);
- оптимальная загрузка трансформаторной подстанции при равномерном распределении плотности нагрузки в границах территории района.

В каждой рассматриваемой схеме электроснабжения длины кабельных линий между трансформаторными подстанциями принимались одинаковыми с целью расчета усредненного показателя надежности.

На рисунках 2, 3 показаны примеры построения схемы электроснабжения для района общей площадью 1 км<sup>2</sup>. Данные подстанций, выбранных для анализа, показаны в таблице 1.



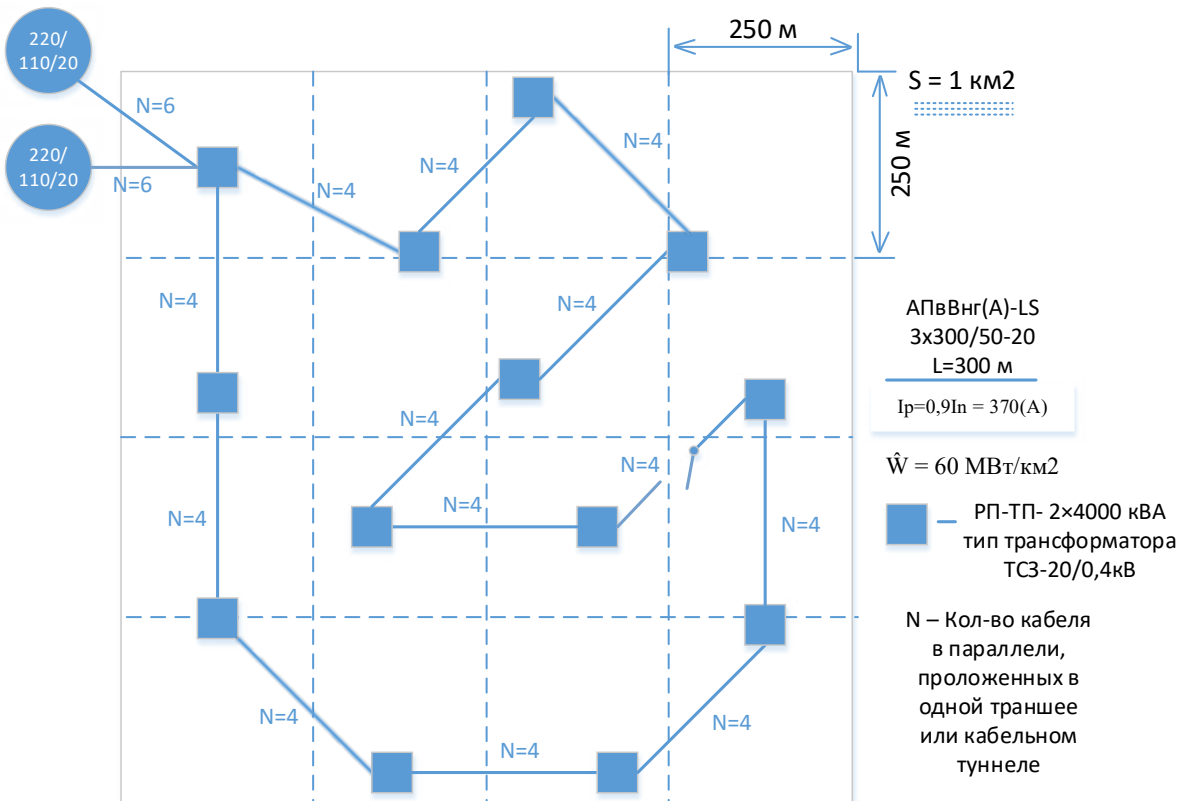
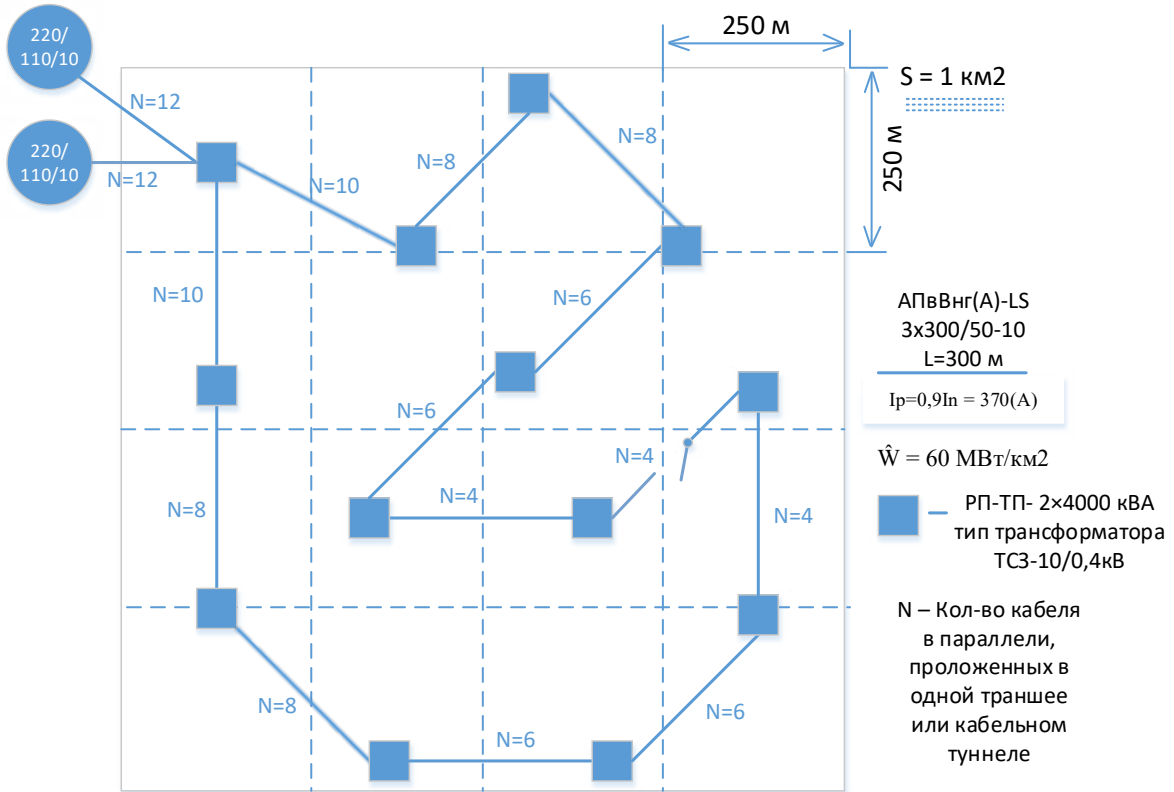


Рисунок 2. Аналитическая схема электроснабжения района  $1 \text{ км}^2$  с плотностью нагрузки  $60 \text{ МВт/км}^2$  при напряжении распределительных сетей  $10 \text{ кВ}$  и  $20 \text{ кВ}$

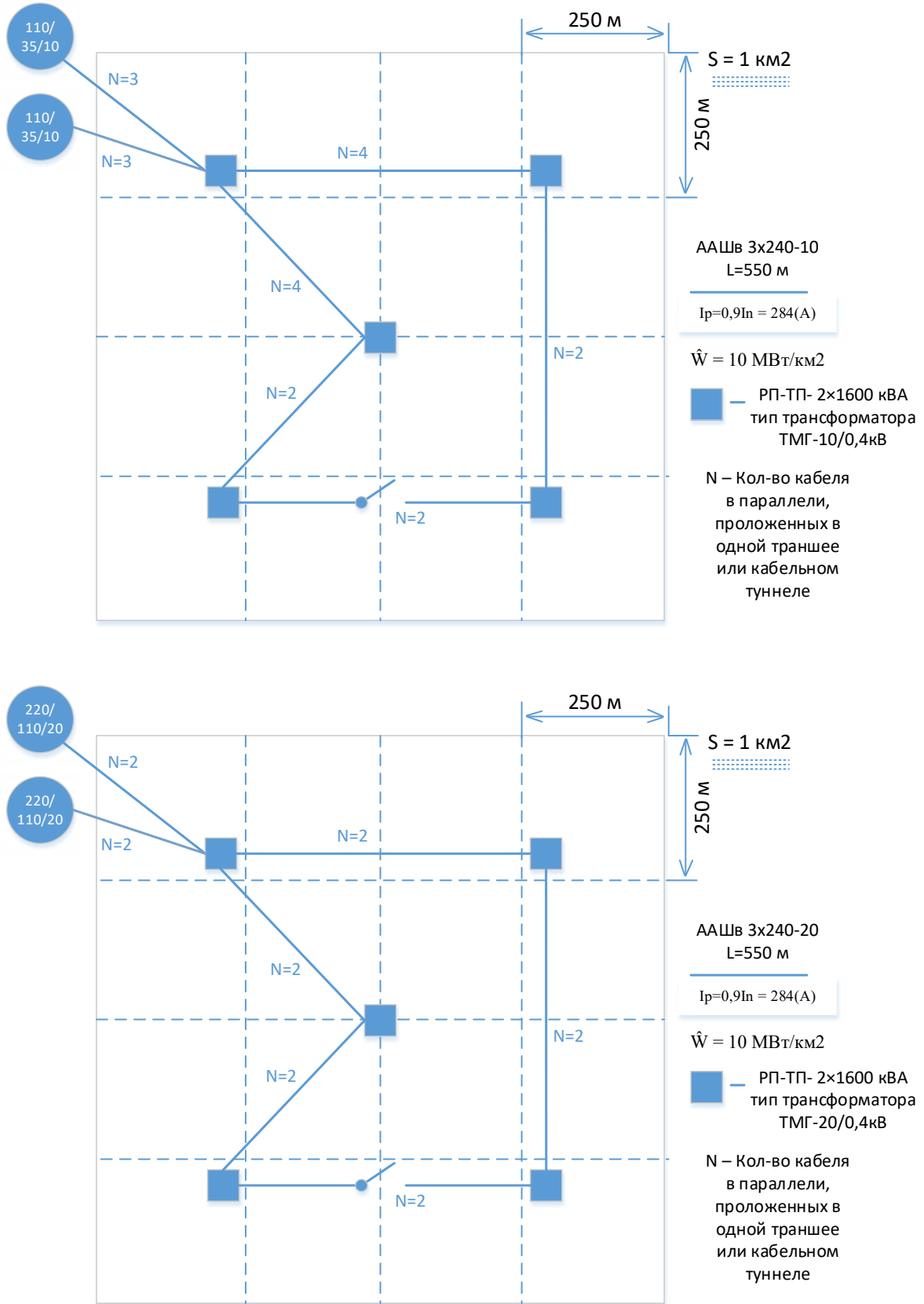


Рисунок 3. Аналитическая схема электроснабжения района  $1 \text{ км}^2$  с плотностью нагрузки  $10 \text{ МВт/км}^2$  при напряжении распределительных сетей 10 кВ и 20 кВ

Таблица 1. Данные проектов для ЭС района при разной плотности нагрузки и разного класса напряжения

Номер проекта	Уровень напряжения центра распределения (кВ)	Плотность электрической нагрузки МВт/км <sup>2</sup>	Система распределения			
			Данные узлов схемы ЭС района	Кол-во узлов	Тип кабельной линии	Усредненная длина линии
1	220/110/10	1	РП–ТП — 2×400кВА 10/0,4кВ	3	АСШв 3х95-10	600
		2	РП–ТП — 2×630кВА 10/0,4кВ	3	АСШв 3х95-10	600
		5	РП–ТП — 2×1000кВА 10/0,4кВ	5	АСШв 3х185-10	550
		10	РП–ТП — 2×1600кВА 10/0,4кВ	5	ААШв 3х240-10	550
		20	РП–ТП — 2×2500кВА 10/0,4кВ	7	ААШв 3х240-10	500
		40	РП–ТП — 2×2500кВА 10/0,4кВ	10	ААШв 3х240-10	400
		60	РП–ТП — 2×4000кВА 10/0,4кВ	13	АПвВнг(А)-LS 3х300/50-10	300
2	220/110/20	1	РП–ТП — 2×400кВА 20/0,4кВ	3	АСШв 3х95-20	600
		2	РП–ТП — 2×630кВА 20/0,4кВ	3	АСШв 3х95-20	600
		5	РП–ТП — 2×1000кВА 20/0,4кВ	5	АСШв 3х185-20	550
		10	РП–ТП — 2×1600кВА 20/0,4кВ	5	ААШв 3х240-20	550
		20	РП–ТП — 2×2500кВА 20/0,4кВ	7	ААШв 3х240-20	500
		40	РП–ТП — 2×2500кВА 20/0,4кВ	10	ААШв 3х240-20	400
		60	РП–ТП — 2×4000кВА 20/0,4кВ	13	АПвВнг(А)-LS 3х300/50-20	300

Под надежностью в технике понимают вероятность того, что устройство или система в полном объеме выполняет свои функции в течение заданного промежутка времени при заданных условиях работы. Одно из допущений классиче-

ских методов оценки надежности состоит в том, что все компоненты включены последовательно и отказ каждого компонента является независимым.

В представленной работе рассмотрены такие параметры надежности, как вероятность безотказной работы  $P(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , средняя наработка на отказ (среднее время безотказной работы)  $T$ .

Вероятность того, что в заданном интервале времени  $(0, t)$  в системе или элементе не произойдет отказ,

$$P(t) = e^{(-\lambda t)} \quad (1)$$

Условная вероятность отказа после момента  $t$  за единицу времени  $\Delta t$  при условии, что до момента  $t$  отказа элемента не было,

$$\lambda(t) = \frac{n(t \cdot \Delta t)}{N(t) \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

где  $n(t \cdot \Delta t)$  — число элементов, отказавших в интервале времени от  $t$  до  $t + \Delta t$ ;  $N(t) \cdot \Delta t$  — число элементов, оставшихся работоспособными в интервале времени от  $t$  до  $t + \Delta t$ .

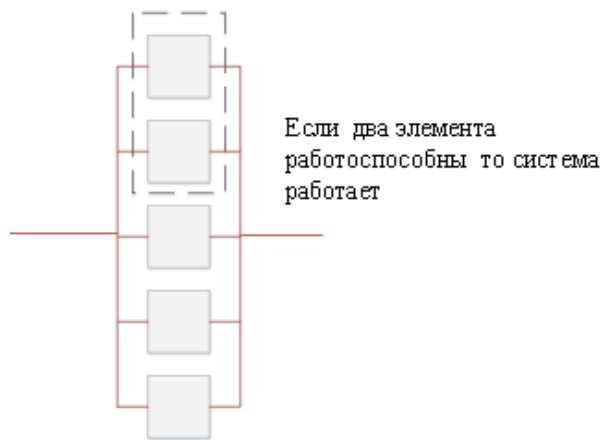


Рисунок 4. Мажоритарная система «2 из 5»

#### Определение средней наработки на отказ

$$T = 1 / \lambda \quad (3)$$

Поскольку в работе рассматриваются надежности линий электропередачи и систем электроснабжения и в схемах электроснабжения района предусмотрено резервирование, кроме того, высокая нагрузка предполагает питание  $N$  числом кабельных линий, необходимо воспользоваться методикой определения надежности

систем с параллельным соединением элементов — мажоритарные системы «*m* из *n*» (рисунок 4).

Для расчета надежности систем типа «*m* из *n*» воспользуемся комбинаторным методом, в основе которого лежит формула биномиального распределения.

Вероятность события, при котором из общего количества элементов *n* работоспособность сохраняют *k* элементов, определяется

$$P_k = C_n^k p^k (1-p)^{n-k}, \quad (4)$$

где  $C_n^k = n! / k! (n-k)!$  — биномиальный коэффициент из *n* по *k*.

В таблице 2 приведены расчетные значения показателей надежности основных элементов СЭС.

Таблица 2. Расчетные значения показателей

Элемент	Условное обозначение на схемах	Интенсивность отказов $\lambda$ , год <sup>-1</sup>	Среднее время восстановления $T_v$ , ч	Интенсивность преднамеренных отключений $\nu$ , год <sup>-1</sup>	Среднее время обслуживания $T_{об}$ , ч
Кабельная линия 6, 10 кВ, на 1 км длины	КЛ	0,10	25	0,5	3
Кабельная линия 20 кВ, на 1 км длины	КЛ	0,09	25	0,53	3,5

Расчет системы электроснабжения осуществляется от центра питания до дежурного выключателя, который находится в центре кольцевания электрической сети в выключенном положении при нормальном режиме его работы.

Результат расчета надежности кабельных линий представлен диаграммой (рисунок 5). Данный результат надежности относится к отдельно взятой кабельной линии при среднеарифметической длине с конкретно взятой плотностью нагрузки.

Результат расчета надежности системы электроснабжения представлен диаграммой на рисунке 6. В данном случае рассматривается система кабельных линий от центра питания до дежурного выключателя, надежность технической системы по безотказности обычно проводится в предположении, что вся система, каждый ее элемент, могут находиться только в одном из двух состояний — работоспособном и неработоспособном, и отказы элементов независимы друг от друга. Необходимо учесть то, что неисправность (неработоспособное состояние) одной

из секций распределительного устройства влечет за собой ограничение выдаваемой мощности по всему участку кольцевания.

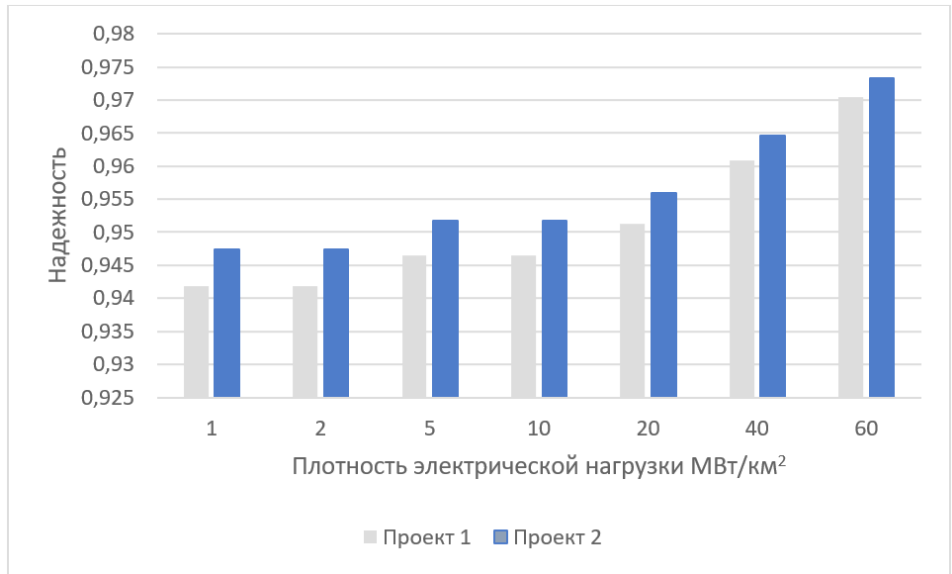


Рисунок 5. Зависимость надежности кабельной линии при заданной плотности электрических нагрузок

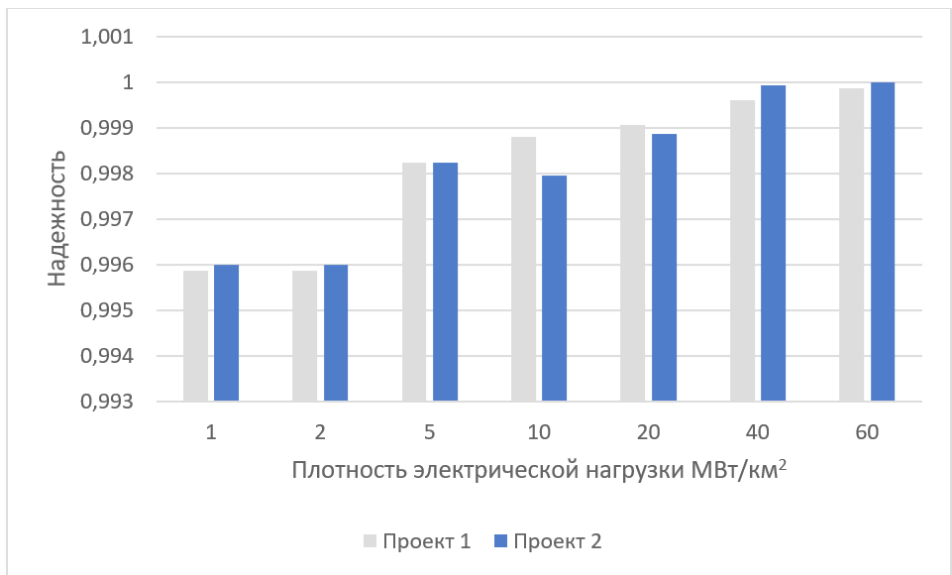


Рисунок 6. Зависимость надежности системы электроснабжения при заданной плотности электрических нагрузок

Анализ результатов расчетов показывает, что надежность системы электроснабжения повышается с увеличением плотности нагрузки. Это связано с тем, что расстояние между соединительными пунктами системы уменьшается, так как система обрastaет новыми технологическими связями, увеличивается коли-

чество соединительных пунктов. Надежность кабельной линии 20кВ в сравнении с надежностью линии 10кВ практически не отличается, разве что интенсивность отказа у линии 20кВ немного меньше, чем у линии 10кВ. Это связано с тем, что количество линий 10кВ в два раза больше числа линий 20кВ, необходимых для передачи одного и того же объема электрической энергии.

Из расчета показателя надежности системы распределения следует, что практически при любой средней плотности нагрузки 1-20 МВт/км<sup>2</sup> проект 1 (система электроснабжения 10кВ) лучше, чем проект 2 (система электроснабжения 20кВ). При плотности нагрузки 1-20 МВт/км<sup>2</sup> число резервируемых линий для цепей питания проекта 1 превышает проект 2. А система электроснабжения двух проектов построена таким образом, что полное отсутствие питания на одной из секций распределительного устройства не ограничивает передачу мощности по цепям от другой секции шин. В данном контексте у проекта 1 надежность выше, поскольку необходимо большее количество кабельных линий, чем в проекте 2, для передачи одинакового объема электрической энергии, а вместе с тем для удовлетворения резервирования использовано большее количество резервных цепей.

Однако если рассматривать плотность нагрузки от 20 МВт/км<sup>2</sup> и выше, то можно заметить, что резервных цепей в проекте 1 уже становится меньше, поскольку для сохранения общего количества линий электроснабжения при передаче большей мощности приходится задействовать в нормальном режиме часть кабельных линий, рассматриваемых при нагрузке до 10 МВт/км<sup>2</sup> как резервные. И как следствие, вероятность выхода из строя сразу всей связки кабельных линий, питающих одну из секций распределительного устройства подстанции, крайне мала, что говорит о нецелесообразности резервировать каждую цепь, в этом случае используется схема частичного резервирования.

Следовательно, распределение электрической энергии сетями напряжением 20 кВ при плотности электрических нагрузок от 20 МВт/км<sup>2</sup> является более надежным по сравнению с сетями напряжением 10 кВ.

### Список использованной литературы

1. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под редакцией С. С. Рокотяна, И. М. Шапиро. — Москва : Энергоатомиздат, 1985. — 352 с. — Текст : непосредственный.
2. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: РД 34.20.185—94: издание официальное : утв. Министерством топлива и энергетики Российской Федерации 07.07.94, Российским акционерным обществом энергетики и электрификации «ЕЭС России» 31.05.94 : введ. впервые : дата введ. 1995-01-01 / разработан Гипрокоммунэнерго (Лордкипанидзе В. Д.), РАО

- «ЕЭС России» (Акимкин А. Ф., Антипов К. М.), Энергосетьпроект (Файбисович Д. Л.). — Москва : 1995. — 31 с. — Текст : непосредственный.
3. Методические указания по применению в ОАО «Московская объединенная электросетевая компания» основных технических решений по эксплуатации, реконструкции и новому сетевому строительству электросетевых объектов [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.rossetimr.ru/zakupki/podryadchik/doc/2014/Metod\\_1.pdf](http://www.rossetimr.ru/zakupki/podryadchik/doc/2014/Metod_1.pdf) (дата обращения 20.11.2019).
  4. Схема электроснабжения города Москвы (распределительные сети напряжением 6-10-20 кВ на период до 2030 года с учетом присоединенных территорий [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.mos.ru/dgkh/anticorruption/antikorrupcionnaia-ekspertiza/view/42729220/> (дата обращения 20.11.2019).
  5. Höne S., Montebaur A., Hehr Korn H.J. Earth Fault Trails and Measurements in Rural 20 kV Networks as Basis for Improving the Performance of These Networks // Proc. 18th Intern. Conf. Electricity Distribution. Turin, 2005. Pp. 1—5.
  6. Höne S., Hentschel K. Definition of Criteria to Operate 20 kV Networks with arc Suppression Coils According to Standards // Proc. 20th Intern. Conf. Electricity Distribution. Prague, 2009. Pp. 1—5.
  7. Lågland H., Kauhaniemi K. Outage Cost Comparison of Different Medium Voltage Networks // Proc. 19th Intern. Conf. Electricity Distribution. Vienna, 2007. Pp. 1—4.
  8. Daqing J.Lv. Triangle Development Zone Using 20 kV Voltage Level Distribution. Hangzhou: Zhejiang University School of Electrical Engineering, 2017.
  9. Пелисье Р. Энергетические системы / Р. Пелисье. — Москва : Высшая школа, 1982. — 568 с. — Текст : непосредственный.
  10. Huang L. e. a. 220/20 kV Power Supply Scheme in High Load Density Urban Areas // Power System Protection and Control. 2009. № 37 (20). Pp. 1—6.
  11. Лабузова А. В. Развитие электрических сетей напряжением 20 кВ в г. Москве / А. В. Лабузова, Ю. С. Жигрова. — Текст : непосредственный // Электрические станции. — 2017. — № 5. — С. 14—18.
  12. Майоров А. В. Совершенствование технических решений по развитию структуры и повышению надежности эксплуатации электрической сети 20 кВ мегаполиса / А. В. Майоров. — Текст : непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2018. — № 4 (49). — С. 30—35.
  13. Майоров А. В. Особенности построения и направления развития системы защиты и автоматики электрической сети 20 кВ мегаполиса / А. В. Майоров. — Текст : непосредственный // Электрические станции. — 2018. — № 8. — С. 25—30.
  14. Майоров А. В. Применение защит с абсолютной селективностью и развитие автоматики в электрических сетях напряжением 20 кВ мегаполиса / А. В. Майоров. — Текст : непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2018. — № 6 (51). — С. 32—37.



УДК 621.316

*Кочеров А. А.*

Сургутский государственный университет, г. Сургут

ПРЕИМУЩЕСТВО ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ  
ОПЕРАТИВНОЙ БЛОКИРОВКИ. ПОВЫШЕНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ОПЕРАТИВНЫХ  
ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯХ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассматривается преимущество и экономическая эффективность от внедрения цифровых устройств оперативной блокировки по сравнению с традиционной электромагнитной блокировкой. В современных условиях развитие любой компании связано с внедрением в производственные процессы цифровых технологий. По данной тематике в последние годы опубликовано значительное количество научных работ.

**Ключевые слова:** микропроцессорные устройства, оперативная блокировка, подстанция, безопасность персонала, релейная защита и автоматика.

*Kocherov A. A.*

ADVANTAGE OF INTRODUCTION OF DIGITAL INTERLOCKING  
DEVICES. INCREASING STAFF SAFETY DURING OPERATIONAL SWIT  
CHING

Surgut

**Abstract.** In this article, the advantage and cost-effectiveness of using electronic devices work in comparison with electromagnetic interlocking. In modern conditions, any development is associated with the introduction of digital technologies into Eastern production processes. A large number of scientific years have been published on this topic.

**Keywords:** microprocessor devices, operational blocking, substation, personnel safety, relay protection and automation.

В наши дни практически вся современная техника выполнена на базе микропроцессорных устройств (далее — МПУ). В энергетике же процесс перехода с комплектации энергоустановок электромеханическими устройствами релейной

защиты и автоматики на устройства защиты, выполненные на базе МПУ, приобрел широкий охват только с недавнего времени. Их основными задачами являются выявление места возникновения короткого замыкания и быстрое автоматическое отключение поврежденного участка, а также предотвращение развития и ликвидация аварийного режима энергосистемы.

Одним из достоинств МПУ является их многофункциональность, т. е. возможность решать несколько задач одновременно. В связи с этим МПУ следует применять не только для защиты электрооборудования, но и в качестве программно-аппаратного комплекса программируемой (цифровой) оперативной блокировки разъединителей (далее — ПТК ОБР) для повышения безопасности персонала при выполнении оперативных переключений на подстанциях (далее — ПС). Необходимость применения оперативной блокировки от ошибочных действий при переключениях в электрических установках указана в «Правилах устройства электроустановок» [1].

В качестве примера реализации внедрения ПТК ОБР рассмотрим нефтегазодобывающую компанию ПАО «Сургутнефтегаз», где ПТК ОБР был внедрен впервые в 2014 году.

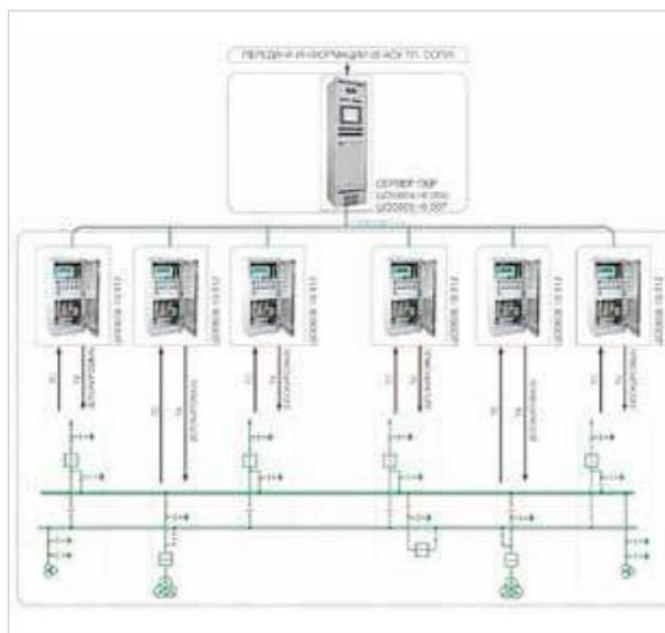


Рисунок 1. Структурная схема ПТК ОБР

Схема ПТК ОБР изображена на рисунке 1. В ПАО «Сургутнефтегаз» применяется централизованная структура оперативной блокировки разъединителей. Она состоит из шкафов наружной установки соответствующего климатического исполнения, выполняющих функции сбора сигналов и управления коммутацион-

ными аппаратами, и шкафа центрального контроллера. Центральный контроллер выполняет обработку сигналов от контроллеров в шкафах наружной установки и согласно запрограммированной логике блокировки выдает разрешение либо запрещает управление коммутационными аппаратами. На экране монитора также в режиме онлайн отображается мнемосхема ПС с информацией о состоянии коммутационного оборудования (рисунок 2).

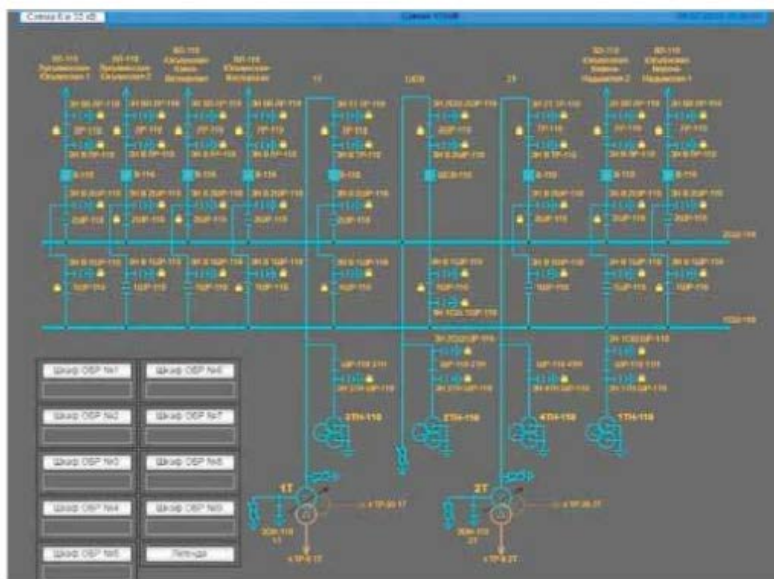


Рисунок 2. Мнемосхема ПС 110/35/6 кВ

Преимуществами ПТК ОБР по отношению к традиционной электромагнитной блокировке, логика которой выполняется на блок-контактах коммутационных аппаратов и большом количестве кабельных связей, являются:

- надежность, которая достигается за счет наличия системы самодиагностики и контроля переключений на всех уровнях;
- ремонтпригодность, которая обеспечивается за счет сокращения количества кабельной продукции, постоянного контроля состояния изоляции, визуального отображения положения контактов коммутационных аппаратов;
- сокращение времени переключений за счет возможности выбора оптимального алгоритма;
- отсутствие зависимости реализации алгоритмов переключений от количества блок-контактов коммутационных аппаратов;
- наличие автоматической фиксации всех выполняемых операций, что обеспечивает возможность проведения анализа действий оперативного персонала, оценку качества его подготовки и планирование обучения.



Рисунок 3. Сравнение предлагаемой и традиционной видов блокировок

Вся информация о состоянии коммутационных аппаратов дополнительно передается на сервер автоматизированной системы управления энергохозяйством ПС, что позволяет исключить затраты на повторный сбор этой телеинформации для диспетчерской службы. Таким образом, с вводом в эксплуатацию ПТК ОБР были завершены работы по комплексному внедрению МПУ на энерго-объектах как с точки зрения технологического процесса, так и в плане безопасности персонала.

Дальнейший вектор развития будет определен по результатам проработки документов, определенных к разработке и утверждению Постановлением Правительства РФ от 13 августа 2018 года №937 «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» [2]. Это будет дальнейшее увеличение уровня автоматизации энергообъектов, что позволит выполнить постепенный переход от планового технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики к техническому обслуживанию этих устройств по фактическому состоянию, тем самым сократив эксплуатационные затраты.

Экономический эффект по большей части достигается за счет сокращения применяемой продукции и снижения количества профилактических выездов. Периодическое техническое обслуживание обходится приблизительно в 15 700 рублей (расходы на автотранспорт, человеко-часы). В среднем на одно нефтегазовое месторождение насчитывается около 20 объектов, требующее выездных работ по техническому обслуживанию разъединителей. Соответственно затраты на техническое обслуживание каждого из объектов составят ориентировочно 355 000 рублей в месяц.

Ввод в эксплуатацию защит нового поколения повысит точность и чувствительность Релейной Защиты и Автоматики, улучшит условия согласования защит, ввода новых ступеней защиты, что в конечном итоге увеличит надёжность электроснабжения потребителей.

### **Список использованной литературы**

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. — 2017 г. — URL: <http://etp-perm.ru/el/pue>
2. Правила технологического функционирования электроэнергетических систем — в редакции Постановления Правительства РФ от 13.08.2018. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/550919677>

УДК 621.31

*Петрухин А. В.*

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

## АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПРЕРЫВАНИЯХ И ПРОВАЛАХ НАПРЯЖЕНИЯ

**Аннотация.** Проблема устойчивой работы энергетических систем во время несимметричных провалов напряжения в настоящее время раскрыта не в полном объёме и требует дополнительного анализа. Анализу были подвержены только некоторые случаи несимметрии и модификации электрических двигателей. Остается актуальным вопрос выбора решений, направленных на повышение устойчивости системы при несимметричных провалах напряжения. В данной статье был произведён разбор и анализ научных трудов ряда учёных и научных институтов, которые занимаются или занимались изучением особенностей анализа и моделирования устойчивости системы в режиме провала или прерывания питающего напряжения.

**Ключевые слова:** *устойчивость энергосистемы, повышение устойчивости, электродвигательная нагрузка.*

*Petrukhin A. V.*

Surgut State University Khanty-Mansi Autonomous Okrug, Surgut

## THE PROBLEM OF STABILITY OF ELECTRICAL SYSTEMS DURING VOLTAGE DISPENSES

**Abstract.** The problem of the stability of electrical systems with asymmetric voltage dips, at present, is not fully disclosed, only some cases of asymmetry and types of motors are considered. The question of choosing technical solutions to improve the stability of the system with asymmetric voltage dips remains open. In this article, a review and analysis of the scientific works of a number of scientists and scientific schools that are studying the issues of analysis and modeling of the stability of the system in the mode of dip or interruption of the supply voltage is made.

**Keywords:** *energy system sustainability, stability improvement, electric motor load.*

Под устойчивостью энергосистемы понимается способность системы сохранять синхронную работу электростанций после разного рода возмущений.

В данной работе представлен обзор научных трудов, посвящённых устойчивости не целой энергосистемы, а лишь системы потребителя электроэнергии. В этих случаях устойчивостью называется способность потребителей электроэнергии сохранять исходный режим работы после прерываний и провалов напряжения. О проблемах устойчивости впервые заговорили в контексте движения и равновесия механических систем в конце 19 века, в результате Ляпунов А. М. создал теорию устойчивости. В 1930 году стала активно развиваться научная теория устойчивости электротехнических систем, основоположником этой теории считается Жданов П. С. Он изучал проблемы устойчивой параллельной работы генераторов, анализирование асинхронных режимов, возникающих в результате выхода из синхронизма (синхронного режима), работы генераторов. В дальнейшем он исследовал вопросы устойчивой работы сложных энергетических систем и передачи большой мощности на большие расстояния. В следующих работах Жданов П. С. также уделил внимание устойчивости как асинхронных, так и синхронных электродвигателей. Вместе с этим развивалось моделирование электрических машин математическими методами, без которых расчет переходных процессов и оценка устойчивости энергосистем были бы невозможны. Весомый вклад в моделирование внесли Роберт Парк и Горев А. А., предложившие использовать математическое описание электрической машины, которое, в свою очередь, стало называться «уравнением Парка-Горева». Сегодня изучением методов оценок устойчивости энергетических систем занимаются несколько научных школ: первая — на базе Московского энергетического института, которая ведет свою историю с 1930-х годов, вторая — на базе РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, третья — на базе МГТУ им. Г. И. Носова.

Благодаря разработкам, связанным с проблемой устойчивости электродвигательной нагрузки, был определён ряд критериев устойчивости и выявлены закономерности границ устойчивости как синхронных, так и асинхронных электродвигателей. Однако большая часть авторов в своих научных исследованиях использует в качестве возмущающего фактора симметричный провал напряжения, несмотря на то, что в энергетических системах большую часть составляют несимметричные короткие замыкания. В последнее десятилетие научные работы были направлены на изучение несимметрии питающего напряжения и провалов напряжения в целом.

Первым из направлений исследований стало «нормирование характеристик несимметрии напряжения». Лютый А. П. и Куренный Э. Г. в своей работе используют варианты моделирования воздействий возмущений на электрооборудование для анализа несимметричных напряжений. Ученые предложили использовать понятие «дозы несимметрии», которое связано с тепловым износом и возрастанием температуры работы из-за искажений напряжения. Ученые Суворов И. Ф., Хро-

мов С. В., Романов В. В. в работе смогли определить зависимость коэффициента несимметрии асинхронного электрического двигателя от его загрузки, питающего напряжения; метод данного исследования был основан на программном комплексе моделирования в среде MatLab-Simulink. В работах авторы статьи рассматривают несимметрию в контексте оценки качества электрической энергии, направив усилия на тепловые процессы, при этом не обращая внимание на электромеханические переходные процессы в электродвигателях. В своих научных работах Валов Н. В. и Ершов М. С. проанализировали разные несимметричные короткие замыкания и возникающие в электротехнической системе «просадки» напряжения. Они определили наиболее реальный диапазон коэффициента несимметрии остаточного напряжения, при этом основной упор в научном труде они сделали на моделирование трансформаторов и их различных модификаций.

В качестве второго направления изучения можно выделить прямое оценивание устойчивости электротехнических систем при несимметричном питающем напряжении. В работе Корнилова Г. П., Храмшина Т. Р. исследуется влияние несимметричных напряжений на устойчивую работу электрического привода с активным выпрямителем. Они установили, что режим провала напряжения влияет на устойчивую работу электропривода, для сокращения отрицательных эффектов предлагают использовать дополнительный корректирующий входной сигнал активного выпрямителя. Влияние несимметрии питающего напряжения на устойчивую работу синхронных электродвигателей исследовали Егоров А. В., Ершов М. С., Комков А. Н.. Они определили, что «устойчивость синхронного двигателя всегда зависит только от значения напряжения прямой последовательности» и «значение коэффициента несимметрии на устойчивость синхронного двигателя не влияет». Ещё вопросами устойчивой работы синхронных электродвигателей при несимметрии питающего напряжения занимались Мударисов Р. М., Федотов А. И.. Они исследовали устойчивость синхронных электродвигателей при однофазных коротких замыканиях на имитационной модели, включающей энергосистему, трансформатор и синхронный электродвигатель, ЛЭП; это позволило определиться с критическим параметром линии (сечение и длина), при котором нарушается устойчивость синхронных электрических двигателей.

Третьим направлением исследований может выступать анализирование различных режимов работы электродвигателей при несимметрии питающего напряжения. Данное направление наиболее полно раскрыто в научных трудах Суворова И. Ф., Романовой В. В., Хромова С. В. В этих трудах анализ проводится в среде имитационного моделирования программного комплекса Simulink-Matlab, особое внимание уделяется несимметрии напряжения в пределах, допускаемых нормативной документацией; также в работе было определено влияние загрузки асинхронных электродвигателей при несимметричном напряжении.



Выбор технологических решений, направленных на повышение устойчивости системы при несимметричных провалах напряжения, был затронут в научной работе Анцифорова В. А. Он предложил оценивать взаимозависимости источников питания методом, который учитывает устойчивость энергетических систем при несимметричных провалах напряжения; на основе имеющегося коэффициента зависимости источника питания должно быть выбрано устройство, повышающее устойчивость системы. Он представил алгоритм, который позволяет учитывать как характеристики взаимозависимости, так и характеристику устойчивости источника питания при выборе технических решений по повышению устойчивости. Негативным фактором применения данного алгоритма являются невозможность непосредственного сравнения различных технических средств и ограниченный выбор этих устройств. Для сравнения влияния различных устройств на устойчивость узлов электродвигательной нагрузки существует коэффициент запаса статической устойчивости, его недостаток — учет только напряжения статической устойчивости.

В диссертационной работе Репиной Ю. В. предложен коэффициент устойчивости, который рассчитывается по границе динамической устойчивости (ГДУ). Мартьянов А. С. в своей диссертации предложил использовать многомерный показатель устойчивости узла энергетических нагрузок, который учитывает распределение провалов напряжений по глубине и длительности. Несмотря на проводимые исследования в области оценки, количественного характера, устойчивости электрических систем, проблема выбора и сравнения эффективности технических средств для повышения устойчивости остается актуальной. Данный вопрос рассматривался в работах Мартьянова А. С., Ершова М. С., Пупина В. М., Анцифорова В. А., Сушкова В. А., Репиной Ю. В.

Исходя из всего вышеизложенного, проблема устойчивой работы электротехнической системы во время прерываний и провалов напряжения исследуется на протяжении многих лет и на сегодняшний день остается актуальной. Изучение научной литературы показало необходимость разработки методики выбора технических средств для повышения устойчивой работы, которые учитывают как технические, так и экономические факторы. В рассмотренной литературе нигде не приводится количественная характеристика устойчивости, которая позволяет оценить эффективность использования современных устройств, например БАР.

На сегодняшний день провал напряжения является наиболее распространённым нарушением режима работы в сетях нефтегазодобывающих предприятий. Важным фактором является и то, что источники питания имеют высокую степень взаимозависимости. Из-за этого страдает устойчивость электродвигательной нагрузки (асинхронные электродвигатели). Для повышения нефтеотдачи кусто-

вых площадок необходимо продолжать разработку мероприятий, направленных на повышение устойчивости работы асинхронных электрических двигателей. Но при этом нельзя забывать о ресурсе эксплуатируемого агрегата.

### Список используемой литературы

1. Абрамович Б. Н. Динамическая устойчивость работы установки электроцентробежных насосов / Б. Н. Абрамович, Д. А. Устинов, В. Е. Поляков // Нефтяное хозяйство. — 2011. — № 9. — С. 104–106. — Текст : непосредственный.
2. Абрамович Б. Н. Динамическая устойчивость электромеханических комплексов синхронными и асинхронными двигателями на предприятиях с непрерывным технологическим циклом / Б. Н. Абрамович, Д. А. Устинов, В. Е. Поляков // Промышленная энергетика. — 2011. — № 4. — С. 21–23. — Текст : непосредственный.
3. Абрамович Б. Н. Динамическая устойчивость электромеханических комплексов с синхронными и асинхронными двигателями на предприятиях нефтедобычи / Б. Н. Абрамович, Д. А. Устинов, Ю. А. Сычев, И. Г. Плотников // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». — 2011. — № 3. — С. 17–25. — Текст : электронный.
4. Абрамович Б. Н. Система бесперебойного электроснабжения предприятий горной промышленности / Б. Н. Абрамович // Записки Горного института. — 2018. — Т. 229. — С. 31–40. — Текст : непосредственный.
5. Абрамович Б. Н. Система электроснабжения электромеханических комплексов в горной и нефтегазовой промышленности : учебное пособие / Б. Н. Абрамович, Ю. А. Сычев. — Санкт-Петербург : Лема, 2017. — 115 с. — Текст : непосредственный.
6. Анцифоров В. А. Методы оценки независимости источников питания и мероприятия по повышению надежности и устойчивости электротехнических систем непрерывных производств : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : диссертация на соискание степени кандидата технических наук / Анцифоров Виталий Алексеевич; Российский государственный университет им. И. М. Губкина. — Москва, 2015. — 186 с. — Текст : непосредственный.

УДК 621.311

**Стрельникова И. А.**

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

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: В ЧЕМ ИХ НЕОБХОДИМОСТЬ

г. Сургут

**Аннотация.** В данной статье рассмотрена тема истощения запасов полезных ископаемых, что приводит к необходимости роста развития сектора альтернативной энергетики. Также рассмотрены перспективы развития альтернативной энергетики в мире и в России в частности.

**Ключевые слова:** *альтернативные источники электроэнергии, электроэнергетика, перспективы развития электроэнергетики, солнечная энергия, ветровая энергия, гидроэнергетика, геотермальная энергетика.*

**Strelnikova I. A.**

Surgut State University, Surgut

## ALTERNATIVE SOURCES OF ELECTRICITY: WHAT IS THEIR NEED

Surgut

**Abstract.** This article discusses the topic of depletion of mineral reserves, which leads to the need to increase the development of the alternative energy sector. The prospects for the development of alternative energy in the world and in Russia in particular are also considered.

**Keywords:** *alternative energy, power generation, solar energy, wind energy, hydropower, prospects for the development of electricity, geothermal energy.*

### Запасы полезных ископаемых

Пользоваться возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) люди стали еще до того, как началась добыча таких ископаемых ресурсов, как нефть, газ или уголь. Но с каждым годом потребление этих ресурсов только возрастало, человечеству

было необходимо в сотни раз больше энергии, чем раньше. И обеспечение бесперебойных поставок больших мощностей стало возможным только при сжигании горючих минералов и веществ.

В последние годы ученые стали уделять много внимания экологическим проблемам. В особенности много разговоров ведется о том, что в ближайшие десятилетия запасы нефти попросту истощатся, а потому надо прекращать загрязнять планету и необходимо снижать добычу полезных ископаемых, пока еще ресурсы себя не исчерпали. Настало время всерьез задуматься об альтернативных источниках электроэнергии (ЭЭ).

Нужно понимать, что большая часть (около 80%) производимой ЭЭ на планете Земля — это сжигание невозобновляемых источников (нефть, уголь, газ). И, по оценкам различных ученых, запасы их стали катастрофически малы: нефти хватит примерно на 53 года (рисунок 1), газа — всего на 60 лет [1], угля должно хватить еще более чем на 250 лет. С постоянным развитием новейших технологий эти цифры, конечно, можно растянуть на десятки, а в случае с углем — и на сотни лет. Также периодически находят неизвестные ранее месторождения, из-за чего данные о запасах постоянно меняются, так как по новым расчетам запасов должно хватить уже на более долгий срок. И в целом картина не столь мрачная, как может показаться.



Рисунок 1. Оценка текущего запаса нефти

Но когда-нибудь запасы все же истощатся, а загрязнение окружающей среды все также будет актуальной проблемой всего мира. И в целях избежания энергетиче-

ческого кризиса необходимо проделать большие шаги в развитии альтернативной электроэнергетики.

Под понятием альтернативной энергетики подразумевается в первую очередь возобновляемость ресурсов и минимальное влияние на атмосферу и планету в целом. На данный момент наиболее популярными альтернативными источниками ЭЭ являются солнце, ветер и геотермальные источники [3].

### Альтернативная энергетика в мире. Перспективы развития

Сейчас использование ВИЭ быстрыми темпами развивается в европейских странах, которые не имеют своих источников топлива для снабжения традиционных электростанций, а потому импортируют его. В России же развитие альтернативной энергетики идет довольно медленными шагами. По данным аналитической компании Enerdata [2], в Норвегии добыча ЭЭ с помощью гидроэнергии составляет 97%, в Бразилии и Новой Зеландии — около 80%, в Испании, Германии, Италии и Великобритании приходится около 40% на выработку энергии с использованием ВИЭ. В России же этот сектор составляет лишь 17% (из них солнечные и ветровые электростанции — всего 1%).



Рисунок 2. Доля источников в общем производстве электроэнергии в мире

Наиболее популярными в мире являются геотермальные станции. Они производят немало ЭЭ в странах Центральной Америки, Филиппинах, Исландии и др. Приливные электростанции применяются не так широко, сейчас они имеются в России, Канаде, Китае, Великобритании, Индии и Франции. Солнечные ЭС функционируют более чем в 30 странах.

В последние годы стало расширяться использование ветроэнергетических установок. Наиболее популярны они в Европе — например, в Дании (25% энергии

в стране получают как раз благодаря таким установкам), Великобритании и др., в США, Китае и Индии.

Рассматривая перспективы альтернативной энергетики, стоит также отметить, что ряд стран уже обозначил планы по внедрению ВИЭ в хозяйственную деятельность:

- К 2035 г. Германия (население более 82 млн человек) планирует перевести 55–60% своей электроэнергетики на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), к 2050 г. — не менее 80%.
- Португалия (население более 10 млн человек) планирует обеспечивать свои потребности в электроэнергии за счет ВИЭ на 80% к 2030 г. и на 100% к 2050 г.
- Испания (население более 46 млн человек) также полностью переведет свою электроэнергетику на ВИЭ к 2050 г.
- Дания (население более 5 млн человек) намерена полностью перейти на ВИЭ во всех энергетических секторах, включая транспортный, к 2050 г.
- В США 153 города поставили перед собой цель — 100% ВИЭ в электроэнергетике. Аналогичные планы приняли 9 штатов, округов и территорий, включая штат Калифорния (население почти 40 млн человек)[3].

### **Планы по энергопереходу**

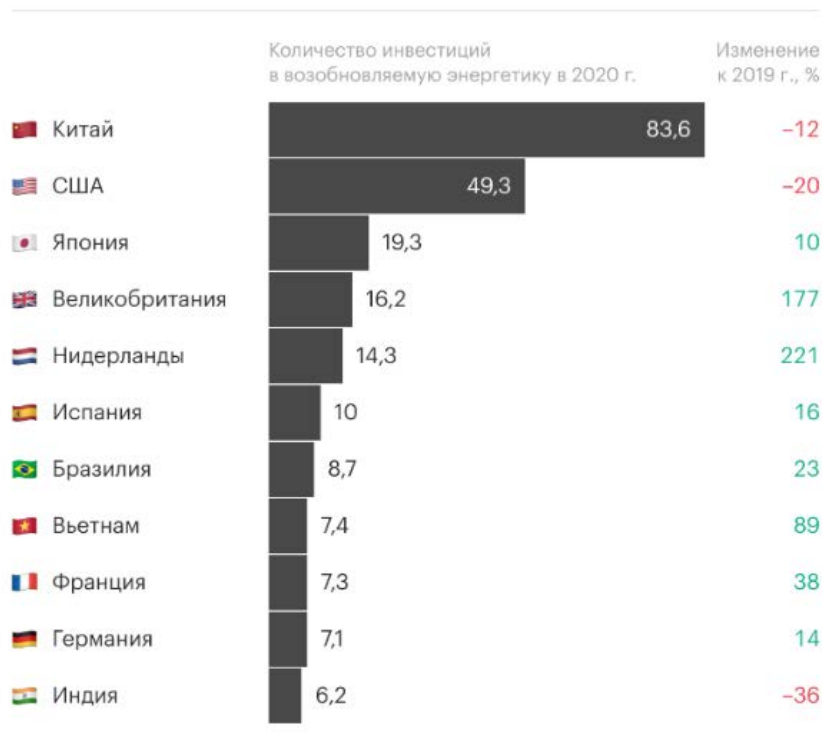
Перед всеми странами мира стоят задачи по энергопереходу на возобновляемые источники электроэнергии. Эти задачи также вошли в Парижское соглашение — благодаря энергетическому переходу начнется процесс замены «угольной» экономики альтернативной энергетикой к 2030 году. И даже несмотря на пандемию и различные экономические кризисы, большинство стран и энергокомпаний объявляли и продолжали осуществлять процессы декарбонизации.

В 2022 году прогнозируется повышение роста мощностей в Евросоюзе. GreenDeal — самая большая в истории Евросоюза коррекция экономического курса. Целью этого проекта было поставлено формирование к 2030 году углеродно-нейтрального пространства в ЕС. В планах для этого — сокращение объемов выбросов парниковых газов на 40% (от уровня в 90-х годах прошлого столетия) и увеличение процентного соотношения ЭЭ от альтернативных источников до 32%. По подсчетам Еврокомиссии, для этого требуется около 260 миллиардов евро инвестирования в год.

Но пока все еще самыми крупными инвесторами в развитии альтернативной энергетики являются США, Япония, Китай и Великобритания. За последние 20 лет глобальные вложения в ВИЭ увеличились практически в 10 раз — с 33 до 300 млрд долларов.

## Инвестиции в развитие возобновляемой энергетики

Млрд \$



Источник: BloombergNEF

© РБК, 2021

Рисунок 3. Инвестиции в развитие альтернативной энергетики

За последние 10 лет Китай стал самым крупным производителем оборудования для альтернативной энергетики. И по большей степени это солнечные батареи. 70% самых крупных производителей в мире солнечных панелей — это компании Китая. У этой страны планы стать углеродно-нейтральной к 2060 году — вполне реальны.

Сейчас больших шагов по переходу на альтернативные источники ждут и от США, ведь действующий президент возобновил участие страны в Парижском соглашении, а также в его планах — достичь перехода к 2050 году на 100% с помощью ВИЭ. К этому же году в планах использовать только альтернативную энергетику также у Японии, Великобритании, Новой Зеландии и Южной Кореи. Что касается Великобритании, то она планирует отказаться от традиционных источников уже к 2025 году. В 2020 году был проведен эксперимент, в ходе которого эта страна чуть более двух месяцев обходилась без угля.

Не отстает и Шотландия — она планирует произвести энергопереход уже к 2030 году. В 2020 году эта страна произвела 97% ЭЭ из возобновляемых источ-

ников, с помощью которой было обеспечено электроэнергией около 7 миллионов домохозяйств.

Столь же активно альтернативная энергетика развивается и в Испании. Прогнозируется, что как минимум солнечная энергетика будет развиваться практически в два раза быстрее, чем в Германии.

Что касается России — на середину 2020 года у нас в стране было построено более чем 1 500 МВт энерго мощностей возобновляемых источников энергии, а общая выработка альтернативной ЭЭ за год достигла отметки в 2 миллиарда кВт·ч.

В долгосрочной перспективе у России есть все возможности значительно снизить углеродоемкость экспорта и хорошими темпами развиваться в области альтернативной энергетике.

### **Список использованной литературы**

1. Мировые запасы нефти. Конец уже близок? // Добывающая промышленность. — 2021. — URL: <https://dprom.online/oilngas/mirovye-zapasy-nefti-i-gazakonets-uzhe-blizok/> (дата обращения — 17.03.2022).
2. Enerdata. Intelligence + consulting. — 2020. — URL: <https://www.enerdata.ru/> (дата обращения — 02.04.2022).
3. Альтернативная энергетика: перспективы развития рынка ВИЭ в России // Деловой профиль. — 2021. — URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/alternativnaya-energetika-perspektivy-razvitiya-rynka-vie-v-rossii/> (дата обращения — 06.04.2022).



УДК 621.316

*Тугалёв Н. А.*

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

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В данной статье рассматривается повышение эффективности оперативного контроля объектов энергетики, так как это направление актуально в нынешнее время. В современных условиях развитие любой компании связано с внедрением в производственные процессы цифровых технологий. По данной тематике в последние годы опубликовано значительное количество научных работ.

**Ключевые слова:** *повышение эффективности, оперативный контроль, диспетчер, электроэнергетика, подстанции, автоматизированный процесс, информация.*

*Tugalev N. A.*

## INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATIONAL CONTROL OF ENERGY FACILITIES

*Surgut*

**Abstract.** This article discusses the increase in the efficiency of operational control of energy facilities, since this direction is relevant at the present time. In modern conditions, the development of any company is associated with the introduction of digital technologies into the reproduction processes. A significant number of scientific papers have been published on this topic in recent years.

**Keywords:** *efficiency improvement, operational control, dispatcher, electric power industry, substations, automated process, information.*

На сегодняшний день задача повышения эффективности оперативного контроля объектов энергетики крайне актуальна. В электроэнергетических компаниях (далее — Общество) в рамках развития системы сбора, обработки и отображения оперативной диспетчерской информации разрабатывается информационная система «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3». В данный момент ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» проходит подготовку к вводу в промышленную эксплуата-

цию. По сравнению с действующей системой ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» имеет ряд преимуществ и позволяет решать новые задачи. Оперативный персонал центральной диспетчерской службы управления энергетикой и диспетчерских служб управлений электросетевого (энергетического) хозяйства структурных подразделений Общества осуществляют оперативный контроль за функционированием объектов электроэнергетики в ИС «ОКО ЦИТС Энергетика». Инструментальным средством оперативного контроля являются однолинейные и узловые мнемосхемы, а также оперативные панели объектов электроэнергетики, на которых отображается оперативно-диспетчерская информация для управления энергосистемой Общества. В действующей версии ИС «ОКО ЦИТС Энергетика» операции по разработке мнемосхем выполняются пользователем вручную, что требует значительных затрат времени. Разрабатываемая ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» на базе новой архитектуры ИС «ОКО» дает возможность упростить, автоматизировать ряд операций по разработке мнемосхем. Описание объектов электроэнергетики специалисты выполняют посредством программного модуля «Редактор объекта электроэнергетики» программного средства «Пульт дистанционного контроля и управления ОКО» (далее — ПС «ПДКУ ОКО»). При описании используются факт-ориентированные шаблоны Gellish (рисунок 1).

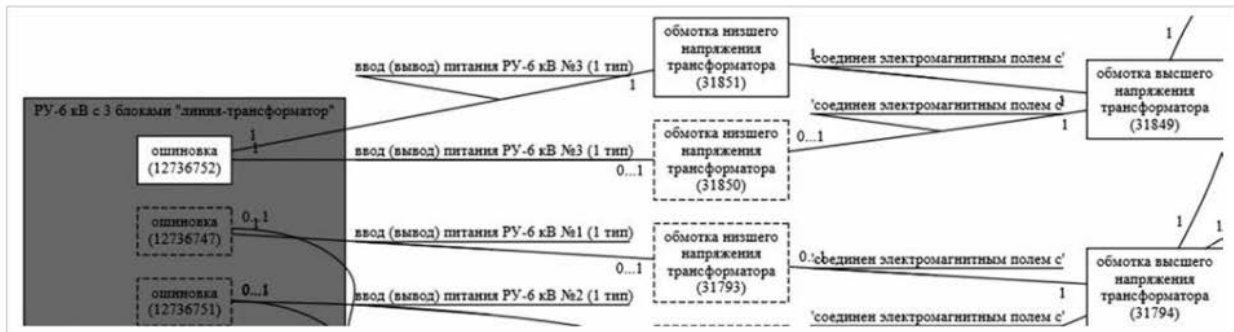


Рисунок 1. Фрагмент схемы электрических связей шаблона «Подстанция трансформаторная 35/6 кВ»

Программный модуль «Редактор объекта электроэнергетики» позволяет создавать несколько типов объектов: линия электропередачи (воздушная/кабельная), подстанция трансформаторная, узел расчетный, электрическое устройство распределительное. Основой для описания объекта в системе является структурная схема объекта, получаемая на основе шаблона Gellish. Структурная схема определяет иерархию, порядок описания оборудования объектов электроэнергетики в ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3». Задача автоматизации процесса построения мнемосхем успешно решается с помощью применения структуриро-

ванного описания объектов электроэнергетики в виде шаблонов, в которые заложены типовые схемы электрической связанности между типовыми объектами электроэнергетики, что позволило автоматизировать процесс построения мнемосхем (рисунок 2).

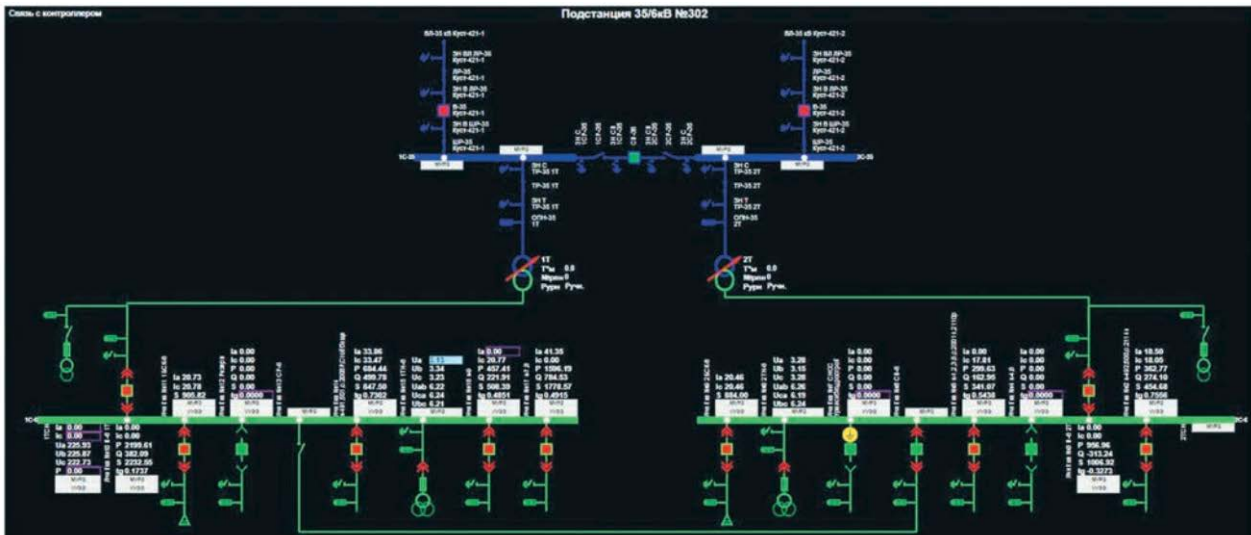


Рисунок 2. Фрагмент однолинейной мнемосхемы подстанции 35/6 кВ

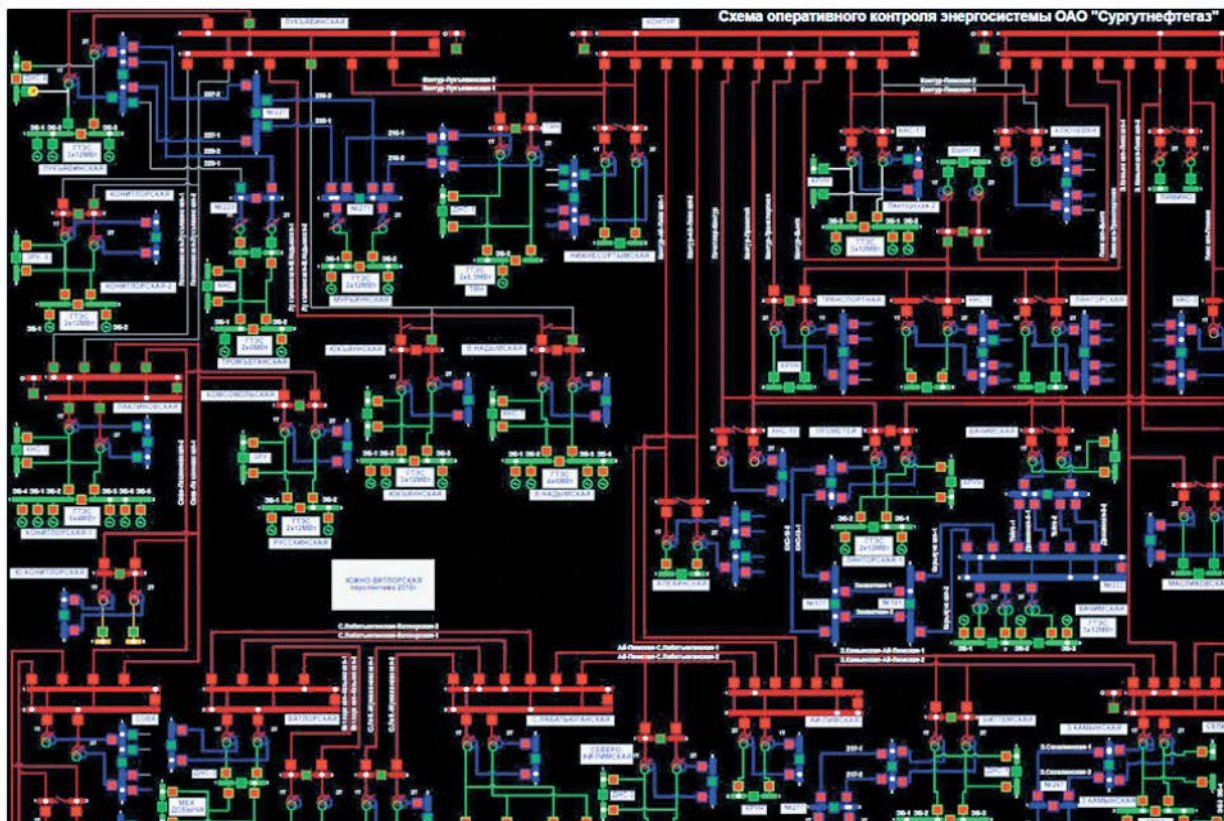


Рисунок 3. Фрагмент узловой мнемосхемы участка сети

В настоящее время реализована возможность автоматического построения однолинейных мнемосхем трансформаторных подстанций и распределительных устройств всех классов напряжения в ПС «ПДКУ ОКО» и с использованием web-технологий. На однолинейных мнемосхемах объектов электроэнергетики, построенных автоматически, отображаются следующие данные: класс напряжения оборудования, состояние коммутационной аппаратуры, параметры электросети высоковольтных ячеек, параметры микропроцессорных устройств релейной защиты, параметры узлов учета электрической энергии, паспортные данные электрооборудования из системы SAP R/3 и другие данные. В ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» реализована возможность автоматического построения узловых схем участков сети с возможностью ручного редактирования при необходимости, а также возможность перехода на уровень объекта и в геоинформационную систему Общества для отображения объекта на местности путем клика соответствующей вкладки (рисунок 3).

В геоинформационной системе реализована визуализация местоположения автотранспорта оперативных бригад управлений электросетевых хозяйств на местности с обозначением пройденного маршрута путем введения госномера автомобиля в соответствующем поле. С целью визуализации состояния оборудования реализован механизм трассировки линий электропередачи (далее — ЛЭП), характеризующийся цветовой маркировкой ЛЭП в различных режимах работы.

1. Режим «Отключено»: цвет раскраски ЛЭП — белый.
2. Режим «Нормальный»: цвет раскраски ЛЭП соответствует классу напряжения.
3. Режим «Аварийный»: цвет раскраски ЛЭП — мигающий, с переменным изменением цвета класса напряжения на белый.
4. Режим «Ремонт»: цвет раскраски ЛЭП — белый, выводится знак с надписью «В ремонте». В случае аварийного отключения выключателя обеспечена его индикация (мигание).

На однолинейных и узловых мнемосхемах реализована возможность выставлять графические маркеры: «Переносное заземление», «Разобранные шлейфы», «Место короткого замыкания». С целью повышения эффективности оперативного контроля за работой электрооборудования за счет сокращения времени выявления аварийных и предаварийных режимов, а также получения информации о результате выполненных действий по нормализации режима работы электрооборудования и электрических сетей в ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» разработан модуль «Журнал событий» (рисунок 4).

«Журнал событий» служит для автоматического выявления нештатных и аварийных ситуаций на основе технологии динамического анализа оперативной информации, генерации событий при обнаружении нештатных и аварийных си-

туаций и автоматизации определения причин выявленных ситуаций. Заполнение «Журнала событий» формируется из оперативных данных, поступающих в ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» с объектов электроэнергетики Общества.

Объекты	Класс	Получить фильтры	Хронология событий	Дата возникновения	Дата устранения	Вид события	Подразделение	Объект	Подстанция	РУ	Класс напряжения	Линейка	Устройство	Параметр	Значение
И	08.08.2018 14:52:05	Информационный	НГДУ "Сургутнефтегаз"	Сетевой район ИЭС	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ВЛ-35 кВ Восточная-2	В-35 Восточная-2	Состояние "Выключено"	0.00					
И	08.08.2018 14:55:39	Информационный	НГДУ "Сургутнефтегаз"	Сетевой район ИЭС	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ВЛ-35 кВ Восточная-2	ВЛ-35 кВ Восточная-2	Состояние "Выключено"	1.00					
И	08.08.2018 15:00:00	Предупреждающий	НГДУ "Сургутнефтегаз"	Сетевой район ИЭС	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	6 кВ	Линейка ИЭС-21Н-6	устройство микропроцессорное релейной защиты (МУФЗ)	Посада	1.00					
И	08.08.2018 17:46:14	Информационный	НГДУ "Комсомольскнефтегаз"	ПС-2	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ИЭС-35	ИЭС-35	Состояние "Выключено"	1.00					
И	08.08.2018 14:53:10	Аварийный	НГДУ "Сургутнефтегаз"	Сетевой район ИЭС	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ВЛ-35 кВ Восточная-2	устройство микропроцессорное релейной защиты	Неисправность устройства РЗА(О)	1.00					
И	08.08.2018 14:53:10	Аварийный	НГДУ "Сургутнефтегаз"	Сетевой район ИЭС	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ВЛ-35 кВ Восточная-2	устройство микропроцессорное релейной защиты	Неисправность устройства РЗА(О)	1.00					
И	08.08.2018 09:46:22	08.08.2018 14:50:41	Информационный	НГДУ "Сургутнефтегаз"	Сетевой район ИЭС	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ИЭС-35	ИЭС-35	Состояние "Выключено"	0.00				
И	08.08.2018 17:36:03	08.08.2018 17:40:56	Информационный	НГДУ "Комсомольскнефтегаз"	ПС-2	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ИЭС-35	ИЭС-35	Состояние "Выключено"	1.00				
И	08.08.2018 17:43:34	Информационный	НГДУ "Быстрокнефтегаз"	ОР-2	РУ 6 кВ ИЭС-152	6 кВ	ИЭС-11	ИЭС-11	Состояние "Выключено"	0.00					
И	08.08.2018 12:30:00	08.08.2018 17:46:00	Информационный	НГДУ "Комсомольскнефтегаз"	ОАО "Газпромнефтегаз"	ПС-110кВ ИЭС-110кВ	110 кВ	ВЛ-110 кВ	Состояние "Выключено"	0.00					
И	08.08.2018 17:30:11	Информационный	НГДУ "Комсомольскнефтегаз"	ПС-РОО ЦПТН	Подстанция ПС-10кВ ИЭС-10кВ	6 кВ	Линейка ИЭС-11(Н-6)	Выключатель секции	Состояние "Выключено"	0.00					
И	08.08.2018 12:30:00	08.08.2018 17:30:13	Аварийный	НГДУ "Комсомольскнефтегаз"	ПС-РОО ЦПТН	Подстанция ПС-10кВ ИЭС-10кВ	6 кВ	Линейка ИЭС-11(Н-6)	устройство микропроцессорное релейной защиты (МУФЗ)	Неисправность интеллектуального модуля	1.00				
И	08.08.2018 17:26:14	08.08.2018 17:26:56	Информационный	НГДУ "Комсомольскнефтегаз"	ПС-2	Подстанция 35кВ ИЭС-35кВ ИЭС-35кВ	35 кВ	ИЭС-35	ИЭС-35	Состояние "Выключено"	1.00				
И	08.08.2018 17:37:56	Информационный	НГДУ "Быстрокнефтегаз"	ОР-2	РУ 6 кВ ИЭС-152	6 кВ	ИЭС-11	ИЭС-11	Состояние "Выключено"	0.00					
И	08.08.2018 17:38:12	Информационный	НГДУ "Быстрокнефтегаз"	СЭО РМР	РУ 6 кВ ЦПС	6 кВ	ИЭС-11	ИЭС-11	Состояние "Выключено"	0.00					

Рисунок 4. Модуль «Журнал событий»

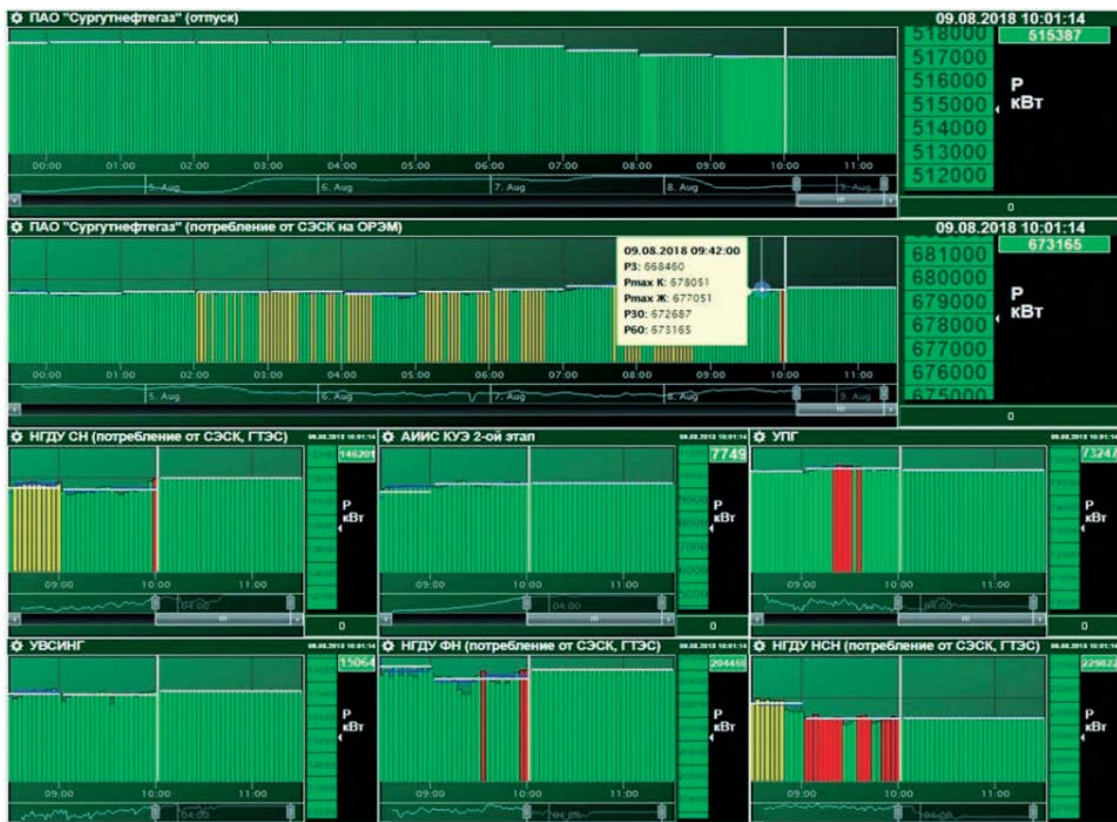


Рисунок 5. Панель оперативного контроля потребления и выработки электроэнергии (мощности)

События в журнале имеют различную цветовую индикацию в соответствии с категорией события: аварийные события — «красный», предупредительные — «желтый», информационные — «зеленый». Данный модуль обеспечивает возможность ввода информации, квитирования событий в соответствии с правами доступа пользователей. Вывод информации в журнал реализован в табличном виде с указанием идентификационной информации пользователя, совершившего квитирование, и действия над событием. С целью осуществления контроля поступления данных из системы телемеханики в ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» реализованы сводки по анализу полноты данных по узлам учета электрической энергии, контролю поступления данных по ячейкам энергообъектов и контролю наличия связи с контроллером телемеханики, позволяющие оперативно реагировать и устранять проблемы передачи телеинформации с объектов энергетики в ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3». В ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» реализована панель оперативного контроля потребления и выработки электроэнергии (мощности) по структурным подразделениям Общества и Обществу в целом (рисунок 5).

Панель предназначена для контроля в реальном времени заданных лимитов потребления и выработки электроэнергии и мощности. Оперативный персонал диспетчерских служб структурных подразделений Общества контролирует не превышение контрольных лимитов в своей зоне ответственности. Начальник смены центральной диспетчерской службы управления энергетикой осуществляет контроль величины потребления и выработки электроэнергии и мощности по Обществу в целом. В случае отклонения от заданных контрольных лимитов принимаются меры по введению ограничений потребления. Таким образом, внедрение ИС «ОКО ЦИТС Энергетика. Версия 3» способствует повышению эффективности оперативного контроля объектов энергетики Общества.

### **Список использованной литературы**

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. — 2017. — URL: <http://etp-perm.ru/el/pue>
2. Правила технологического функционирования электроэнергетических систем — в редакции Постановления Правительства РФ от 13.08.2018. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/550919677>

УДК 621.314.6

*Никончук А. С.*

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

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗНАЧЕНИЕ ТОКОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ПРИ ПУСКЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*г. Сургут*

**Аннотация.** В среде визуального моделирования MatLab с применением библиотеки Simulink в общем виде разработана схема моделирования пуска двигателя постоянного тока, питающегося от выпрямленного напряжения для оценки влияния токов высших гармоник. В результате моделирования получены зависимости токов якоря и обмотки возбуждения и скорости вращения двигателя от времени, а также значения коэффициентов пульсации тока якоря первых двенадцати гармоник.

**Ключевые слова:** *двигатель постоянного тока, выпрямитель, токи высших гармоник, matlab.*

*Nikonchuk A. S.*

Surgut State University, Surgut

## EVALUATION OF THE INFLUENCE OF VOLTAGE RECTIFIERS ON THE VALUE OF HIGHER HARMONIC CURRENTS WHEN STARTING A DC MOTOR

*Surgut*

**Abstract.** In the MatLab visual modeling environment using the Simulink library, a scheme for modeling the start of a DC motor powered by rectified voltage has been developed in general form to assess the influence of higher harmonic currents. As a result of the simulation, the dependences of the armature and excitation winding currents and the motor rotation speed on time, as well as the values of the armature current pulsation coefficients of the first twelve harmonics are obtained.

**Keywords:** *DC motor, rectifier, higher harmonic currents, matlab.*

Одним из главных элементов электропривода является электрический двигатель, поэтому основные его свойства — срок службы и надежность, быст-

родействие, энергетические показатели, удобство управления — во многом характеризуют электропривод в целом [3].

Двигатели постоянного тока являются основой для работы множества устройств различных отраслей промышленности [2]. Одной из проблем их использования является необходимость преобразовывать питающее переменное напряжение в постоянное.

Для преобразования переменного напряжения в постоянное используются различные промышленные выпрямители, генерирующие в сеть токи высших гармоник, снижающие качество электроэнергии, увеличивающие потери и негативно сказывающиеся на работе оборудования.

Поэтому важным условием является ограничение данных токов, а также существует необходимость в возможности анализировать возникновение данных токов для своевременного выбора фильтрующих устройств [1].

Было решено реализовать в среде MatlabSimulink имитационную модель пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения, питающегося от преобразованного через выпрямители напряжения с возможностью оценки основных параметров двигателя, а также расчетом коэффициентов пульсаций напряжения и тока якорной цепи.

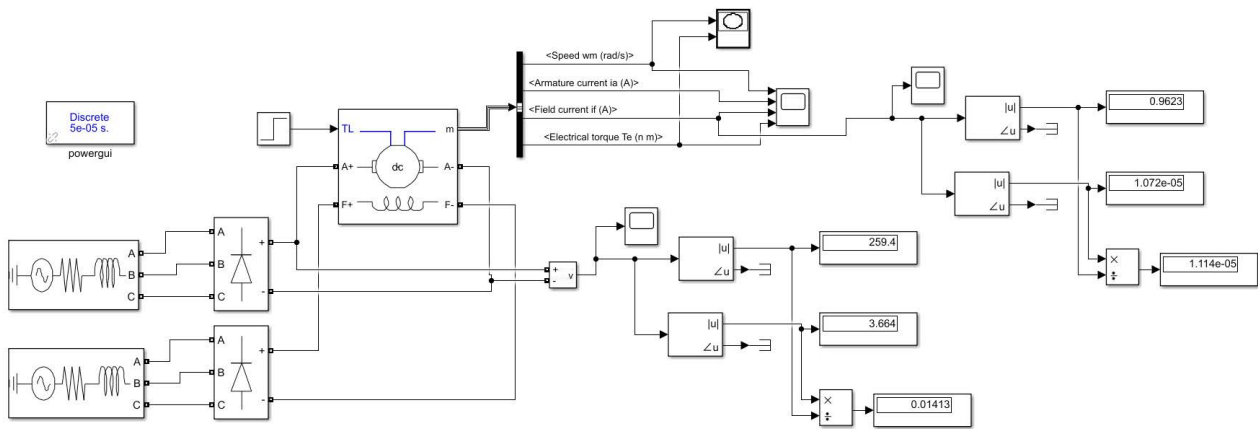


Рисунок 1. Модель пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Характеристики основных блоков модели:

- 1) Источники трехфазного переменного напряжения:

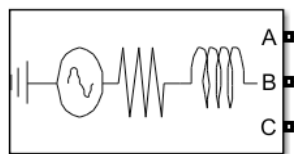


Рисунок 2. Блок Three-phase source



Phase-to-phase voltage ( $V_{rms}$ ): 220;  
Phase angle of phase A (degrees): 0;  
Frequency (Hz): 50;  
Source resistance (Ohms): 0,8929;  
Source inductance (H): 16,58e-3;  
Base voltage ( $V_{rms}$  ph-ph): 25e3;

2) Выпрямители:

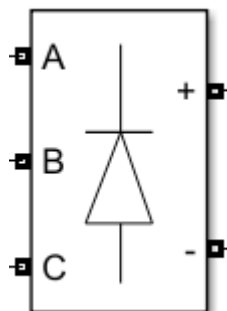


Рисунок 3. Блок Universal Bridge

Snubber resistance  $R_s$  (Ohms): 1e5;  
Snubber capacitance  $C_s$  (F): inf;  
 $R_{on}$  (Ohms): 1e-3;  
 $L_{on}$  (H): 0;  
Forward voltage  $V_f$  (V): 10.

3) Двигатель постоянного тока:

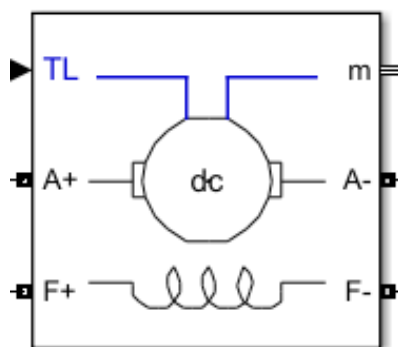


Рисунок 4. Блок DC Machine

Armature resistance and inductance [ $R_a$  (ohms)  $L_a$  (H)]: [2.581 0.028];  
Field resistance and inductance [ $R_f$  (ohms)  $L_f$  (H)]: [281.3 156];

Field-armature mutual inductance  $L_{af}$  (H): 0.9483;  
 Total inertia  $J$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ): 0.02215;  
 Viscous friction coefficient  $B_m$  (N.m.s): 0.002953;  
 Coulomb friction torque  $T_f$  (N.m): 0.5161.

Осциллограмма, значение тока и значение токов гармоник снимается в части схемы, представленной на рисунке 5.

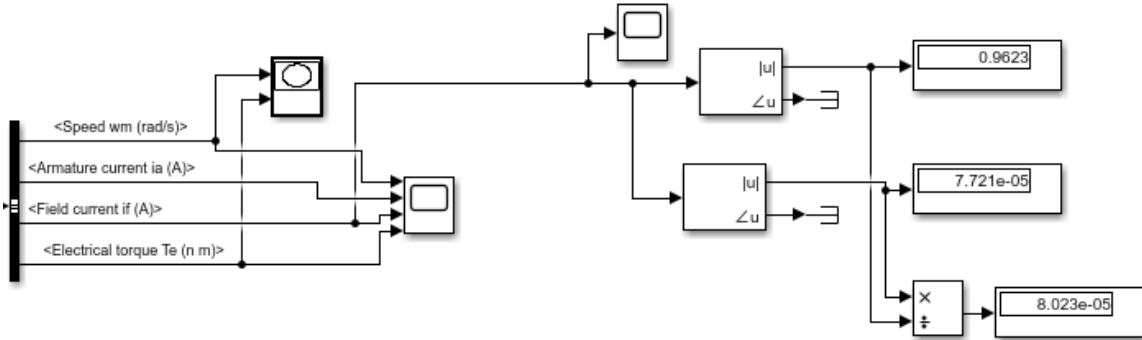


Рисунок 5. Часть схемы, используемая для оценки токов цепи якоря

Для оценки результатов моделирования рассмотрен установившийся ток якорной цепи, осциллограмма которого представлена на рисунке 6.

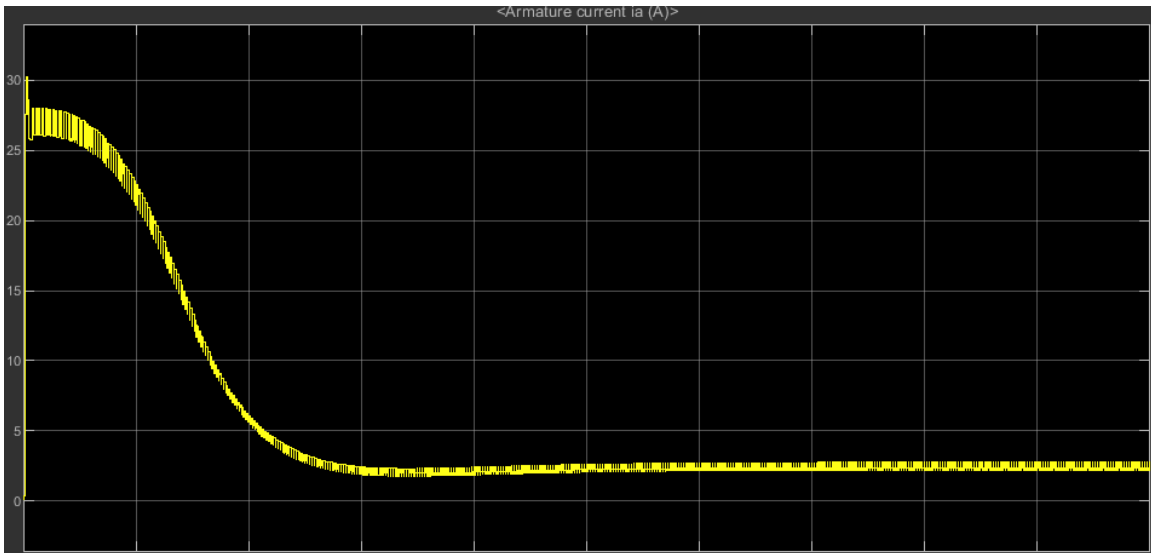


Рисунок 6. Осциллограмма тока цепи якоря

Из результатов опыта видно, что для данной схемы наибольшее влияние оказывают токи гармоник, кратные 6, что позволяет на этапе проектирования разработать мероприятия по снижению данных гармонических составляющих (рисунок 7).

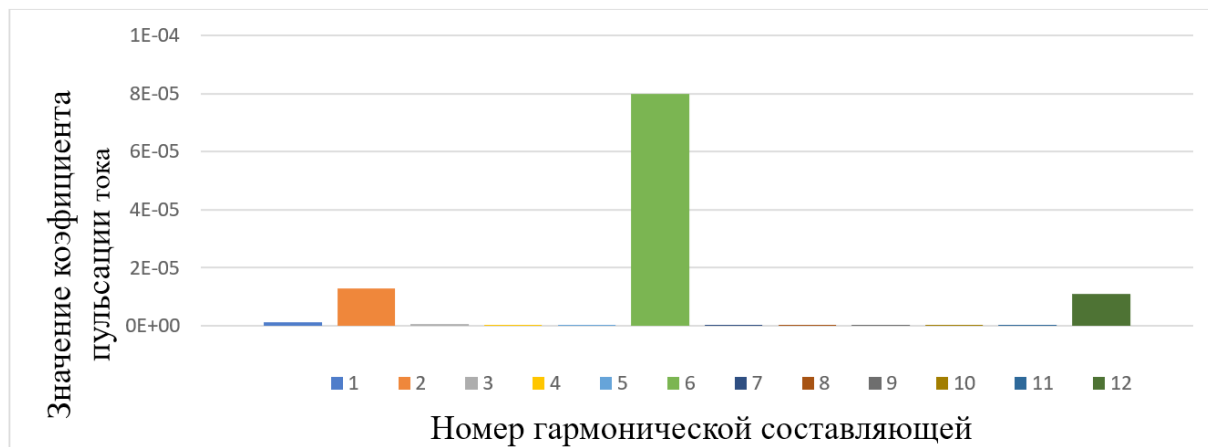


Рисунок 7. Коэффициенты гармонических составляющих в цепи якоря

## Выводы

Была разработана имитационная схема, моделирующая работу двигателя постоянного тока с заданными параметрами, питающегося от сети с пассивными выпрямителями напряжения. Данная схема позволяет изучать влияние токов высших гармоник, возникающих при использовании выпрямителей. Данная схема вариативна, а также может быть модернизирована для моделирования различных режимов работы двигателя.

## Список использованной литературы

1. Бизиков В. А. Системы управления тиристорными преобразователями частоты. — Москва : Энергоиздат, 1981. — 144 с.
2. Труднев С. Ю., Портнягин Н. Н. Компьютерное моделирование процесса запуска двигателя постоянного тока // Вестник Камчатского государственного технического университета [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. — Петропавловск-Камчатский, 2018. — Вып. 44. — С. 30–38.
3. Справочник по электрическим машинам: В 2 т. / под общей редакцией И. П. Копылова и Б. К. Клокова. — Т. 1. — Москва : Энергоатомиздат, 1988. — 456 с.

УДК 620.1

*Бородина Е. А.<sup>1</sup>, Герасимова Н. Н.<sup>2</sup>, Макаrchук В. Э.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», г. Сургут

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В данной работе представлено исследование зависимости основных параметров испытуемых диэлектриков от вида образца диэлектрика (древесно-волоконный, стеклотекстолит, поливинилхлорид, органическое стекло), помещенного между пластинами плоского конденсатора. Приведены результаты, полученные методом прямых измерений емкости и тангенса угла диэлектрических потерь при помощи «Измерителя R-L-C» различных образцов диэлектриков и методом косвенных измерений: емкости конденсатора без диэлектрика, относительной диэлектрической проницаемости испытываемого диэлектрика и сопротивления последовательной схемы замещения.

**Ключевые слова:** *диэлектрик, плоский конденсатор, емкость конденсатора, относительная диэлектрическая проницаемость, сопротивление, тангенс угла диэлектрических потерь.*

*Borodina E. A.<sup>1</sup>, Gerasimova N. N.<sup>2</sup>, Makarchuk V. E.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> Surgut State University, Surgut

## DETERMINATION OF THE DIELECTRIC CONSTANT AND THE TANGENT OF THE DIELECTRIC LOSS ANGLE OF INSULATING MATERIALS

*Surgut*

**Abstract.** This paper presents a study of the dependence of the main parameters of the tested dielectrics on the type of dielectric sample (wood fiber, fiberglass, polyvinyl chloride, organic glass) placed between the plates of a flat capacitor. The results obtained by direct measurements of the capacitance and dielectric loss tangent using the «R-L-C Meter» of various dielectric samples and by the method of indirect measurements: the capacitance of a capacitor without a dielectric, the relative permittivity of the tested dielectric and the resistance of a series equivalent circuit are presented.

**Keywords:** *dielectric, flat capacitor, capacitor capacitance, relative permittivity, resistance, dielectric loss tangent.*

Проблемой является малое количество исследований на тему зависимости основных параметров диэлектриков от вида образца диэлектрика, помещенного между пластинами плоского конденсатора. Актуальность темы связана с научным интересом, так как изучение зависимости основных параметров диэлектрика от вида материала, из которого он изготовлен, является очень значимым для определения причин изменения той или иной характеристики. Новизна работы заключается в экспериментальном подтверждении значений ключевых характеристик диэлектрика от вида образца материала, находящегося среди пластин плоского конденсатора. Кроме того, с появлением новых материалов в современном мире появилась необходимость изучения множества параметров и свойств изоляционных материалов для дальнейшего их применения в различных областях.

Целью исследования является определение основных характеристик изоляционных материалов и приобретение навыков измерения с помощью прибора «Измерителя R-L-C» E7 — 22 с использованием установки электроэнергетического комплекса. Для достижения цели необходимо решить ряд задач:

1. Измерить емкость  $C$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta (D)$  при помощи «Измерителя R-L-C».
2. Вычислить емкость конденсатора без диэлектрика  $C_0$ , относительную диэлектрическую проницаемость испытываемого диэлектрика  $\epsilon$  и сопротивление последовательной схемы замещения  $R$  косвенным путем.
3. Оформить результаты, полученные в ходе эксперимента, и сделать вывод о зависимости основных параметров испытываемых диэлектриков от вида образца диэлектрика, помещенного между пластинами плоского конденсатора.

В качестве метода исследования мы выбрали метод прямых измерений — это метод, в котором искомое значение физической величины определяют из результата проведенного эксперимента. А также метод косвенных измерений — это метод, в котором значение физической величины определяют на основании прямых измерений, связанных с искомой величиной определенной зависимостью.

Исходными материалами являются: древесно-волокнистая плита (образец 600.20.1) диаметром  $d = 3,2$  мм; стеклотекстолит (образец 600.20.2) диаметром  $d = 1,2$  мм; поливинилхлорид (образец 600.20.3) диаметром  $d = 4$  мм; органическое стекло (образец 600.20.4) диаметром  $d = 2$  мм; плоский конденсатор (блок 2355) — это конденсатор, который состоит из двух параллельных и разделенных слоев диэлектрика пластин. Такой конденсатор обладает свойством сохранения накопленных зарядов на протяжении длительного времени [1].

В схеме, согласно рисунку 1, подключаем блок питания 224.1 к блоку «Измеритель R-L-C» (533) и к розетке «220 В» однофазного источника питания G1 блок (218). Затем включаем выключатель «Измерителя R-L-C» (533) и выбираем на измерителе: вид измеряемого параметра — емкость  $C$ ; вспомогательный изме-

ряемый параметр — тангенс дельта  $D$ ; схему замещения элемента — последовательную; частоту измерения — 120 Гц.

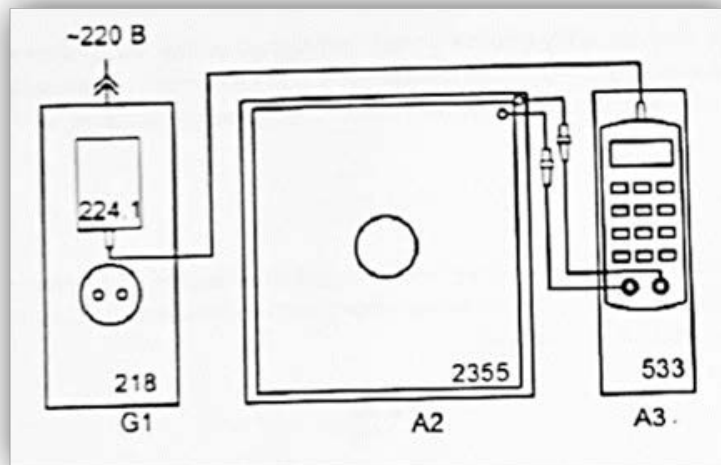


Рисунок 1. Электрическая схема соединений для измерения параметров конденсатора с испытываемым диэлектриком

Далее вкладываем измеряемые образцы диэлектрика, такие как поливинилхлорид, древесно-волоконная плита, органическое стекло и стеклотекстолит [2; 3] между пластинами конденсатора и подключаем к «Измерителю R-L-C». Верхнюю пластину блока конденсатора 2355 устанавливаем по центру нижней пластины с равномерным отступом от краёв по всему периметру пластины. Затем измеряем емкость  $C$  и тангенс  $\operatorname{tg} \delta (D)$  угла диэлектрических потерь конденсатора 2355 с диэлектриком.

Вычислим значения емкости конденсатора без диэлектрика  $C_0$ , относительную диэлектрическую проницаемость испытываемого диэлектрика  $\epsilon$  и сопротивление последовательной схемы замещения  $R$  для каждого вида диэлектрика. Значения, найденные в результате прямых и косвенных измерений, заносим в таблицу 1.

Таблица 1. Таблица экспериментальных и расчетных данных:

Образец	$C$ , пФ	$\operatorname{tg} \delta (D)$	$\epsilon$	$R$ , Ом
Поливинилхлорид	297,3	0,0009	1,709	$0,48 \cdot 10^3$
Древесно-волоконная плита	640,9	0,0094	2,939	$2,34 \cdot 10^3$
Органическое стекло	1131,2	0,0350	3,241	$4,93 \cdot 10^3$
Стеклотекстолит	1267,9	0,0085	2,178	$1,07 \cdot 10^3$

Расчеты приведены ниже.

1. Нахождение емкости конденсатора без диэлектрика по формуле:  $C_0 = \varepsilon \frac{S}{d}$ , где  $\varepsilon_0 \approx 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м — электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума).

$$1) C_{01} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,079}{4 \cdot 10^{-3}} = 1,74 \cdot 10^{-10} \text{ (Ф)}$$

$$2) C_{02} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,079}{3,2 \cdot 10^{-3}} = 2,18 \cdot 10^{-10} \text{ (Ф)}$$

$$3) C_{03} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,079}{2 \cdot 10^{-3}} = 3,49 \cdot 10^{-10} \text{ (Ф)}$$

$$4) C_{04} = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,079}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 5,82 \cdot 10^{-10} \text{ (Ф)}.$$

2. Нахождение относительной диэлектрической проницаемости испытываемого диэлектрика  $\varepsilon$  по формуле:  $\varepsilon = \frac{C}{C_0}$ .

$$1) \varepsilon_1 = \frac{297,3 \cdot 10^{-12}}{1,74 \cdot 10^{-10}} = 1,709$$

$$3) \varepsilon_3 = \frac{1131,2 \cdot 10^{-12}}{3,49 \cdot 10^{-10}} = 3,241$$

$$2) \varepsilon_2 = \frac{640,9 \cdot 10^{-12}}{2,18 \cdot 10^{-10}} = 2,939$$

$$4) \varepsilon_4 = \frac{1267,9 \cdot 10^{-12}}{5,82 \cdot 10^{-10}} = 2,178.$$

3. Нахождение циклической частоты:

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 = 6280 \text{ рад/с}.$$

4. Нахождение сопротивления последовательной схемы замещения по формуле:

$$R = \frac{\text{tg } \delta}{\omega C}.$$

$$1) R_1 = \frac{0,0009}{6280 \cdot 297,3 \cdot 10^{-12}} = 0,48 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}$$

$$2) R_2 = \frac{0,0094}{6280 \cdot 640,9 \cdot 10^{-12}} = 2,34 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}$$

$$3) R_3 = \frac{0,035}{6280 \cdot 1131,2 \cdot 10^{-12}} = 4,93 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}$$

$$4) R_4 = \frac{0,0085}{6280 \cdot 1267,9 \cdot 10^{-12}} = 1,07 \cdot 10^3 \text{ (Ом)}.$$

В результате проведенного эксперимента мы получили прямую зависимость для трёх образцов диэлектриков (древесно-волоконный, поливинилхлорид, органическое стекло). С увеличением емкости конденсатора  $C$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  ( $D$ ) будет увеличиваться и диэлектрическая проницаемость

конденсатора  $\epsilon$ , так как увеличивается напряженность электрического поля между пластинами плоского конденсатора и сопротивление последовательной схемы замещения  $R$ , потому что плоский конденсатор накапливает заряды.

У четвертого образца (стеклотекстолита) с полученными данными сопротивления  $R$  ( $1,07 \cdot 10^3$  Ом), емкости  $C$  (1267,9, пФ), тангенса  $\operatorname{tg} \delta$  (D) (0,0085) диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  (2,178) меньше, чем у древесно-волоконистой плиты и органического стекла с меньшими емкостями, потому что для измерений при выставленной частоте в 1000 Гц его характеристики находятся в определенных пределах (проницаемость — 2,2–10,2; сопротивление —  $10^3$ ).

Таким образом, в ходе исследования определили основные характеристики изоляционных материалов, а также по полученным результатам удалось установить зависимость основных параметров испытуемых диэлектриков от вида образца диэлектрика, помещенного между пластинами плоского конденсатора с помощью установки электроэнергетического комплекса.

Предложением о возможных дальнейших исследованиях по данной проблематике может быть изучение параметров других различных видов диэлектриков. Например, поливинилхлорид — материал, представляющий собой прозрачную бесцветную пластмассу, получаемую из винилхлорида; гетинакс — электроизоляционный материал, состоящий из нескольких слоев бумаги, пропитанный смолой; полиэтилен — материал, представляющий собой термопластичное органическое соединение, получаемое из этилена.

### Список использованной литературы

1. Давыдова, И. С. *Материаловедение : учебное пособие*/ И. С. Давыдова, Е. Л. Максина. — 2-е изд. — Москва : РИОР: ИНФРА-М, 2020. — 228 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — ISBN 978-5-369-01222-2. — Текст : электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062389> (дата обращения: 11.04.2022).
2. Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П. *Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники : Учебник. — Т. 2. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2016. — 384 с.: ил.*
3. Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П. *Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : Учебник. — Т. 1. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Издательство «Лань», 2015. — 448 с.: ил.*



УДК 621.311

**Владимиров Л. В., Попков Н. А.**

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

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

г. Сургут

**Аннотация.** В настоящее время использование микропроцессорных защит позволяет обеспечить устойчивое функционирование и защиту электрооборудования при аварийных режимах работы. В данной публикации рассмотрены преимущества и недостатки микропроцессорных защит, их применение на объектах нефтедобывающей отрасли, схемы подключения вторичных цепей, расчет уставок защит.

**Ключевые слова:** микропроцессорные устройства релейной защиты, расчет уставок, защита электродвигателей.

**Vladimirov L. V., Popkov N. A.**

Surgut State University, Surgut

## THE USE OF MICROPROCESSOR PROTECTION AT THE FACILITIES OF THE OIL INDUSTRY

Surgut

**Abstract.** Currently, the use of microprocessor protections allows for stable operation and protection of electrical equipment during emergency operation. This publication discusses the advantages and disadvantages of microprocessor protections, their use at oil production facilities, secondary circuit connection schemes, calculation of protection settings.

**Keywords:** microprocessor relay protection devices, calculation of setpoints, protection of electric motors.

В 90-х годах XX века стали массово внедрять новое оборудование для защиты объектов электроэнергетики, которые используют компьютерные технологии на базе микропроцессоров. Данное оборудование обозначают сокращенным термином МУРЗ — микропроцессорные устройства релейной защиты.

Современную электроэнергетику невозможно представить без быстрой, качественной и надежной защиты, которую обеспечивают системы релейной защиты

автоматики. Поэтому одной из важнейших поставленных задач перед электроэнергетикой является полное техническое переоснащение и реконструкция систем релейной защиты автоматики.

Микропроцессорные устройства релейной защиты — устройства релейной защиты, управляющая часть которых реализована на базе *микропроцессорных элементов* (микроконтроллера). В настоящее время совершенствование МУРЗ являются основным вектором направления развития релейной защиты. Помимо основной функции защиты, зачастую МУРЗ позволяют реализовать дополнительные функции по регистрации аварийных режимов, ведению статистики и учета срабатываний, осцилографированию параметров. Данные функции никак не могут быть реализованы на устройствах релейной защиты на электромеханической или аналоговой базе.

МУРЗ обладают рядом преимуществ по сравнению с релейной защитой на электромеханической базе, а именно лучшими показателями по быстродействию, надежности и чувствительности, многофункциональностью, точностью получения данных, компактностью и удобством фиксирования неисправностей.

Безусловно, большим минусом МУРЗ является относительная высокая стоимость как самих терминалов, так и их обслуживания, поскольку в случае выхода из строя функционального блока он заменяется целиком (поскольку не ремонтнопригоден). Также к недостаткам можно отнести узкий диапазон рабочих температур, поскольку МУРЗ очень требовательны к поддержанию необходимого климата в помещении. Нередко происходят сбои программного обеспечения.

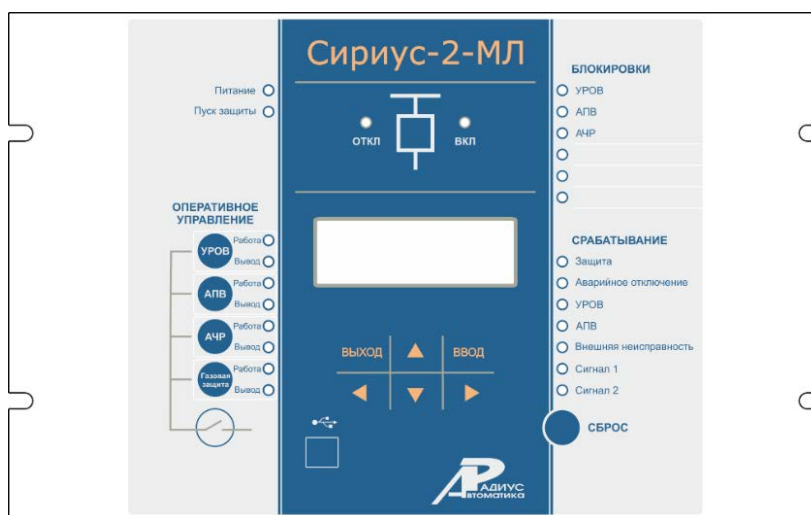


Рисунок 1. Внешний вид лицевой панели устройства «Сириус-2-МЛ»

Рассмотрим применение МУРЗ на объектах нефтедобывающей отрасли, а именно эксплуатацию продукции компании «РАДИУС Автоматика», устройства

«Сириус-2-МЛ», которыми комплектуются релейные шкафы КРУ-6 кВ. Внешний вид лицевой панели устройства МУРЗ представлен на рисунке 1.

Данные устройства применяются для выполнения основных функций по управлению и защите присоединений напряжением 6/10 кВ. Устройство предназначено для работы в системах релейной защиты силовых трансформаторов, воздушных и кабельных линий электропередачи, а также других электроприемников. Устройство имеет специальное исполнение, что позволяет использовать его при создании объектов энергетики по технологии «цифровая подстанция» с учетом требований международного стандарта МЭК 61850. Также возможно исполнение для работы в системах с переменным оперативным током.

Данное устройство используется в КРУ в релейных отсеках и реализует следующие функции:

- максимальная токовая защита (МТЗ) с возможностью реализации направленных токовых защит и пуска по напряжению;
- ускорение работы МТЗ при срабатывании выключателя;
- защита от обрыва фазы;
- защита от замыканий на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью;
- защита синхронных электродвигателей;
- защита по минимальному и максимальному уровням напряжений;
- логическая защита систем сборных шин.

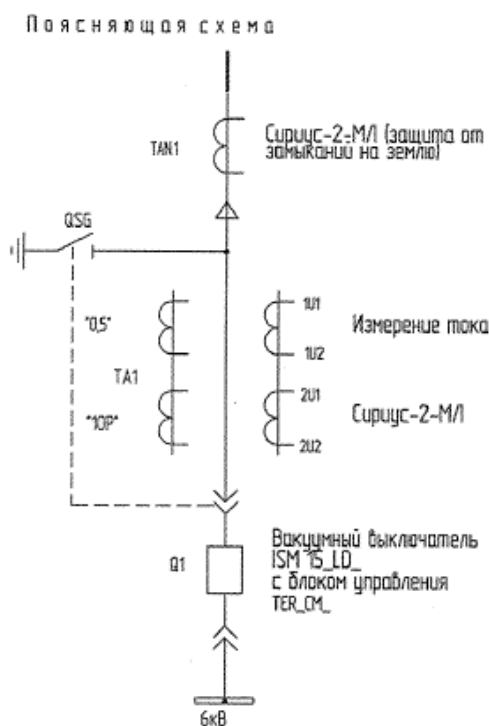


Рисунок 2. Поясняющая схема

Данное устройство релейной защиты автоматики предназначено для защиты электрооборудования и управления коммутационными аппаратами в сетях с номинальным напряжением 6-10 кВ. Схема, поясняющая расположение измерительных трансформаторов тока, и схема подключения представлены на рисунке 2.

Блок МУРЗ функционирует на основе данных, получаемых по вторичным цепям от измерительных трансформаторов тока и напряжения. Схемы подключения вторичных цепей представлены на рисунках 3 и 4.

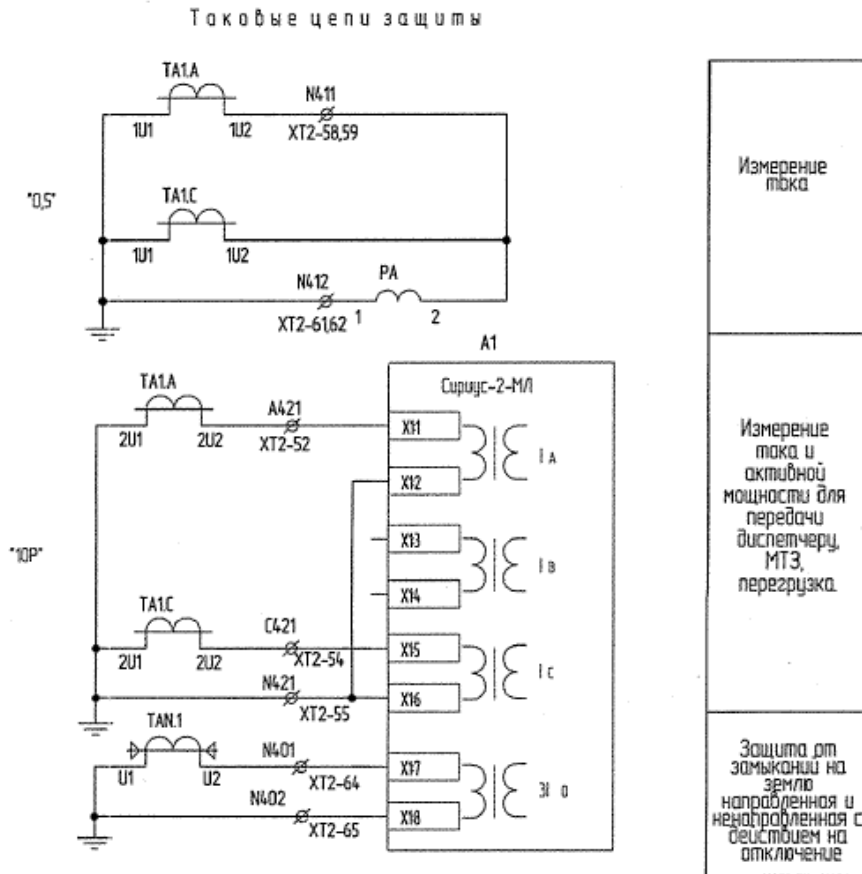


Рисунок 3. Схема подключения цепей измерительных трансформаторов тока

Рассмотрим пример расчета защиты электродвигателя от однофазных замыканий. Схема подключения двигателя представлена на рисунке 5. Параметры элементов сети: напряжение сети 6 кВ. Защищаемый двигатель Д1: Номинальная мощность 3 МВт, номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi=0,88$ . Смежные двигатели, подключенные к тем же шинам, на схеме указаны в виде эквивалентного двигателя  $D_{э\text{кв}}$  с суммарной мощностью  $P_{\text{ном.Дэ\text{кв}}} = 15$  МВт и усредненным значением номинального коэффициента мощности  $\cos\varphi_{\text{э\text{кв}}} = 0,8$ . Подключенная к тем же шинам кабельная сеть на схеме указана в виде эквивалентного кабеля  $K_{\text{э\text{кв}}}$  с суммарной длиной кабелей 600 м.

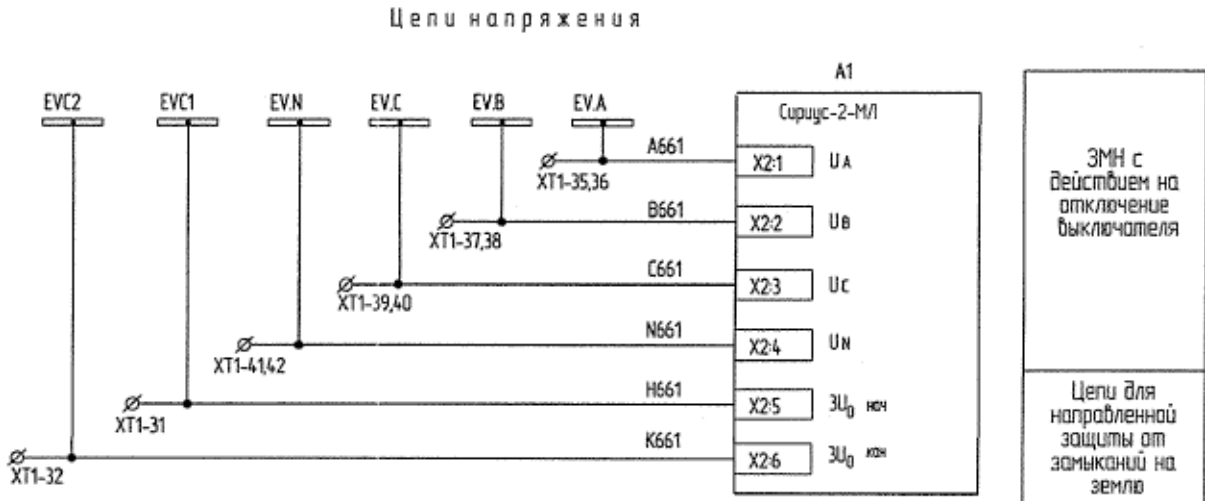


Рисунок 4. Схема подключения измерительного трансформатора напряжения

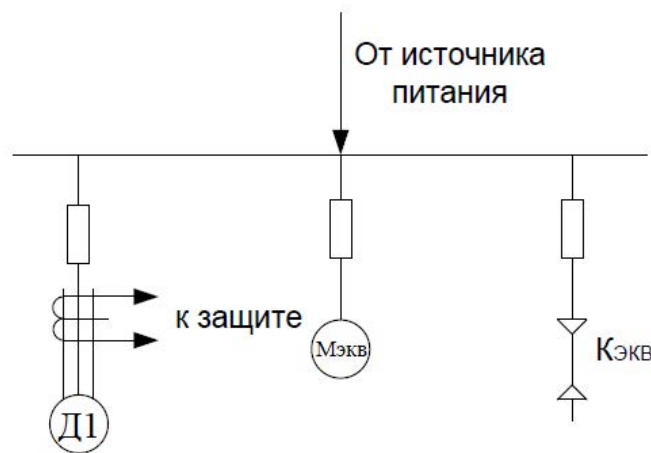


Рисунок 5. Схема сети для расчета защиты двигателя от однофазных замыканий

Рассмотрим возможность использования ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности с контролем токов промышленной частоты.

Емкостные токи элементов сети.

### *Защищаемый двигатель*

Полная мощность двигателя:

$$S_{ном.Д1} = \frac{P_{ном.Д1}}{\cos\varphi} = \frac{3}{0,88} = 3,41 \text{ МВА.}$$

Емкостной ток по эмпирической формуле

$$I_{с.Д1} = 0,017 \cdot S_{ном.Д1} = 0,017 \cdot 3,41 = 0,06 \text{ А.}$$

### *Смежные двигатели*

Полная суммарная мощность двигателей

$$S_{ном.Дэков} = \frac{P_{ном.Дэков}}{\cos\varphi_{эков}} = \frac{15}{0,8} = 18,75 \text{ МВА.}$$

Емкостной ток по эмпирической формуле

$$I_{с.Дэков} = 0,017 \cdot S_{ном.Дэков} = 0,017 \cdot 18,75 = 0,32 \text{ А.}$$

### *Кабельная сеть*

По эмпирической формуле емкостной ток

$$I_{с\Sigma} = \frac{U_{ном} \cdot L_{\Sigma}}{10} = \frac{6 \cdot 0,6}{10} = 0,36 \text{ А.}$$

Расчет защиты.

Первичный ток срабатывания защиты

$$I_{с.з.} = K_{отс} \cdot K_{бр} \cdot I_{с.Д1} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,06 = 0,18 \text{ А.}$$

Принято коэффициент отстройки  $K_{отс} = 1,2$ ; коэффициент «броска»  $K_{бр} = 2,5$  из условия выполнения защиты без выдержки времени.

Коэффициент чувствительности для случая однофазного замыкания на выводах двигателя

$$K_{\chi} = \frac{I_{с.сети}}{I_{с.з.}} = \frac{0,32 + 0,36}{0,18} = 3,7.$$

При внутреннем замыкании на выводах двигателя емкостной ток, проходящий через место включения защиты, равен сумме токов кабельной сети и смежных двигателей.

Далее рассмотрим пример расчета токовой отсечки для защиты электродвигателя. Определим номинальный ток электродвигателя:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,95 \cdot 0,89} = 285 \text{ A.}$$

Пусковой ток защищаемого электродвигателя

$$I_{пуск} = K_n \cdot I_{ном} = 6 \cdot 285 = 1710 \text{ A.}$$

Первичный ток срабатывания токовой отсечки определяем с учетом требования по отстройке от пусковых токов:

$$I_{с.з.} = K_n \cdot I_{пуск} = 1,1 \cdot 1710 = 1881 \text{ A,}$$

где  $K_n$  — коэффициент надежности.

Определим ток срабатывания реле отсечки:

$$I_{с.р.} = \frac{K_{сх} \cdot I_{с.з.}}{n_m} = \frac{1 \cdot 1881}{60} = 31,35 \text{ A,}$$

где  $K_{сх}$  — коэффициент, учитывающий схему соединения трансформаторов тока;

$n_m$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Чувствительность токовой отсечки оценивается коэффициентом чувствительности  $K_\chi$  и определяется в режиме двухфазного короткого замыкания:

$$K_\chi = \frac{I_{кз.мин}^{(2)}}{I_{с.з.}} = \frac{6000}{1881} = 3,19,$$

где  $I_{кз.мин}^{(2)}$  — минимальное значение тока двухфазного короткого замыкания на выводах электродвигателя, А.

### Вывод

В соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок, значение коэффициента чувствительности должно быть не менее 2. Однако, для обеспечения действия релейной защиты при повреждениях межвитковой изоляции желательнее, чтобы коэффициент чувствительности был не менее 3. В нашем случае чувствительность токовой отсечки обеспечена. Защита мгновенного действия с контролем тока нулевой последовательности промышленной частоты имеет достаточный коэффициент чувствительности. Вариант защиты может быть использован для защиты электрооборудования на предприятиях нефтедобычи.

### Список использованной литературы

1. Дьяков, А. Ф., Овчаренко, Н. И. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко — Москва : Издательский дом МЭИ, — 2008. — 336 с.
2. Шабад, М. А. Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле / М. А. Шабад — Москва : НТФ «Энергопресс», «Энергетик», — 2000. — 68 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Выпуск 9(21)].
3. ЗАО «РАДИУС Автоматика» Выбор установок срабатывания микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики серии «Сириус» для распределительных сетей 6-35 кВ [Электронный ресурс]. — URL: <https://erc-spb.ru/upload/iblock/9b7/9b7b99891ddd53ea7f95224f25fbbe84.pdf>
4. ЗАО «РАДИУС Автоматика» Микропроцессорное устройство защиты «Сириус-2-МЛ» Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.rza.ru/catalog/traditsionnye-ustroystva-rza-dlya-setey-3-35-kv/sirius-2-ml.php>



УДК 621.313

*Рысбаева Г. Б., Умурзакова А. Д.*

НАО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина», г. Нур-Султан,  
Республика Казахстан

## ОБЗОР СПОСОБОВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*г. Нур-Султан*

**Аннотация.** В наши дни асинхронный двигатель остается самым распространенным типом двигателей для промышленного применения. Мониторинг и управление параметрами асинхронного двигателя очень важны в технологических процессах. В этой статье будут рассмотрены существующие на сегодняшний день патенты на диагностики по мониторингу различных параметров и управлению асинхронным двигателем с использованием искусственных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** *асинхронный двигатель, мониторинг параметров, управление параметрами, методы и системы диагностики, искусственные нейронные сети.*

*Rysbayeva G. B., Umurzakova A. D.*

Non-commercial joint stock company»Kazakh Agrotechnical University», Nur-Sultan city,  
Kazakhstan

## OVERVIEW OF METHODS AND METHODS FOR MONITORING THE STATE OF AN INDUCTION MOTOR USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

*Nur-Sultan city*

**Abstract.** Today, the asynchronous motor remains the most common type of motor for industrial applications. Monitoring and control of the parameters of an asynchronous motor is very important in technological processes. This article will consider the current diagnostic patents for monitoring various parameters and controlling an asynchronous motor using artificial neural networks.

**Keywords:** *asynchronous motor, parameter monitoring, parameter control, diagnostic methods and systems, artificial neural networks.*

## Introduction

Electric motors in agriculture operate in an aggressive environment, with low-quality supply voltage. The average service life of an asynchronous motor (AM) in agriculture does not exceed three years, and up to 90% of failures occur due to damage to the stator windings. The insulation of the windings is variously affected by the presence of a chemically active medium, humidification, thermal effects during overload of AM, and vibration. The processes of insulation aging are promoted by pulse switching and atmospheric overvoltages. Other causes of failures and damage to the AM include incomplete phase modes, bearing wear, damage in the short-circuited rotor windings, and an uneven air gap between the rotor and the stator magnetic core [1].

A number of diagnostic methods for asynchronous electric motors are known (Figure 1) based on the assessment of various parameters of electric motors, their power circuits and the mechanical part of electric drives.

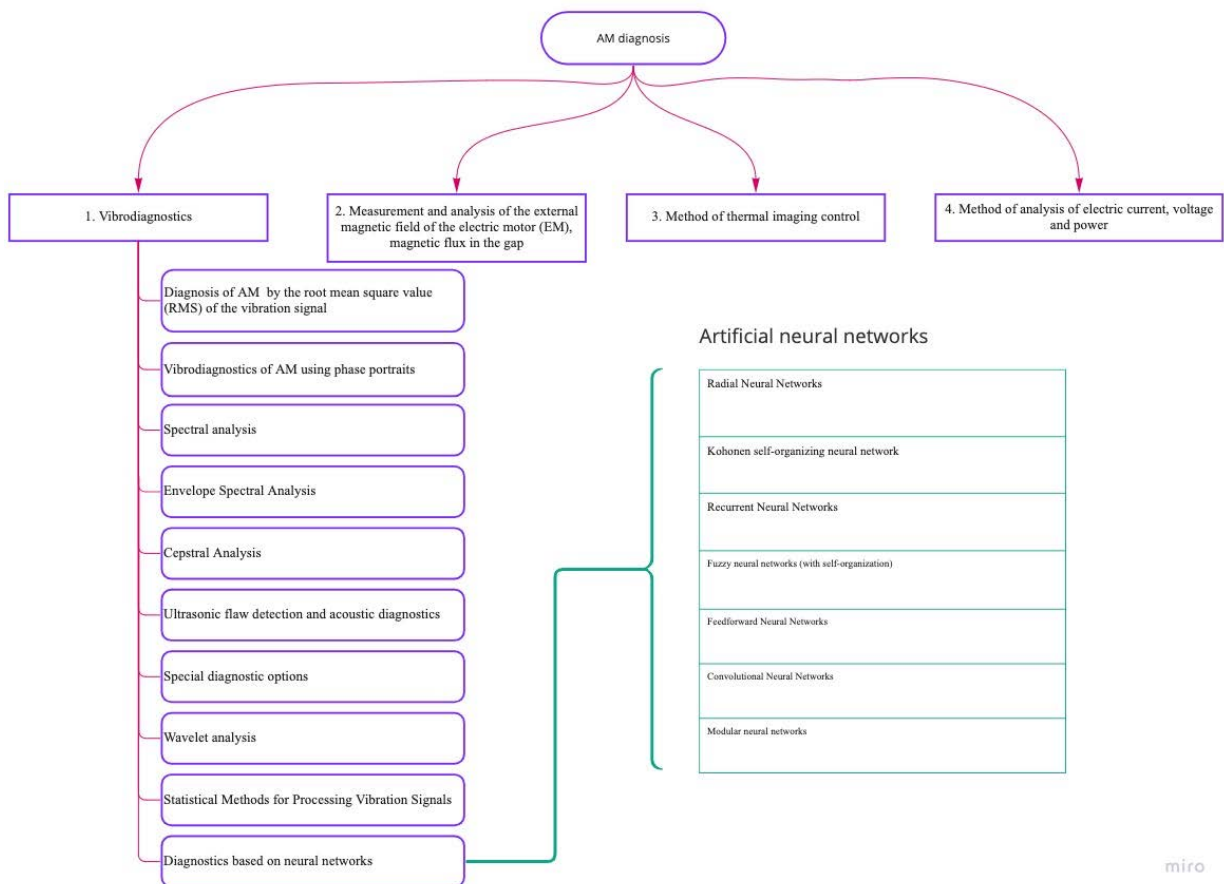


Figure 1

The above methods can be implemented using the theory of artificial neural networks (ANN). The use of the mathematical apparatus of an ANN provides an increase in the

accuracy of the diagnostic process by using existing knowledge about the operation of similar units.

In addition, the results of vibration measurement, like any other physical measurements, are subject to a degree of randomness. However, the apparatus of ANN refers to statistical mathematical methods, which makes it possible to make a diagnosis with significant random components in the processed signal.

The advantages of using this technology are high accuracy of defect detection, as well as extensive automation of the process.

The disadvantages include the complexity of implementing and training an ANN; in addition, it is also worth highlighting the low degree of unification (for each new node, it is necessary to create a completely new network and train it) [2-3].

This article discusses the patents that exist today. The review was conducted on patents of the Russian Federation and foreign countries.

A method for diagnosing mechanisms and systems with an electric drive is known, in particular, in an explosion-proof design based on the analysis of the parameters of the harmonic components of currents and voltages generated by an electric motor. The technical result is an increase in reliability, which is achieved by the fact that in a method for diagnosing mechanisms and systems with an electric drive, including recording the values of phase currents and voltages of an electric motor for a given time interval and with a given frequency, which are decomposed into harmonic components using a fast Fourier transform and measuring the amplitude and phase of harmonic components. Harmonic components are filtered, and the received signal is converted from analog to digital form. The technical condition is identified and the resource of trouble-free operation of the object being diagnosed is predicted based on the set of parameters of the harmonic components of phase currents and voltages generated by the electric motor and the dynamics of their changes.

According to the invention, an ANN is used that identifies the technical condition of an object using distortion coefficients of current and voltage curves for each time interval with the output of a result — a possible defect code. The ANN analyses and predicts the technical condition of the object using the integral damage parameter for the entire time period under study, and outputs the result of the possible value of the damage parameter of the future measurement after the same time interval.

However, there are a number of disadvantages to this approach.

For example, when determining the residual resource, only the harmonic components of the voltage generated only by the electric drive motor are analyzed, and the components generated by the supply voltage network are filtered out and not considered. Significant distortions of the supply voltage, which are irregular in nature due to changes in the operating mode of the engine, load variability, the presence of static converters, and the characteristics of the supply network negatively affect the

insulation of the equipment being diagnosed, causing its premature aging, which in turn can lead to insulation breakdown and equipment failure.

Meanwhile, the impossibility of diagnosing the mechanical component of the electric drive is traced, since the set of analyzed primary data is limited to phase currents and voltages, and the identified operational defects include only deterioration of the insulation condition, changes in the resistance of the winding wires, loop closures, interphase closures, and single-phase closures [4].

There is a known method for determining the rotational speed estimation [RU 2476983], which measures the instantaneous currents and voltages of the stator of an asynchronous motor, and simultaneously the instantaneous currents and voltages in two phases of the stator, sequentially performing three time delays of at least 6 ms, receiving current and delayed once, twice and thrice values of currents and voltages for two phases of the motor stator, using a pretrained artificial neural network. According to the experimental data for the electric motor's operation in all modes, and using the dependencies between input and output data identified by an artificial neural network during training, the instantaneous value of the evaluation of the rotational speed of the asynchronous motor rotor is determined by the associated formulas.

The disadvantage of this method is the need for preliminary training of the neural network based on experimental data of the operation of the electric motor in all modes, which is a time-consuming task. In addition, there is hardware redundancy — it is necessary to have a voltage sensor [5].

A method is known for creating a device for remote diagnostics of asynchronous electric motors, which achieves the technical result of expanding the functionality of remote diagnostics devices by simultaneously isolating electrical and mechanical damage to an asynchronous motor by analyzing the harmonic composition of currents and voltage, insulation temperature, and stator windings.

This problem is solved by the fact that the device for remote diagnostics of asynchronous electric motors contains blocks of current, voltage sensors, and a block of the insulation temperature of the stator winding and bearing temperature.

In this case, the outputs from the current and voltage sensors are connected via blocks of analog-to-digital converters to the block and output of the direct Fourier transform, a neural network unit is connected, and the outputs of the insulation temperature sensors of the stator winding of the electric motor and the temperature sensors of the bearings are connected via blocks of analog-to-digital converters to the neural network unit.

Consequently, the output of the neural network unit is connected to the communication unit interacting with the information display unit and the information storage unit [6].

A utility model is known, the task of which is to increase the reliability of the control system and diagnostics of the electric motor through the use of sensor-based and

sensorless control of the electric motor, diagnosing the operation of the electric motor and timely automatic decision making on changing its operating modes.

This problem is solved by the fact that the control and diagnostic system of the electric motor contains blocks of current and voltages of winding sensors, blocks of temperature sensors, and blocks of sensors for the vibration and temperature of the housing and bearings of the electric motor.

At the same time, the sensor outputs are connected via a signal processing unit of primary magnitude sensors containing blocks of analog-to-digital converters and direct Fourier transform, and an autonomous technical condition assessment containing a neural network.

The autonomous technical condition assessment unit is connected to the control signal generation unit; the control signal generation unit is connected to the electric motor via the amplification unit.

The disadvantage of this method is that information about the speed and control task is not used, which does not allow for full identification of the object without preliminary resource-intensive calculations of harmonic components. It is necessary to calculate the harmonic components beforehand, and the neural network classifies the malfunction according to their composition.

When determining the residual resource, only the harmonic components of the voltage generated only by the electric drive motor are analyzed, and the components generated by the supply voltage network are filtered out and not considered.

However, significant distortions of the supply voltage, which are irregular in nature due to changes in the engine operating mode, load variability, the presence of static converters, and the characteristics of the supply network, negatively affect the insulation of the equipment being diagnosed, causing its premature aging, which, in turn, can lead to insulation breakdown and equipment failure [7].

An invention is known that relates to a method and device for diagnosing an engine malfunction based on a convolutional neural network and environment.

The method includes the following steps, as shown in Figure 2.

To solve the problems a convolutional neural network is used to extract signs of vibration, which are combined with the current signs so that the classification accuracy of the fault diagnosis is effectively increased and the diagnostic time reduced [8].

According to the following invention, a method for diagnosing asynchronous motor malfunctions using a convolutional neural network is proposed.

Convolutional neural networks are characterized by learning based on vibration data measured in the normal state and one or more fault states [9].

The following invention relates to the detection of an engine malfunction using convolutional neural networks.

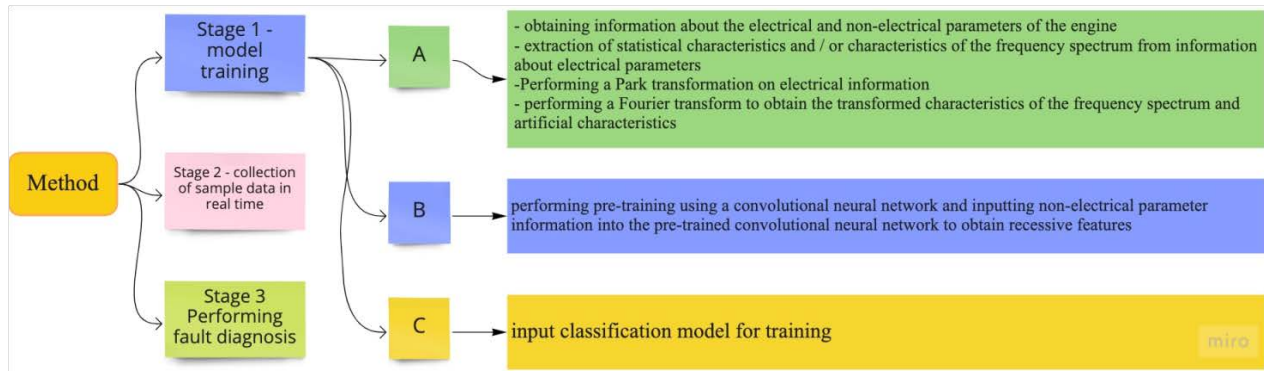


Figure 2

The method of the invention is aimed at a fast and accurate engine condition monitoring system with an adaptive implementation of one-dimensional convolutional neural networks, which inherently combines the functions of feature selection and classification into a single training body, and can directly classify input signal samples received from the motor current, which can be linear motor current data obtained at 128 points per cycle using an industrial circuit monitor.

Thus, the method can be aimed at creating an efficient system in terms of speed that can be used in real-time applications.

The method includes receiving a signal from the engine, while the signal is received while the engine is running and performing signal preprocessing, entering the signal into a one-dimensional convolutional neural network, detecting an engine malfunction based on the output of the neural network.

It should be noted that this method differs in that the preprocessing of the signal includes downsampling of the signal, filtering and normalization of the signal; the signal also includes receiving the motor current signal. A one-dimensional convolutional neural network is configured to perform multiple iterations of back-propagation and to update the weights and sensitivity to bias of a one-dimensional convolutional neural network for each iteration of back-propagation. In this regard, the detection of an engine malfunction includes the detection of an engine bearing malfunction.

The device contains:

- a processor
- a storage device and computer program code that is configured via the processor so that the device receives a signal from the engine, where the signal is received while the engine is running.

Preprocessing the signal and introducing the signal into a one-dimensional convolutional neural network leads to the detection of an engine malfunction based on the output data from the neural network. [10].

The following invention reveals an experimental simulation table for engine malfunction diagnostics based on ADXL335 and deep learning, as well as a diagnostic method.

The purpose of the present invention is to offer a simulation test bench for the diagnosis of engine malfunctions and a diagnostic method based on ADXL335 and deep learning, which uses the design of the test bench, vibration data collection, filtration, preprocessing, extraction of signs of deep learning, and a diagnostic method that implements the diagnosis of an engine malfunction.

The method includes the following steps:

- construction of a simulation experiment table for the diagnosis of engine malfunction;
- assembly of the eccentric wheel and receiving engine vibration signals by the acceleration sensor;
- performing Kalman filtering on the engine vibration signal using a lower computer;
- transfer to a higher-level computer;
- replacing the eccentric wheel and repeating the steps until five fault conditions are simulated and obtained;
- building a fault diagnosis model based on a convolutional neural network with deep learning on an upper computer;
- input of a training sample of data from five conditions of operation of a failure of a higher-level computer into a built model of failure diagnostics for training until the model converges;
- saving the fault diagnosis model;
- the eccentric wheel is randomly replaced;
- the vibration signal of the engine is collected in a new working condition;
- the engine vibration signal is entered into a trained fault diagnosis model, and classification and identification are performed in real time in the operating state of the engine.

In the design of a test bench for modeling engine malfunction diagnostics, the invention implements the modeling of rapid switching of various malfunctions using the method of rapid disassembly and replacement of various types of eccentrics, which is useful for improving the efficiency of the experiment.

It is proposed that acceleration sensor ADXL335 be used to collect the vibration signal and a new idea of solving the stable collection of the vibration signal of the engine in real time.

The invention involves preprocessing the vibration signal with a Kalman filter, which is useful for improving the accuracy of subsequent isolation and identification of signal characteristics.

The method uses a model of a convolutional neural network algorithm in the field of deep learning to identify signs and identify malfunctions of motor vibration signals, which increases the accuracy of diagnostics. [11]

Based on the review conducted by the patent, we can say that, today, issues related to the diagnosis and monitoring of asynchronous motors are relevant; moreover, the use of artificial neural networks is highly desirable, since they represent a powerful means of recognizing and predicting signals, and their learning ability makes it possible to develop adaptive protection systems and diagnostics of electric motors.

In this paper, foreign and Russian patents for inventions were considered, largely aimed at improving reliability and efficiency, as well as expanding the functionality of remote diagnostic devices. It is worth noting that Russian Federation patents do not specify the type of artificial neural network, whereas convolutional neural networks were used in foreign patents.

### **Bibliography**

1. Daineko V. A., Yurkovets Zh. G. Methods for diagnosing asynchronous electric motors in operating modes and prospects for their application / Energy and Transport, 2021
2. Shevchuk V.A., Semyonov A.S., Comparison of methods for diagnosing an asynchronous motor, International Student Scientific Bulletin No3, 2015
3. Kalinov A.P., Bratash O.V. Analysis of methods for vibration diagnostics of asynchronous motors. Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. 2012;(5):43-50.
4. RF patent No. 2009143292/28, November 23, 2009.  
A method for diagnosing mechanisms and systems with an electric drive // Patent of Russia No. 2431152. 10.10.2011. Bull. No. 28. / Kuzeev I.R., Bashirov M.G., Prakhov I.V., Bashirova E.M., Samorodov A.V.
5. RF patent No. 2011135823/07, 26.08.2011.  
A method for determining the estimate of the speed of rotation of an asynchronous motor // Patent of Russia No. 2476983. 02/27/2013. Bull. No. 6. / Glazyrin A.S., Tkachuk R.Yu., Glazyrina T.A., Timoshkin V.V., Afanasiev K.S., Grechushnikov D.V., Langraf S.V.
6. RF patent No. 2014117451/28, 04/29/2014.  
Device for remote diagnostics of asynchronous electric motors// Patent of Russia No. 147268. 27.10.2014 Bull. No. 30. / Prakhov I.V., Yumaguzin U.F., Bashirova E.M., Mironova I.S.
7. Patent of the Russian Federation No. 2019103025, 04.02.2019.



- Electric motor control and diagnostic system // Patent of Russia No. 193 341. 10/24/2019. Bull. No. 30. / Korotkov E.B., Goncharov V.O., Slobodzyan N.S.8. Ji Zhenshan; Liu Shaoqing; Wang Yong; Chen Chunhua, 2020-05-15, «Motor fault diagnosis method and device based on convolutional neural network, and medium» (China, Patent No CN111157894 (A), Xuchang Zhongke Sennirui Tech Co Ltd
9. Lee In Soo; Lee Jong Hyun; Park Jae Hyung, 2020-12-09, «Fault Diagnosis method and system for induction motor using convolutional neural network» (Korea, Patent No KR102189269 (B1)). Kyungpook Nat Univ Ind Academic Coop Found.
  10. Kiranyaz Serkan, Ince Turker, Eren Levent., 2017-12-21, «Method and apparatus for performing motor-fault detection via convolutional neural networks» (Qatar, Patent No US2017364800 (A1)), Qatar University
  11. Wang Xiaoyuan, Wang Xin, 2021-06-29 «Motor fault diagnosis simulation experiment table based on ADXL335 and deep learning and diagnosis method» (China, Patent No CN113049958 (A))

УДК 620.9(063)

*Петров В. В., Штрамель А. А., Соколова Т. Ю.*

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*г. Оренбург*

**Аннотация.** В статье рассматривается сущность такой разновидности альтернативной энергетики, как солнечная. Выявляются основные преимущества и недостатки применения различных типов солнечных электростанций.

**Ключевые слова:** *солнечная электростанция, энергетика, возобновляемые источники энергии, сетевые солнечные электростанции, автономные солнечные электростанции, гибридные солнечные электростанции.*

*Petrov V. V., Shtramel A. V., Sokolova T. Y.*

Orenburg State University, Orenburg

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT TYPES SOLAR POWER PLANTS

*Orenburg*

**Abstract.** The article discusses the essence of such a variety of alternative energy as solar. The main advantages and disadvantages of using various types of solar power plants are revealed.

**Keywords:** *solar power plant, energy, renewable energy sources, network solar power plants, autonomous solar power plants, hybrid solar power plants.*

В наши дни прослеживается большая зависимость человечества от энергетики. Во всех видах промышленности электрическая энергия является незаменимой. Но главными проблемами выработки электроэнергии традиционными методами являются: ограниченность природных ресурсов и причинение громадного вреда окружающей среде, как при их добыче, так и при генерации. В связи с этим важнейшей целью общества становится изучение возможности использования дополнительных источников энергии.

Для того чтобы альтернативная энергетика заменила традиционную, она должна быть неисчерпаемой, общедоступной и экологически чистой.

Существуют пять кардинально отличающихся друг от друга видов альтернативной энергии. В таблице 1 представлены возобновляемые источники энергии [1].

Одной из самых востребованных, перспективных и доступных на территории Российской Федерации является солнечная энергетика. В настоящее время солнечная электроэнергия самая дешевая, по сравнению с другими зелеными её видами, примерно 4,5 руб. [2] за 1 кВт·ч. При грамотном проектировании, строительстве и надлежащем техническом обслуживании солнечная электростанция способна обеспечивать электроэнергией не один десяток лет.

Существуют и широко применяются три основных типа солнечных электростанций: автономные, сетевые и гибридные.

Таблица 1. Альтернативные источники энергии

Вид	Энергия, используемая человеком	Первоначальный природный источник
Солнечная энергетика	Электромагнитное излучение Солнца	Солнечный ядерный синтез
Ветроэнергетика	Кинетическая энергия ветра	Солнечный ядерный синтез, движения Земли и Луны
Гидроэнергетика	Движение воды в реках	Солнечный ядерный синтез
	Движение воды в океанах и морях	Движения Земли и Луны
	Энергия волн морей и океанов	Солнечный ядерный синтез, движения Земли и Луны
Геотермальная энергия	Тепловая энергия горячих источников	Внутренняя энергия Земли
Биоэнергетика	Использование биомассы в различных агрегатных состояниях	Пиролиз биоматериала

### Автономные солнечные электростанции

Автономными солнечными электростанциями называют солнечные электростанции, которые не подключены к основной энергосистеме. Такие электростанции обеспечивают полную независимость от местных сетевых компаний. Основным элементом этих систем являются аккумуляторные батареи, с их помощью появляется возможность использования солнечной энергии в темное время суток [4].

В дневное время суток контролер заряда применяет всю мощность фотоэлектрических модулей для зарядки аккумуляторных батарей и снабжения электро-

приемников через инвертор батарей. В некоторых случаях в корпус инвертора встроены контролеры.

Если в какой-то момент времени автономная солнечная электростанция вырабатывает 5 кВт, а потребление мощности подключенных к этой станции электропотребителей составляет 8 кВт, то из аккумуляторных батарей будет потребляться 3 кВт.

А в те моменты, когда солнечная электростанция вырабатывает больше электроэнергии, чем потребляется в это время, то «лишняя» электроэнергия отправляется на подзарядку аккумуляторных батарей, которые в свою очередь формируют систему хранения электроэнергии.

Основной проблемой таких станций является выбор её мощности и емкости системы хранения. Это происходит из-за того, что существует разница между летним и зимним потреблением электроэнергии. При проектировании станции для летнего времени зимой мы получим недостаток электроэнергии. А при расчете станции для зимних месяцев летом мы получим обратную картину — избыток энергии. Единственным верным решением является поиск оптимального компромисса между зимним недостатком и летним избытком электроэнергии.

При строительстве автономных солнечных электростанций стоит преднамеренно рассчитать электропотребление объекта, чтобы оно максимально соответствовало производительности электростанции. Для этого можно отапливать зимой объект с помощью пеллетных каминов, а охлаждать летом внутренний воздух, используя электрические кондиционеры. Это же можно применить и для горячего водоснабжения.

В крайних случаях, например, при длительной пасмурной погоде, можно подключить переносной дизельный генератор, который быстро зарядит аккумуляторные батареи до требуемого значения.

Как правило, автономные солнечные электростанции сложнее и дороже, чем их прямые конкуренты — сетевые солнечные электростанции. Но строительство автономных систем намного дешевле и гораздо быстрее, чем процесс подключения к основной энергосистеме.

Но и не стоит забывать о том, что независимость и самостоятельность играют более важную роль, чем экономия. Собственная автономная электростанция обеспечивает финансовую защиту и уверенность в завтрашнем дне.

### **Сетевые солнечные электростанции**

Сетевыми солнечными электростанциями называют солнечные электростанции, в которых не используются аккумуляторы, такие станции напрямую подключаются к внешней сети и сокращают или абсолютно устраняют потребление электроэнергии из основной сети в дневное время. Постоянный ток от фотоволь-

таических модулей преобразуется в переменный с помощью сетевого инвертора. Также сетевой инвертор синхронизирует преобразованный переменный ток с параметрами внешней энергосистемы [5].

Принцип действия сетевых солнечных электростанций. При попадании солнечных лучей на фотоэлектрические модули сетевой инвертор начинает использовать мощность этих модулей для снабжения электропотребителей. В тех случаях, когда мощности фотоэлектрических модулей не хватает, недостающая мощность берётся из основной энергосети.

Если в какой-то момент времени сетевая солнечная электростанция вырабатывает 5 кВт, а потребление мощности подключенных к этой станции электропотребителей составляет 8 кВт, то из основной энергосети будет потребляться лишь 3 кВт.

А в те моменты, когда солнечная электростанция вырабатывает больше электроэнергии, чем потребляется в это время, существует несколько вариантов решения этой проблемы. Первый — автоматическое уменьшение мощности электростанции. Второй — экспорт «лишней» электроэнергии в основную энергосеть.

Для экспорта «лишней» мощности в основную энергосеть необходимо подписать соглашение с сетевой компанией. Основная энергосеть в таких случаях будет играть роль условного аккумулятора с безграничной емкостью, это позволяет полностью потреблять всю электроэнергию, выработанную солнечной электростанцией. Такие соглашения могут быть выгодными, если тарифы на экспорт «лишней» мощности в основную энергосистему будут выше, чем тарифы на её потребление из сети.

Достаточно выгодно потреблять «бесплатную» солнечную энергию электроприборами, работа которых не требуется постоянно, такими как кондиционер, стиральная машина и пылесос. Этот алгоритм действий очень подходит таким организациям и офисам, электропотребление которых приходится на дневное время.

Недостатком сетевых солнечных электростанций является возможность работы только при наличии напряжения в основной энергосистеме. При отключении основного питания, из соображений безопасности, сетевой инвертор отключает сетевую электростанцию для того, чтобы она подала напряжение в основную сеть и не причинила вреда электромонтерам, осуществляющим ремонтные работы на линии электропередачи.

А преимуществами являются простота, надежность, неисчерпаемость и достаточно быстрый срок возврата капитальных вложений при условии продажи «лишней» электроэнергии в основную сеть по согласованному тарифу.

Также для повышения собственного потребления солнечной электроэнергии можно заряжать аккумуляторы. Такие электростанции называются гиб-

ридными и сочетают в себе возможности сетевых и автономных солнечных электростанций.

### **Гибридные солнечные электростанции**

Гибридными солнечными электростанциями называют солнечные электростанции, в которых совмещены функции сетевых и автономных электростанций. Они напрямую подключены к основной системе и могут продолжать поддерживать напряжение при ее аварийном отключении. Также благодаря аккумуляторам увеличивается собственное использование «бесплатной» солнечной электроэнергии [3].

Точно так же, как и сетевые солнечные электростанции, гибридные станции предоставляют возможность экспорта «лишней» электроэнергии в основную энергосеть при наличии соглашения с местной сетевой компанией. Такие договоренности будут выгодными, когда тарифы на экспорт «лишней» мощности в основную энергосистему будут выше, чем тарифы на её потребление из основной сети. В тех случаях, когда ситуация противоположна, выгоднее накапливать электроэнергию в собственных аккумуляторах и использовать её в темное время суток.

Бывают и такие солнечные дни, когда собственные аккумуляторы полностью заряжены и выработка электроэнергии превосходит текущее потребление. В такие моменты следует экспортировать излишки электроэнергии в основную сеть даже по не выгодным тарифам.

Гибридные солнечные электростанции, в отличие от автономных систем, не требуют больших емкостей собственных аккумуляторов вследствие редких и кратковременных, не более нескольких часов, аварийных отключений основной энергосистемы. В индивидуальных случаях, например при длительной пасмурной погоде, можно подключить переносной дизельный генератор, который быстро зарядит аккумуляторные батареи до требуемого значения.

На этапе планирования подключения электропотребителей к основной энергосети в качестве временного решения можно построить гибридную солнечную электростанцию. Оформление всех необходимых документов на установку собственного силового трансформатора и подключение к основной энергосистеме требует больше времени, чем строительство солнечной электростанции.

В гибридных солнечных электростанциях могут применяться различные инверторы для аккумуляторов и солнечных модулей либо один общий гибридный инвертор, в корпусе которого содержится вся необходимая электроника.

При детальном сравнении сетевых, автономных и гибридных солнечных электростанций оказывается, что гибридные — совмещают в себе все плюсы сете-

вых и автономных систем и при этом они дешевле, чем автономные. Гибридные солнечные электростанции являются самым современным и универсальным типом, их можно использовать как для частного дома, так и для промышленных помещений. Такие станции обеспечивают максимально надежное и бесперебойное электроснабжение, используют экологически чистую солнечную энергию и существенно экономят финансовые затраты на электропотребление.

### Список использованной литературы

#### *Интернет-источник*

1. Андриевская А. В. Когда Россия заменит уголь и газ энергией солнца и ветра // РБК Тренды: сетевой журн. (электр. журнал.). — 2022 — URL: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/624bf29d9a7947412d66e5e5> (дата обращения: 10.04.2022).

#### *Статьи из журналов*

2. Акулова А. Ш., Штрамель А. В. Развитие «зеленой» энергетики в России : преимущества и недостатки // Международный научный журнал «Инновационная наука». — 2020. — № 11. — С. 87–89.

3. Григораш О. В., Туаев А. С., Коломейцев А. Э. Автономные системы электроснабжения на возобновляемых источниках // Сельский механизатор. — 2020. — № 7. — С. 28–29.

4. Скрыбин Г. О., Чебодаев А. В. Сетевая солнечная электростанция: перспективы использования // Научно-образовательный потенциал молодёжи в решении актуальных проблем XXI века. — №15. Декабрь, — 2019. — С. 133–136.

5. Григораш О. В., Кривошей А. А., Смык В. В. Автономные гибридные электростанции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2016. — №124. — С. 1441–1452.

УДК 62-799

***Соколова Т. Ю., Кибец А. С., Темиргалиев Р. Р.***

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

## ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СЕТЯХ С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ И ВИЭ

*г. Оренбург*

**Аннотация.** Благодаря цифровым двойникам становится возможным определение оптимального режима работы умных сетей, способов управления как всей сетью, так и отдельными энергетическими объектами. На сегодняшний день данные проблемы приобретают все большую актуальность ввиду широкого применения распределенных возобновляемых источников энергии. Цифровые двойники используют новые технологии (интернет вещей, bigdata, машинное обучение и облачные вычисления) для анализа, просмотра и проверки данных об энергообъектах, а также для получения информации, необходимой для анализа ресурса энергообъекта и оптимизации его работы.

**Ключевые слова:** *цифровые двойники, умные электрические сети, моделирование энергообъектов.*

***Sokolova T. U., Kibets A. S., Temirgaliev R. R.***

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State University», Orenburg

## OVERVIEW OF THE POSSIBILITIES OF USING DIGITAL TWINS IN NETWORKS WITH CENTRALIZED GENERATION AND RES

*Orenburg*

**Abstract.** Digital twins make it possible to determine the optimal mode of operation of smart grids, ways to control both the entire network and individual energy facilities. With every day these problems are becoming increasingly relevant due to the widespread use of distributed renewable energy sources. Digital twins use new technologies (Internet of things, «big data», machine learning and cloud computing) to analyze, view and verify data about energy facilities, as well as to obtain information necessary for analyzing the resource of an energy facility and optimize its operation.

**Keywords:** *digital twins, smart electrical grids, power facility modeling.*



## Введение

Рост популярности распределенных энергоресурсов приводит к необходимости обеспечения их эффективной работы, безопасности и надежности электроснабжения потребителей. Цифровые двойники позволяют осуществлять поиск решений этих проблем при помощи новых цифровых технологий [7]. В основе цифровых двойников лежит идея создания виртуальной модели существующего энергообъекта, наличие которой позволяет производить анализ данных, осуществлять моделирование его работы, а также проверять различные гипотезы для определения поведения объекта в теоретических и реальных ситуациях, что необходимо для настройки различных устройств управления и автоматики.

Цифровизация электрических сетей является важной ступенью на пути к снижению вредных выбросов в атмосферу, а также к более эффективному использованию энергоресурсов. Для анализа данных, получаемых с различных сенсоров энергообъекта, цифровые двойники используют различные новые цифровые технологии, что позволяет не только просматривать его состояние на данный момент, но и прогнозировать его состояние в будущем. Цифровые двойники позволяют создавать виртуальные модели распределенных энергоресурсов (наряду с другими энергообъектами, которые могли бы использоваться умными электрическими сетями) для проведения моделирования выработки, распределения и потребления энергии [8].

Цифровые двойники также могут применяться для процессов, уже существующих в энергосистемах (учет и баланс генерации и потребления, прогнозирование нагрузки, и т. д.). Все эти особенности показывают, что технология цифровых двойников является важным шагом на пути к созданию и развитию умных электрических сетей, что, несомненно, приведет к переходу энергетики на новый уровень развития. Однако стоит отметить, что важным условием развития цифровых двойников является обеспеченность электросетевых компаний серверами облачных вычислений, играющих важную роль в объединении обыкновенных электрических сетей и цифровых технологий.

Обзор в данной статье будет разделен на следующие сферы применения (согласно плану перехода к умным электрическим сетям Европейской платформы по технологиям и инновациям):

- «Модель энергообъекта» (цифровой двойник для управления и анализа производительности);
- «Модель аварии» (цифровой двойник для анализа и диагностики аварий оборудования или ошибок программного обеспечения);

- «Модель совместной работы» (цифровой двойник для поиска параметров, ведущих к оптимальному распределению энергии, максимальной эффективности и снижению издержек).

### Архитектура системы

Первым шагом в интеграции и использовании цифровых двойников является создание модели, основывающейся на значениях, полученных на реальном объекте [12, 15]. Для модели могут использоваться такие параметры, как активная и реактивная мощность, частота, сила тока и т. д. «Модель энергообъекта» строится путем использования статистических данных, а также моделей меньшего размера из областей физики и инженерных наук. Для улучшения понимания процессов, протекающих в реальном объекте, могут применяться модели дополненной реальности, используемые персоналом, обслуживающим этот объект [16].

Следующим шагом является объединение созданной модели с реально существующим объектом посредством сбора данных с различных датчиков и передачи управляющих сигналов различным устройствам. Датчики, входящие в состав интернета вещей, позволяют собирать информацию, касающуюся работы энергообъекта, а управляющие сигналы позволяют производить управление для дальнейшей оптимизации работы установки.

Третий шаг направлен на оптимизацию проводимых анализов, основанных на данных, полученных от объекта. Умная электрическая сеть способна создавать большие объемы однотипных данных, для анализа которых будут использоваться средства bigdata, а также машинное обучение [2, 3]. Данные о географическом расположении объектов и погодных условиях могут использоваться для улучшения услуг поставок электрической энергии. Традиционные методы хранения и обработки данных могут столкнуться с трудностями в связи с колоссальным объемом информации, получаемой от сети [2]. Также среди проблем можно выделить недостаточную скорость создания и передачи данных, возможную зашумленность сигналов, получаемых от объекта, а также ненадежность средств передачи этих сигналов в процессе сбора.

При работе с собранными данными достаточно адекватные модели могут раскрывать ранее неизвестные особенности в работе того или иного энергообъекта, которые можно использовать для работы других устройств в сети, улучшения работы в сети в целом или в качестве отладочных данных этого объекта. Таким образом, машинное обучение может приводить к более эффективному прогнозированию нагрузки, принятию решений и т. д. [4]. Такие алгоритмы могут применяться ко всем устройствам в сети для обеспечения повышенной надежности

и эффективности электроснабжения, а также для некоторых аспектов управления сетью (например, корректировка выработки в ответ на повышенный спрос на электроэнергию и т. д.). Машинное обучение позволяет анализировать данные в реальном времени и прогнозировать спрос на электроэнергию или её выработку. Для увеличения точности таких моделей возможно использование энергетических параметров сети (мощность нагрузки и генерации, частота и т. д.) вместе с неэнергетическими параметрами (температура воздуха, погодные условия и т. д.), которые получены после анализа симуляций «Модели энергообъекта». Также стоит отметить, что нелинейность всех систем, входящих в умную электрическую сеть, не отразится на точности получаемого прогноза [14].

Все эти шаги прделываются для оптимизации и контроля за надлежащей работой энергетических объектов и сети в целом. Созданные таким образом модели могут сравниваться с реальными объектами при решении вопроса о возможной оптимизации неоптимального режима работы энергообъекта.

### **Моделирование энергообъектов как сфера применения цифровых двойников**

Моделирование энергообъектов играет важную роль в построении умных электрических сетей, так как оно позволяет оценивать эффективность работы каждого узла, что позволяет улучшать методы управления этими сетями. В данный момент некоторые крупные промышленные компании, связанные с производством электрооборудования, проводят испытания по внедрению цифровых двойников в целях более точного управления электрическими сетями [10].

Цифровые двойники позволят создавать сложные модели для оценки ключевых показателей и поведения энергообъектов. На данный момент ведутся разработки систем моделирования конкретных состояний сети при помощи цифровых двойников, попутно применяя алгоритмы машинного обучения для оценки производительности модели. Авторы [11] создают платформу для «умного управления энергопотреблением города», использующую цифровые двойники. При помощи умных измерителей электрических параметров производится сбор данных, которые передаются в модели зданий цифрового двойника для оценки их энергоэффективности. Анализ поведения моделей цифровых двойников позволяет получать кривые спроса энергопотребления, необходимые для оптимального управления генерирующими мощностями.

В сфере производства товаров цифровые двойники позволят добиться повышенной точности расхода энергоресурсов на каждую единицу продукции, также они позволят производить оценку производительности конкретного оборудования

при помощи моделирования его работы. Цифровые двойники позволят создавать адекватные модели электрической сети и проводить моделирование для определения потенциальных факторов риска надежности электроснабжения, что позволит избежать испытаний на реальном объекте для повышения его надежности.

Разработка цифровых двойников систем ВИЭ должна производиться иначе ввиду сложности их функционирования, а также непостоянства выработки энергии [6]. Для получения электрических параметров в системах фотоэлектрических элементов создаются специальные математические модели для оценки их производительности и энергоэффективности. Таким же образом может подвергнуться оптимизации и управление ветровыми турбинами, которые воссоздаются в виде цифрового двойника, что позволит оценивать их производительность и износ. Цифровые двойники также создаются для систем хранения энергии в целях изучения их производительности для дальнейшего планирования их работы в сети (определение расписаний заряда и разряда на основе технологии машинного обучения).

Еще одной проблемой для надежного функционирования умных электрических сетей является рост числа электрических средств передвижения. Некоторые научные работы освещают пользу цифровых двойников для моделирования управления зарядом электрических средств передвижения. В одной из описанных работ умная электрическая сеть может заблаговременно определять неоптимальные сценарии работы при помощи использования сложных моделей и оптимизировать распределение электроэнергии между зарядными станциями. В других научных работах цифровые двойники используются для моделирования большого числа электрических средств передвижения с целью оптимизации времени их зарядки. Для создания моделей используются такие параметры, как: энергопотребление, емкость аккумуляторов и частота зарядок. Для определения оптимального расположения зарядных станций для электрических средств передвижения также используются различные методы моделирования с использованием оптимизационных моделей.

Широко используемым подходом также является использование семантических сетей и онтологий (набор моделей для использования в какой-либо области), что позволяет выстраивать многоуровневую архитектуру умных электрических сетей, включающих различные устройства. Иерархические структуры, получаемые из онтологий, используются для моделирования интересующих параметров сети (графики нагрузки конкретного потребителя, оптимальное расположение устройств в сети и т. д.). Использование семантических сетей для моделирования объектов энергетики позволяет обобщать решения, получаемые в ходе симуляции, что позволяет использовать их в других сферах энергетики и умных сетей.

## **Моделирование аварийных режимов и диагностика систем безопасности как одна из сфер применения цифровых двойников**

С ростом сложности умных электрических сетей возрастает и риск появления аварийного режима работы этой сети, который вызван нарушением работы одного из ее компонентов [1]. Такие аварии могут вызывать нестабильную работу сети, проблемы с распределением электроэнергии и в конце концов нарушение электроснабжения большого числа потребителей. Наибольшую эффективность в борьбе с такими режимами показала своевременная диагностика объектов электрических сетей. Также стоит отметить, что к аварийным режимам, помимо случайных явлений и износа оборудования, могут приводить природные катаклизмы и кибератаки.

Цифровые двойники могут использоваться для определения возможных мест аварии, проблем с безопасностью сети, а также корректирующих действий для нивелирования ранее описанных проблем. Модели, основывающиеся на машинном обучении, могут опознавать возможные угрозы для стабильной работы системы, а модели определения переходных процессов позволят предсказывать возможные аварии. Цифровые двойники сетевых накопителей могут быть созданы путем слияния моделей, основывающихся на машинном обучении, и физических моделей постепенного износа батарей. Полученный цифровой двойник позволит не только определять будущие аварийные ситуации, но и оптимизировать использование накопителя, а также увеличить срок его службы [5]. Цифровые двойники также могут использоваться для моделирования неэнергетических систем. Например, цифровой двойник трансмиссии ветровой турбины, созданный для определения возможных мест аварии, представлен в [9]. Помимо определения возможных аварий, цифровые двойники осуществляют помощь в разработке методик техобслуживания, позволяющих значительно увеличить ресурс энергообъектов.

При проведении обзора стандартов и систем обеспечения безопасности электрических сетей для повышения надежности предполагается использование цифровых двойников. Цифровые двойники уже использовались для предотвращения кибератак на электрические сети [17] и хорошо показали себя для улучшения надежности умной сети, подверженной кибератакам (распределенный отказ и задержка пакетов).

### **Применение цифровых двойников при управлении сетью**

Проблема сложности энергосистемы решается путем оптимизации слияния больших систем с подсистемами при помощи использования цифровых двой-

ников подсистем. Авторы [13] предлагают интегрированную энергосистему для оценки влияния оборудования, динамически подстраивающегося под спрос на системы распределения энергии. Модель построена на основе подхода «система из систем», в то время как аппаратная часть, связанная с моделью, использовалась для запуска и управления симуляцией.

Цифровые двойники могут использоваться для уточнения действий автоматики сети в реальном времени с целью оптимизации энергопотребления, уменьшения издержек и увеличения энергоэффективности. При работе большого количества электрических микросетей объединение их цифровых двойников и использование таких технологий, как блокчейн, позволит заключать умные контракты для улучшения производительности и управляемости сети в целом.

Цифровые двойники для зданий позволят оптимизировать объем потребления и эффективность возобновляемых источников электроэнергии. В этот цифровой двойник входят модели генерации и использования тепловой и электрической энергии, а также анализа затрат для улучшения энергоэффективности. Цифровые двойники могут использоваться и для симуляции систем тепло- и холода-снабжения зданий.

### **Вывод**

Цифровые двойники имеют много особенностей, необходимых для управления умной электрической сетью, однако методология создания моделей и использования этих двойников для слияния их с существующими сетями пока не выработана. Рассмотренные статьи направлены на разработку конкретного аспекта цифровых двойников для различных сфер энергетики, а не на совместную работу их в одной большой сети.

Нетрудно заметить, что большая часть статей по данной теме опубликована за последние несколько лет, поэтому стоит сказать, что тема цифровых двойников еще находится на стадии развития. Также стоит отметить, что и технологии, на которых основываются цифровые двойники, также являются довольно новыми. Таким образом, на данный момент полное соответствие компьютерных моделей их физическим объектам все еще остается недостигнутой целью.

### **Список использованной литературы**

1. Кобец Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова — Москва : ИАЦ Энергия, 2010. — 208 с.

2. Крылов, В. В. Большие данные и их приложения в электроэнергетике от бизнес-аналитики до виртуальных электростанций [Электронный ресурс]. / В.В. Крылов, С.В. Крылов. — Режим доступа: <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/0evvh5w2oq/direct/162481428>.
3. Могиленко А. В. Российское энергетическое агентство Минэнерго России. Искусственный интеллект: методы, технологии, применение в энергетике. Аналитический обзор. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/2f9/2f9942ed69077878d3421e1ba259312c.pdf>.
4. Семенова, Н. Г. Математические модели частных критериев и их программная реализация в оценке принимаемого решения по развитию системы электроснабжения промышленного района города / Н. Г. Семенова, А. Д. Чернова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2016. — № 4. — С. 94—99.
5. Статья «Цифровые двойники и проектирование аккумуляторов на основе численного моделирования» проекта «COMSOL» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/digital-twins-and-model-based-battery-design/>.
6. Страница проекта «Цифровой двойник ВИЭ» портала «INFOPRO» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.info-pro.ru/otraslevye-resheniya/tsifrovoy-dvoynik-vie/>.
7. Страница «Цифровые двойники: не просто модный тренд» проекта «COMSOL». [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/digital-twins-not-just-hype/>.
8. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. / М-во энергетики Рос. Федерации. — Москва — 64 с. — Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/15357>.
9. Abdulrahman, O. O. Smart grids security challenges: Classification by sources of threats // O. O. Abdulrahman, W. M. Mohd, M. L. Raja // Journal of Electrical Systems and Information Technology [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2314717218300163?via%3Dihub>.
10. Digital twins and simulations. Review. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A3437&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>.
11. Francisco, A. Smart city digital twin-enabled energy management: Toward real-time urban building energy benchmarking / A. Francisco, N. Mohammadi, J.E. Taylor.
12. Grieves, M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication / M. Grieves // ООО «Michael Grieves»: Мельбурн, Флорида. — 2014.

13. Mittal, S. A system-of-systems approach for integrated energy systems modeling and simulation / S. Mittal [идр.] // Proceedings of the Conference on Summer Computer Simulation. — 2015.
14. Patil, B.V. «Optimal nonlinear model predictive control based on Bernstein polynomial approach» [Электронный ресурс]. / B. V. Patil, K. V. Ling and J. M. Maciejowski // 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC). — 2017, Страницы 4363-4369. — Режим доступа: [https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/279143/Bhagyesh\\_CDC\\_4-09-17.pdf?sequence=1](https://www.repository.cam.ac.uk/bitstream/handle/1810/279143/Bhagyesh_CDC_4-09-17.pdf?sequence=1).
15. Pettey, C. Prepare for the Impact of Digital Twins / C. Pettey // Gartner: Stamford. — 2017.
16. Qiu, C. Digital assembly technology based on augmented reality and digital twins: a review / Chan Qiu [идр.] // Virtual Reality & Intelligent Hardware, Том 1, Выпуск 6. — 2019. — Страницы 597-610.
17. Saad, A. On the Implementation of IoT-Based Digital Twin for Networked Microgrids Resiliency Against Cyber Attacks / A. Saad, S. Faddel, T. Youssef and O. A. Mohammed // IEEE Transactions on Smart Grid, Том 11, выпуск 6, страницы 5138-5150. — 2020.



УДК 621.314.572

*Домахин Е. А., Котин Д. А., Вильбергер М. Е., Ляпин Н. Ю.*

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ БЕЗУДАРНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕЖДУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ И ПИТАЮЩЕЙ СЕТЬЮ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Алгоритм предназначен для компьютерного исследования систем высоковольтного промышленного электропривода. Программа позволяет реализовать алгоритм безударного переключения высоковольтного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором с питанием от многоуровневого преобразователя частоты. Разработанный в данной программе алгоритм позволяет выполнить синхронизацию напряжений питающей сети и выходного напряжения многоуровневого преобразователя частоты по модулю, фазе и частоте.

**Ключевые слова:** *высоковольтный асинхронный двигатель, безударное переключение, преобразователь частоты.*

*Domakhin E. A., Kotin D. A., Vilberger M. E., Lyapin N. Y.*

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk

## ALGORITHM OF CONTROL ACTION CALCULATION FOR HIGH VOLTAGE INDUCTION MOTOR SOFT SWITCHING BETWEEN THREE PHASE MAINS AND FREQUENCY CONVERTER

*Surgut*

**Abstract.** The algorithm is intended for computer research of high-voltage industrial electric drive systems. The program allows you to implement an algorithm for soft switching of a high-voltage asynchronous electric motor with a squirrel-cage rotor powered by a multilevel frequency converter. The algorithm developed in this program allows you to synchronize the power supply of the mains and the output voltage of the multilevel frequency converter by magnitude, phase and frequency.

**Keywords:** *highvoltage induction motor, soft switching, frequency converter.*

В последнее время большое распространение получил высоковольтный регулируемый электропривод (ЭП) для регулирования работы механизмов большой мощности, таких как насосные агрегаты, компрессорные установки, дымососные установки и др. В схемах питания высоковольтных электроприводов применяется ряд решений, среди которых многоуровневые преобразователи частоты, выполненные по каскадной схеме с H-мостами. Как правило, указанные типы механизмов выполняют работу в составе группового электропривода, с питанием каждого электродвигателя от индивидуального преобразователя частоты [1]. Довольно часто данные механизмы работают в номинальном режиме, при этом параметры выходного напряжения преобразователя частоты близки к параметрам сетевого напряжения. Данные особенности, во-первых, значительно повышают капитальные затраты при конструировании групповых высоковольтных электроприводов, во-вторых, в случае длительной работы электропривода в номинальных режимах работы энергоэффективность при питании электродвигателя от преобразователя частоты ниже, чем в случае питания напрямую от сети [2]. Исключение указанных недостатков возможно при организации схемы питания электропривода насосной станции по схеме, приведенной на рисунке 1.

При необходимости регулирования производительности насосного агрегата (НА), питание асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗР) выполняется от многоуровневого преобразователя частоты с каскадным включением H-ячеек (МПЧ), при замкнутом контакторе МПЧ КМ2 (контактор сети КМ1-разомкнут), режим работы ЭП регулируется. По достижению номинального режима работы АДКЗР может быть переведен на питание от сети размыканием контактора КМ2 и замыканием контактора КМ1. В случае необходимости повышения общей производительности насосной станции в работу от МПЧ может быть введен дополнительный насосный агрегат НА2 с приводом от АД2 с включением контактора КМ4 (КМ3-разомкнут). По достижению электроприводом НА2 номинального режима работы АД2 переводится на питание от сети включением контактора КМ3. Данный алгоритм и схема питания может применяться в случае насосной станции, состоящей из N агрегатов. Для повышения показателей качества выходного напряжения МПЧ в случае питания АДКЗР через кабельную линию (КЛ) в схеме применен синусный фильтр (СФ).

В случае необходимости снижения общей производительности насосной станции алгоритм работает в обратном направлении.

Для переключения АДКЗР между выходом преобразователя частоты и сетью необходима разработка алгоритмов переключения. Проблема при выполнении переключения АДКЗР может заключаться в том, что переключение АДКЗР в произвольный момент времени между сетью и МПЧ может быть причиной значительных ударных токов, в кратное число раз превышающих номинальное значение тока

электродвигателя. Для выполнения безударного переключения необходимо выполнение согласования выходного напряжения МПЧ с напряжением сети по следующим параметрам: амплитуда, частота, фаза [3, 4]. Только при согласовании данных параметров в допустимых пределах возможно безударное переключение, не приводящее к броскам тока электродвигателя, как следствие, не приводящее к броскам крутящего момента АДКЗР [5, 6].

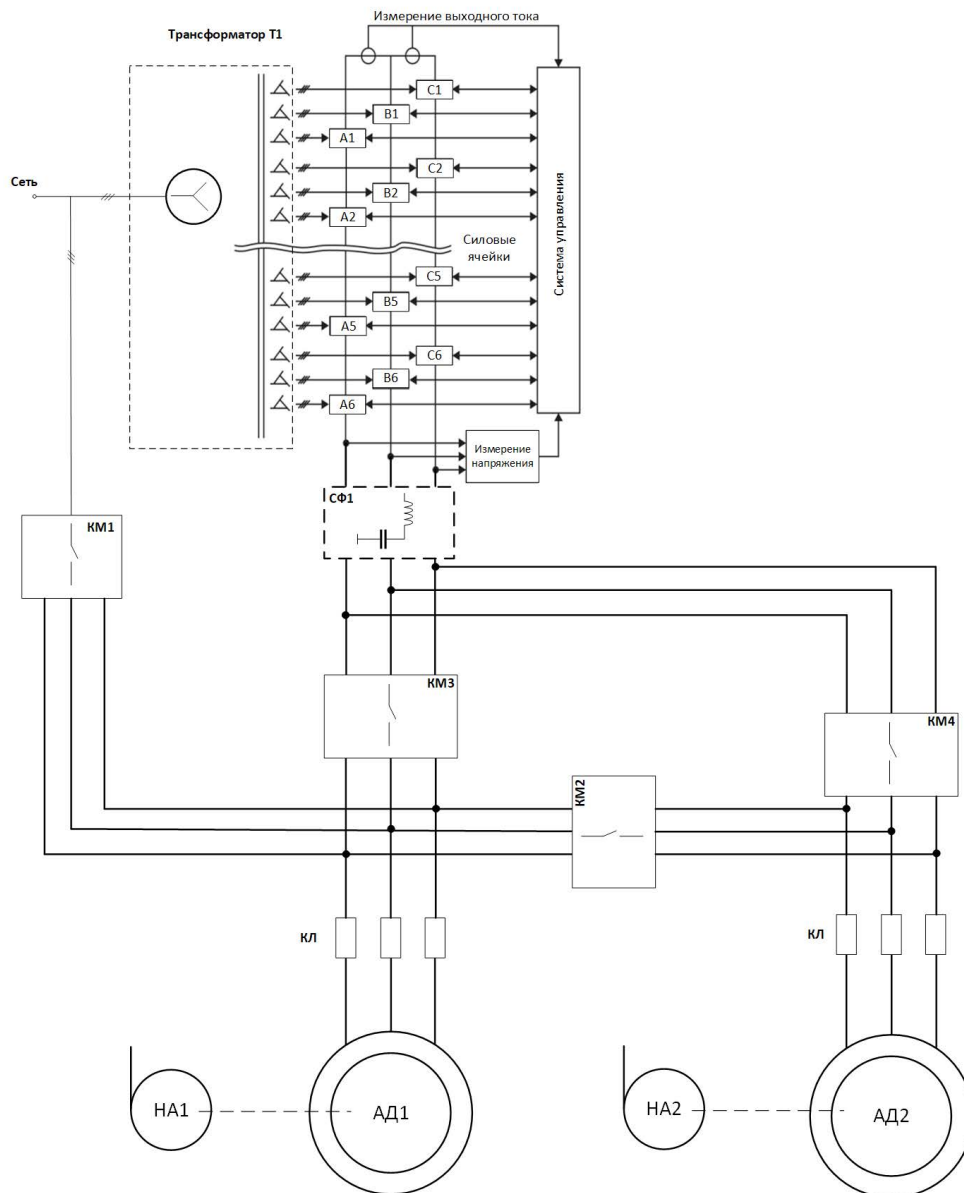


Рисунок 1. Функциональная схема насосной станции

На рисунке 2 приведена блок-схема предлагаемого алгоритма синхронизации напряжений МПЧ и сети. Алгоритм синхронизации выполняет проверку условий синхронизации амплитуды МПЧ и сети, ( $U_c$ ,  $U_{пч}$  в — напряжения сети и МПЧ

соответственно). В случае, если условие равенства не выполняется, регулятор модуля напряжения (РМ) выполняет компенсацию рассогласования амплитуд за счет изменения выходного значения на величину  $\Delta U^{PM}$ . После выполнения согласования амплитуд выходного напряжения МПЧ и сети алгоритм переходит к выполнению синхронизации фаз выходных напряжений МПЧ и сети ( $\varphi_c, \varphi_{мпч}$  — фазы напряжений сети и МПЧ соответственно). Процесс синхронизации фаз считается завершенным в случае равенства нулю проекции вектора МПЧ на поперечную ось  $oq$  ( $U_{мпчq}^{зад}$ ), системы координат  $d-q$ , совмещенной с вектором напряжения сети по оси  $od$ . В случае выполнения всех условий синхронизации алгоритм формирует команды на отключение контактора МПЧ и включение контактора сети.

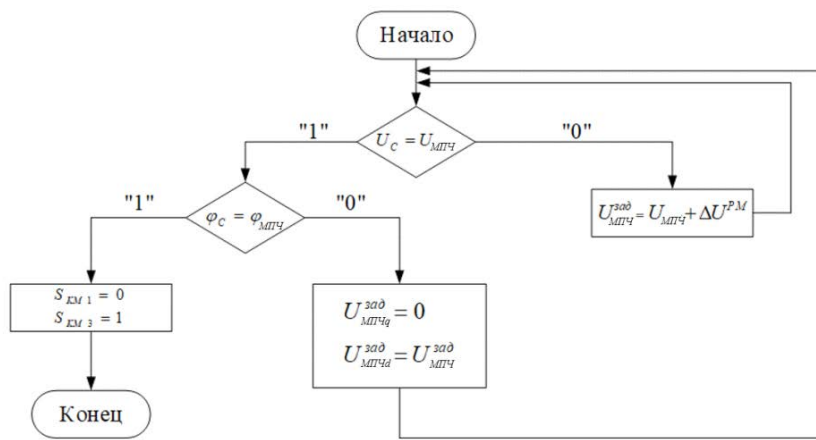


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма синхронизации напряжений МПЧ и сети

На рисунке 3 приведена структурная схема компьютерной модели алгоритма синхронизации напряжений МПЧ и напряжения сети. На рисунке 4 — осциллограмма выходного напряжения многоуровневого преобразователя частоты, выполненного по схеме с каскадным включением H-мостов.

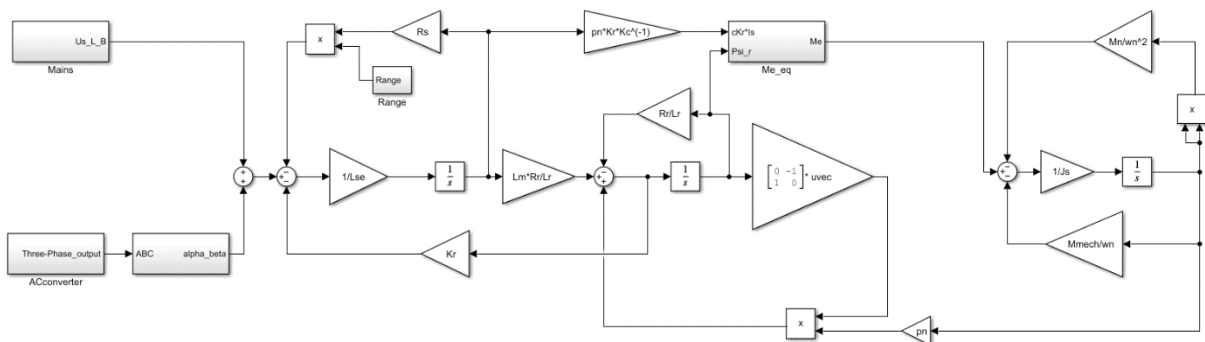


Рисунок 3. Структурная схема алгоритма синхронизации напряжений сети и МПЧ

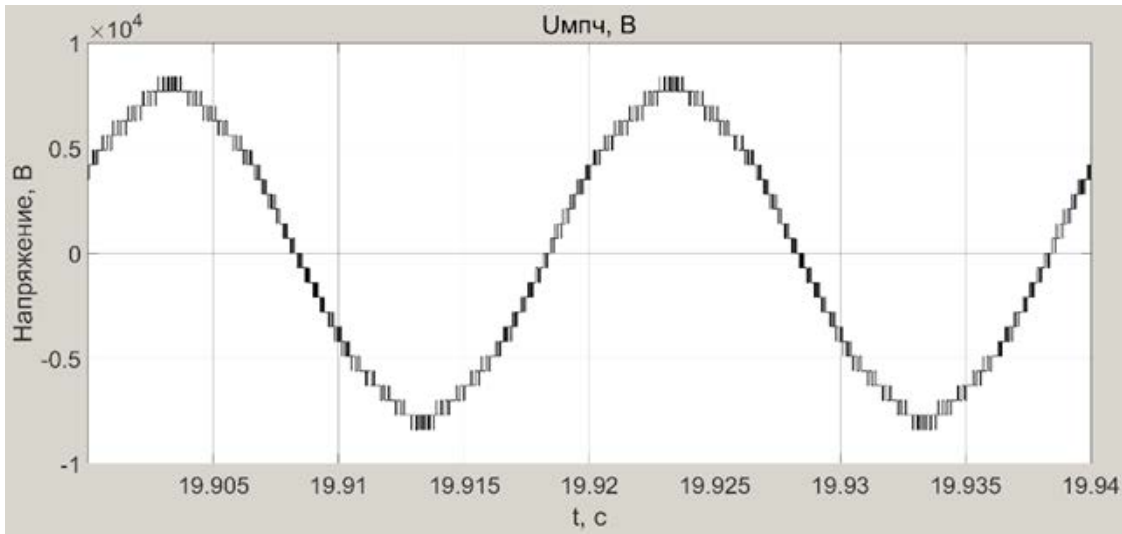


Рисунок 4. Выходное напряжение многоуровневого преобразователя частоты

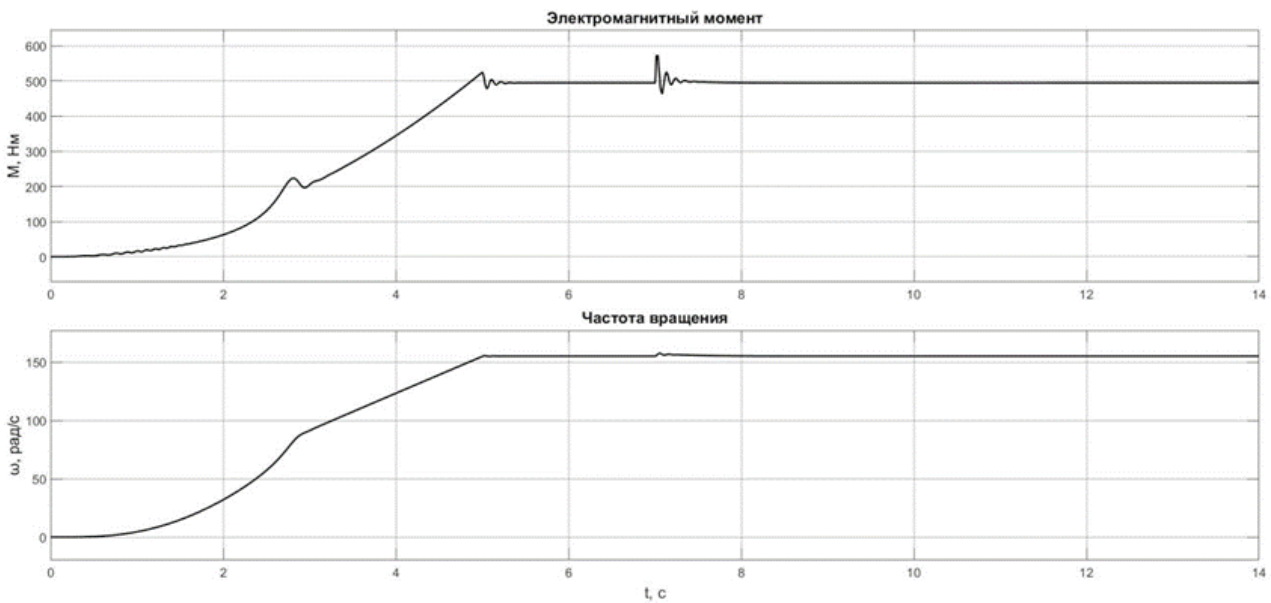


Рисунок 4. Переходные процессы при выполнении безударного переключения

Проведенный анализ, выполненный в разработанной имитационной модели, подтверждает отсутствие бросков тока, электромагнитного момента, скорости, а соответственно, технологических параметров. Разработанный алгоритм может применяться как в структуре с одним приводным двигателем, выполняя перевод АДКЗР на сеть, при достижении им номинального режима работы, так и в структуре группового частотного электропривода на базе АДКЗР, позволяя выполнять плавное регулирование технологического параметра (насосные станции, газоперекачивающие станции).

### Список использованной литературы

1. Andries J. H. Nel, Deon C. Arndt, Jan C. Vosloo, Marc J. Mathews/ Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines // *Journal of Cleaner Production*. — Volume 232. — 2019. — Pages 379-390.
2. Maheswari K. T., Bharanikumar R., Arjun V., Amrish R., Bhuvanesh M. A comprehensive review on cascaded H-bridge multilevel inverter for medium voltage high power applications // *Materials Today: Proceedings*. — Volume 45, Part 2. — 2021. — Pages 2666-2670.
3. Rossmann W. C. and Ellis R. G. Retrofit of 22 pipeline pumping stations with 3000-hp motors and variable-frequency drives // *IEEE Trans. Ind. Appl.* — vol. 34. no. 1. — Jan./Feb. 1998. — pp. 178–186,
4. Menz R. and Opprecht F. Replacement of a wound rotor motor with an adjustable speed drive for a 1400 kW kiln exhaust gas fan // in *Proc. 44<sup>th</sup>IEEE IAS Cement Ind. Tech. Conf.*, 2002. — pp. 85–93.
5. Hong Xinyu, Zhu Changqing, An Shu, Zhao Youcheng. Simulation analysis of transient output characteristics of inverter with asynchronous motor load based on second-order filtering link. — *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 49, 2022.
6. Ponnaluri S., Krishnamurthy V. and Kanetkar V. Generalized system design and analysis of PWM based power electronic converters // *Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Fifth IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial Applications of Electrical Energy (Cat. No.00CH37129)*, 2000. — pp. 1972-1979 — vol.3.

УДК 537.22

**Жураев М. Р., Евдокимов А. А., Рахматулин Р. М.**

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВЕТРЯНЫМ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье приведен анализ моделирования сети электроснабжения с ветряным электрическим генератором для электроснабжения потребителей электрической энергии удаленных районов, не имеющих возможности подключения к Единой энергетической системе России. Исследованы результаты моделирования при различных значениях подключенной нагрузки, выявлены конструктивные недостатки, влияющие на эффективную выработку электрического тока, и рассмотрена оптимальная нагрузка ветрогенератора.

**Ключевые слова:** *потребитель электроэнергии, ветровая электрическая установка, синхронный генератор, постоянные магниты.*

**Zhuraev M. R. Evdokimov A. A.**

Surgut State University, Surgut

## RESULTS MODELING

*Surgut*

**Abstract.** The article analyzes the modeling of a power supply network with a wind power generator for power supply to consumers of electrical energy in remote areas that do not have the ability to connect to the Unified Energy System of Russia. The results of modeling for various values of the connected load are studied, design flaws that affect the efficient generation of electrical current are identified, and the optimal load of the wind generator is considered.

**Keywords:** *electricity consumer, wind power plant, synchronous generator, permanent magnets.*

В настоящее время развитие промышленности и добычи полезных ископаемых на территории Российской Федерации не собирается останавливаться, все больше и больше наращивая свои электроэнергетические запросы. Территория России

огромна, и большое количество потребителей, включая гражданское население, не присоединено к Единой энергетической системе, из-за чего все чаще поднимается вопрос о глобальном энергетическом объединении. Основная задача — обеспечение доступности дешевой электроэнергии для каждого потребителя. Однако питание удаленных нагрузок в регионах с недостаточно развитым электросетевым хозяйством, таких как Сибирь, Дальний Восток и Кавказ, рационально и выгодно осуществить от местных источников энергии. Большие территории, малая потребительская способность и сложный ландшафт делают сооружение необходимой электросетевой инфраструктуры нерентабельным.

На сегодня единственный существующий источник получения электроэнергии в таких условиях — это дизельные электрические станции. Однако дизельное топливо постоянно дорожает, его доставка может быть затруднена, а моторесурс установок истощается, что в совокупности выливается в большую себестоимость 1 кВт·ч энергии, достигающую в некоторых областях 40 рублей. Такая цена значительно повышает эксплуатационные затраты предприятий данных регионов, и они становятся экономически невыгодными.

Один из способов решения данной проблемы, как говорилось ранее, — создание местных источников электроэнергии. В качестве решения перспективным направлением в этом вопросе является сооружение ветряных источников электроэнергии [1].

Исследование сети с ветрогенератором производилось в среде динамического моделирования MatLab Simulink. В качестве модели ветрогенератора использовался блок Ветровой турбины и Синхронного генератора с постоянными магнитами (далее СГПМ).

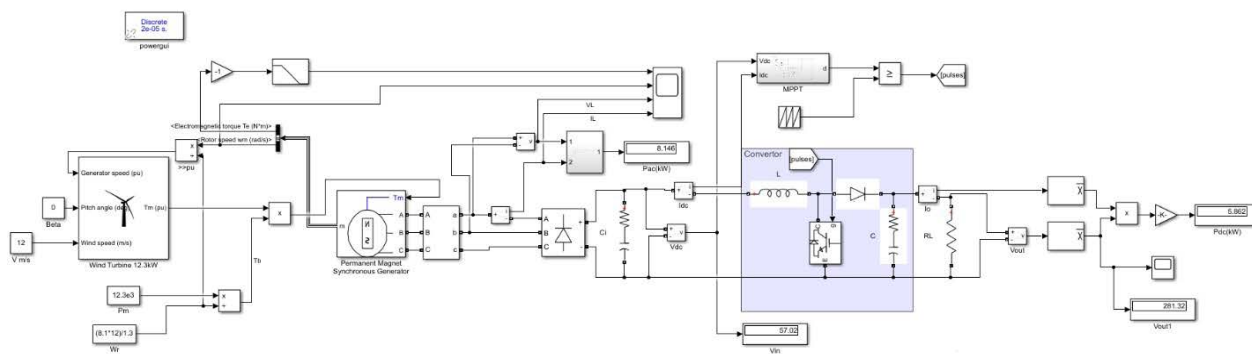


Рисунок 1. Полная схема моделируемой сети

Для моделирования в качестве исходных данных ветряной турбины взяты номинальная выходная механическая мощность 12,3 кВт, а скорость ветра — по-



стоянные 12 м/с . Синхронный генератор на постоянных магнитах был выбран с типом ротора с явным полем.

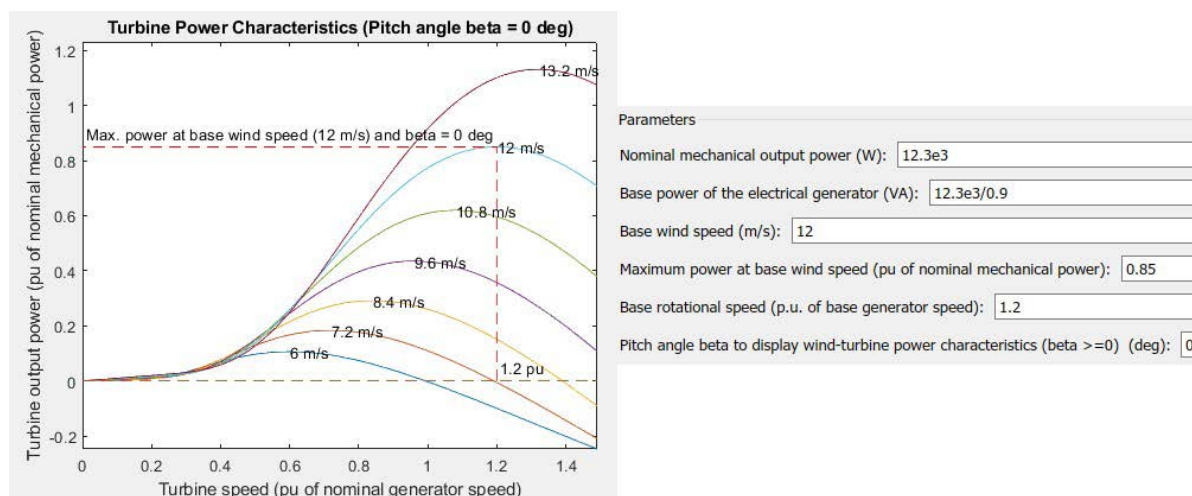


Рисунок 2. Параметры ветровой турбины и график выходной мощности от скорости вращения в относительны единицах при установленной скорости ветра

По окончании симуляции получены данные по работе разработанной модели с нагрузкой в 13,5 Ом. Значение вырабатываемой активной мощности ветряной установки  $\approx 8,146$  кВт. После преобразование энергии значение активной мощности  $\approx 5,862$  кВт. Постоянное напряжение в устранившемся режиме удерживает значение на уровне  $\approx 280$  В.

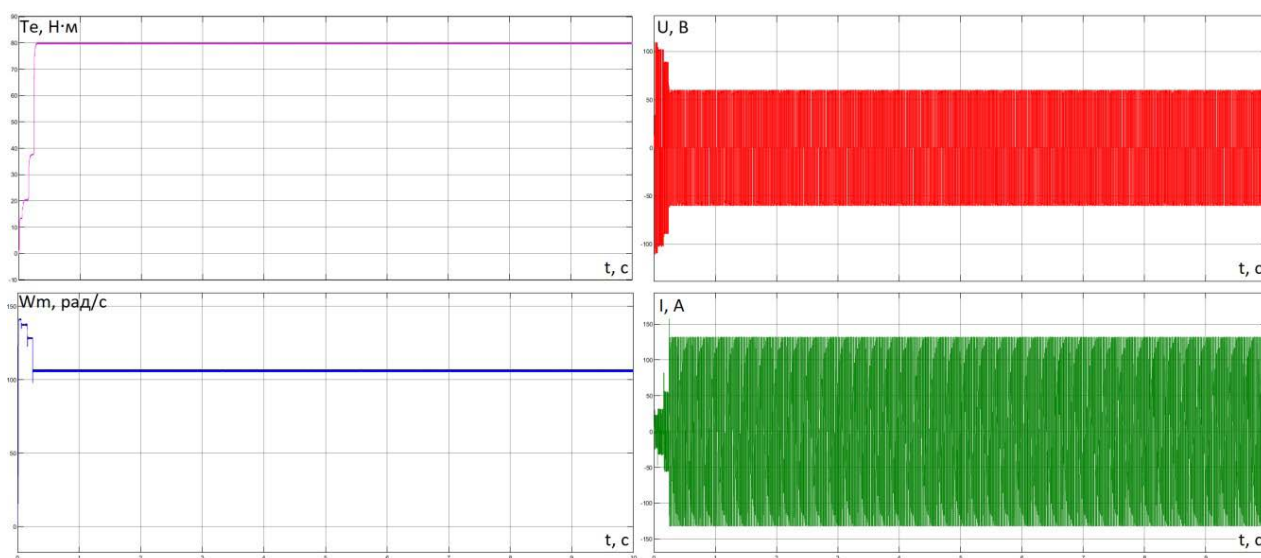


Рисунок 3. Графики характеристик электромагнитного момента  $T_e$ , напряжения  $U$ , тока  $I$  и частоты вращения ротора  $W_m$  на выходе ветрогенератора с активной нагрузкой 13,5 Ом

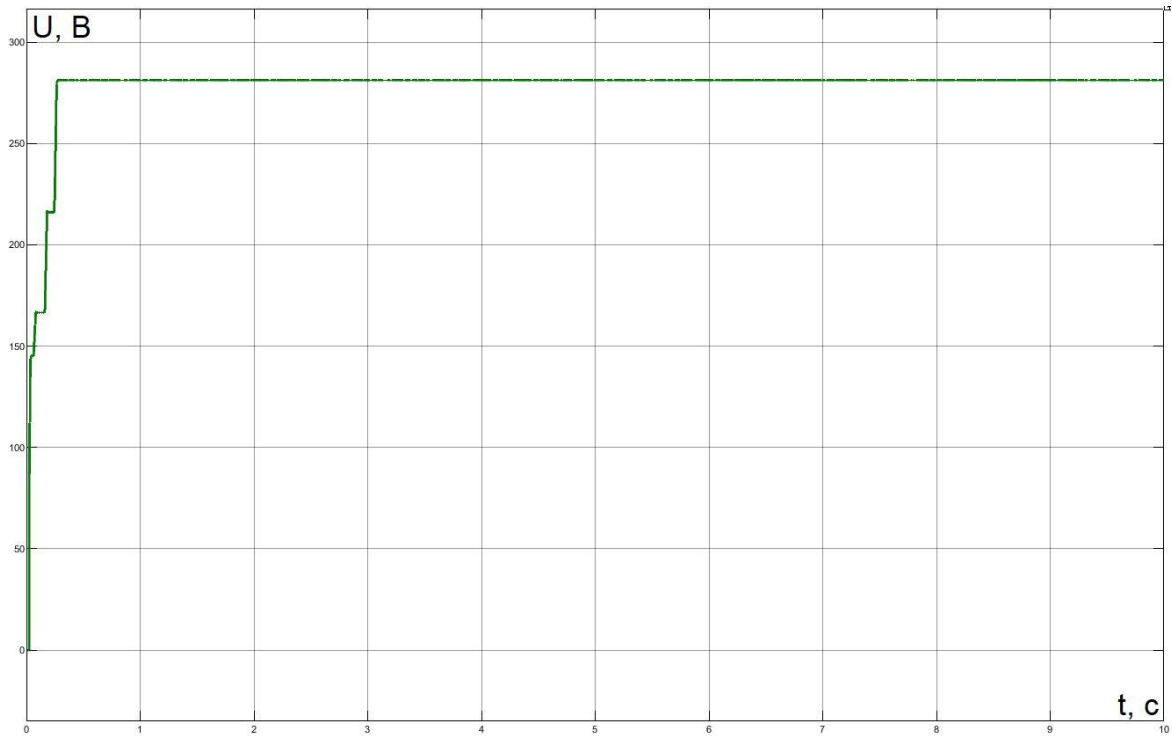


Рисунок 4. График постоянного напряжения  $U$  после преобразования

Результат моделирования разработанной схемы с нагрузкой в 13,33 Ом:

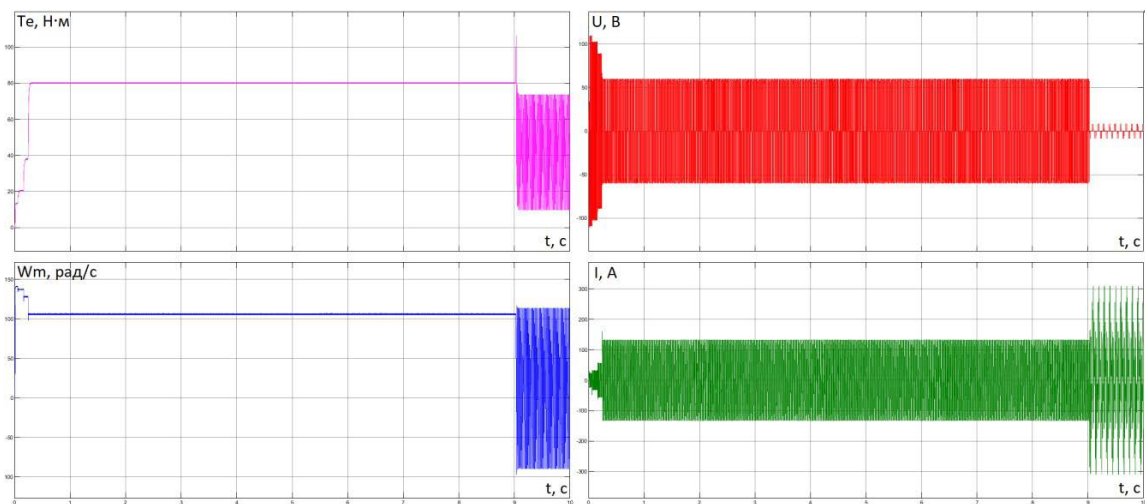


Рисунок 5. Графики характеристик электромагнитного момента  $T_e$ , напряжения  $U$ , тока  $I$  и частоты вращения ротора  $W_m$  на выходе ветрогенератора при нагрузке в 13,33 Ом

Можно сделать вывод, что при достижении минимально возможной подключаемой нагрузки генератор становится недогруженным и с течением времени процессы выработки электрической энергии выходит из строя.

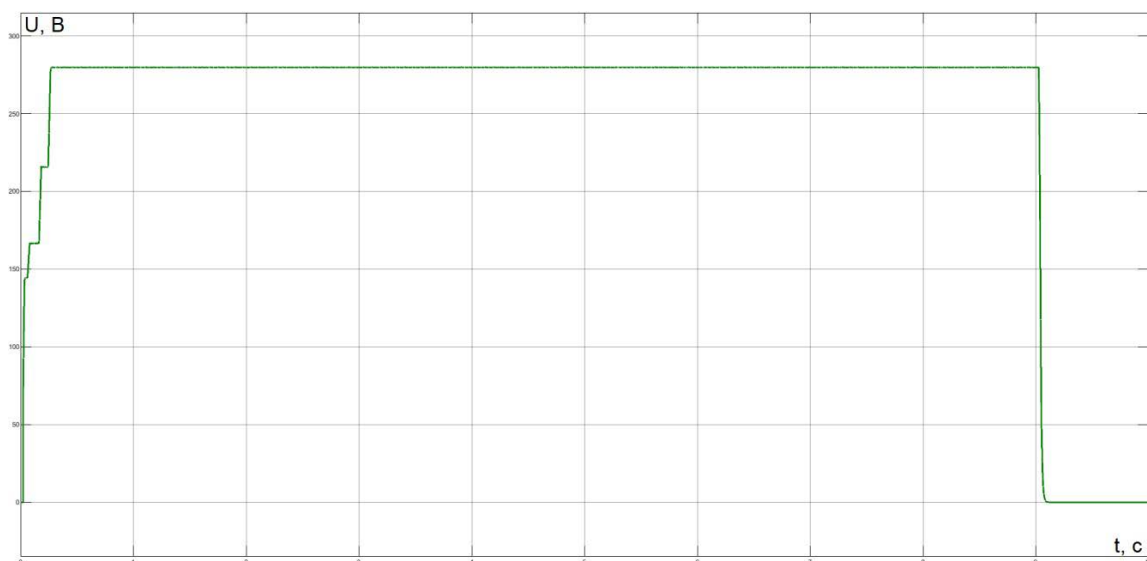


Рисунок 6. График постоянного напряжения  $U$  после выпрямления

Результат моделирования схемы рисунок 1 с нагрузкой в 54,5 Ом:

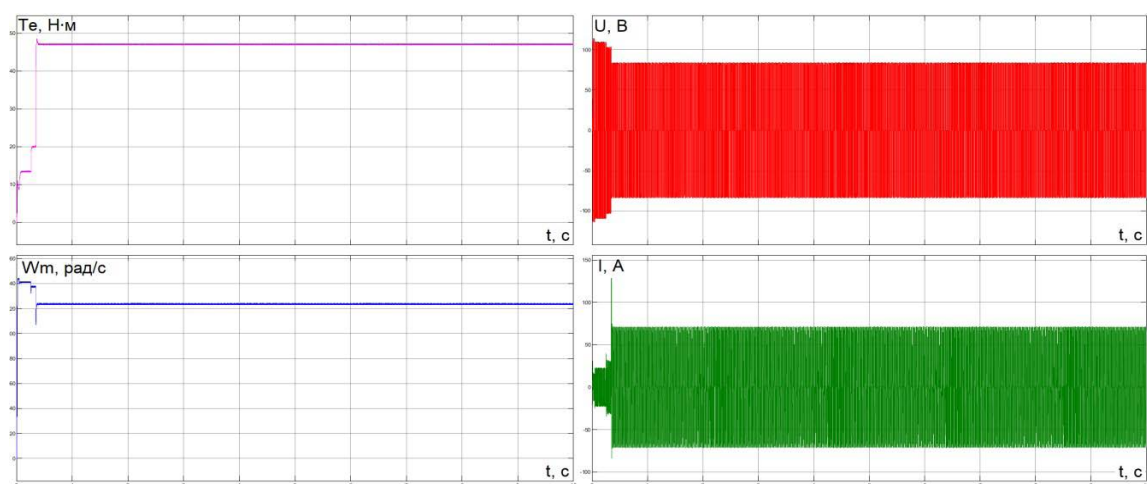


Рисунок 7. Графики характеристик электромагнитного момента  $T_e$ , напряжения  $U$ , тока  $I$  и частоты вращения ротора  $W_m$  на выходе ветрогенератора с нагрузкой равной 54,5 Ом

При увеличении нагрузки выходные с ветрогенератора параметры останутся неизменными, кроме значения вырабатываемой активной мощности  $\approx 5,815$  кВт.

Напряжение после преобразования увеличится и в установившемся режиме достигнет максимально заданного МРРТ-контроллером  $\approx 399,2$  В. Активная мощность колеблется в значении  $\approx 2,923$  кВт.

Можно сделать вывод, что чем меньше сопротивление нагрузки, тем меньше напряжение и выше активная мощность. Однако, установка сопротивления ниже 13,33 Ом невозможна.

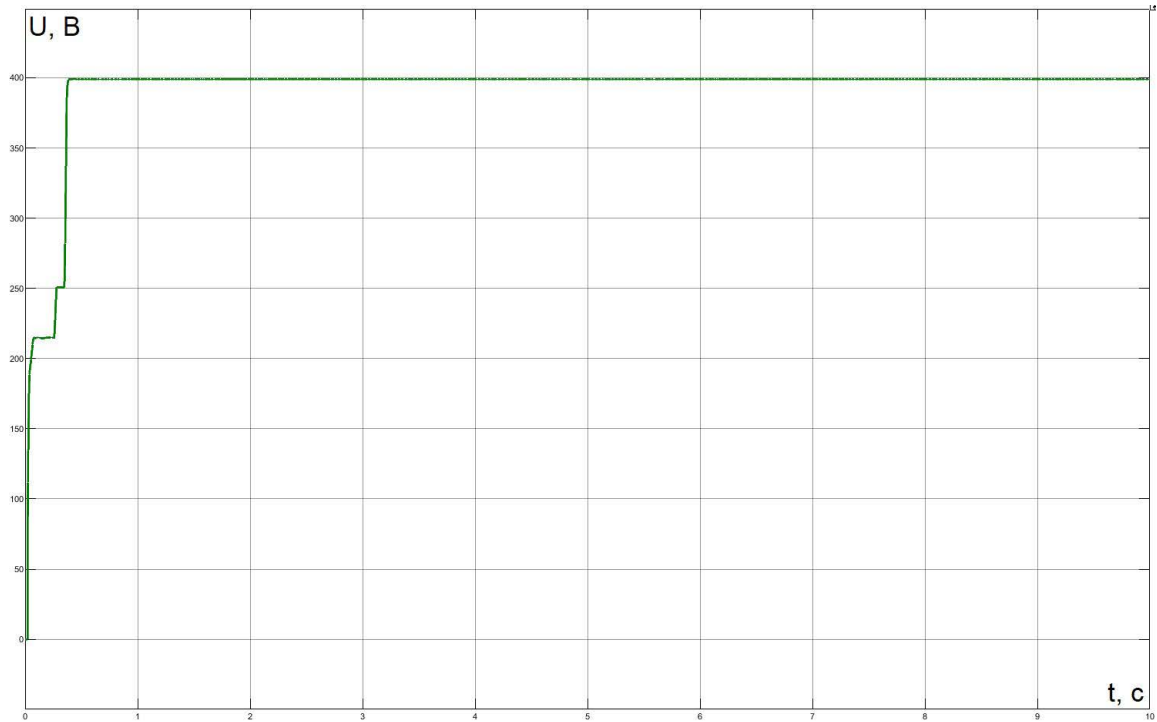


Рисунок 8. График постоянного напряжения  $U$  после конвертора

Результат моделирования схемы с нагрузкой в 55 Ом:

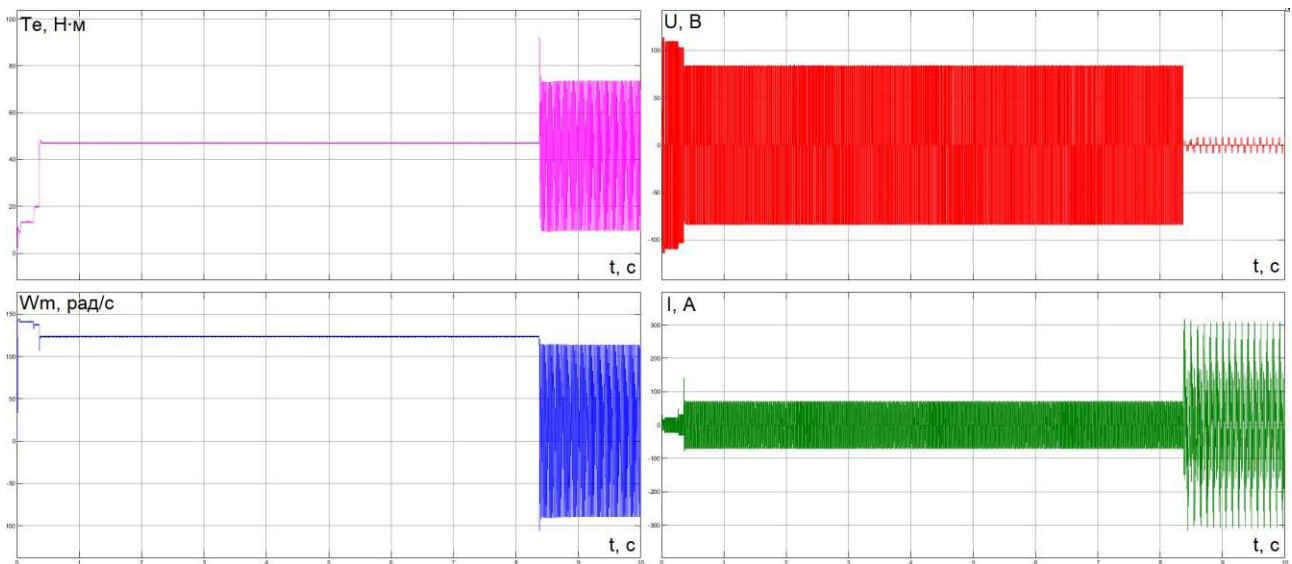


Рисунок 9. Графики характеристик электромагнитного момента  $T_e$ , напряжения  $U$ , тока  $I$  и частоты вращения ротора  $W_m$  на выходе ветрогенератора с нагрузкой равной 55 Ом

Можно сделать вывод, что при достижении максимально возможного установленного напряжения МРРТ-контроллером генератор становится перегружен-

ным и с течением времени процессы выработки электрической энергии выходит из строя.

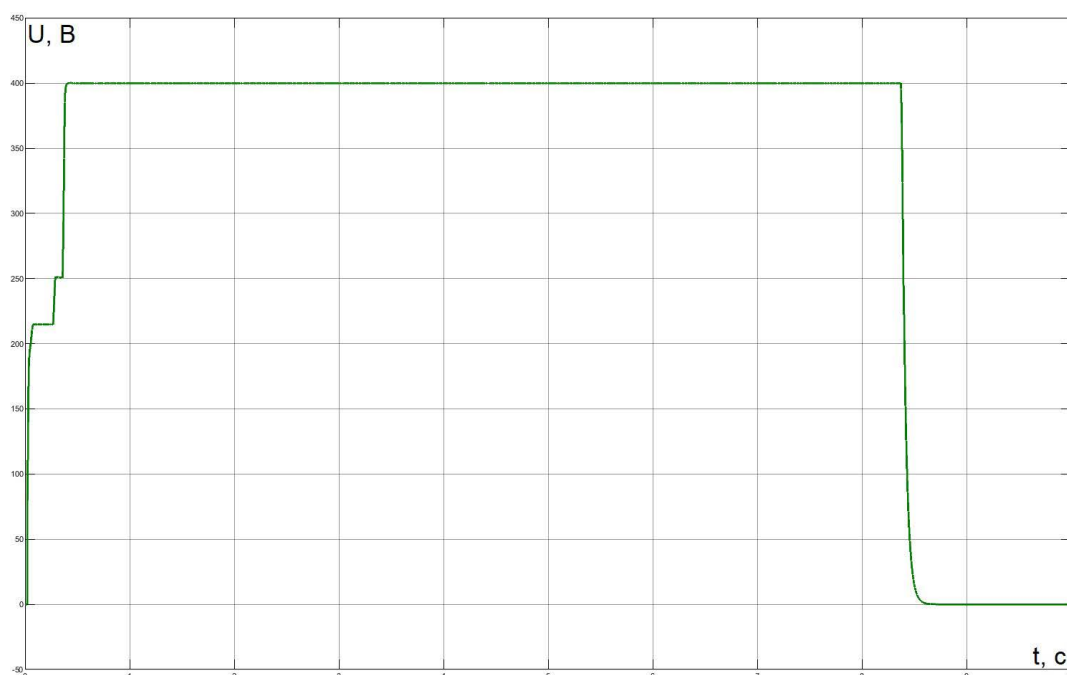


Рисунок 10. График постоянного напряжения  $U$  после преобразования

В предыдущей моделируемой схеме скорость ветра задавалась константой и была постоянной. В схеме на рисунке 11 в качестве источника ветра используется блок переменного сигнала. При этом данный сигнал можно задать самому с помощью языка программирования MatLab.

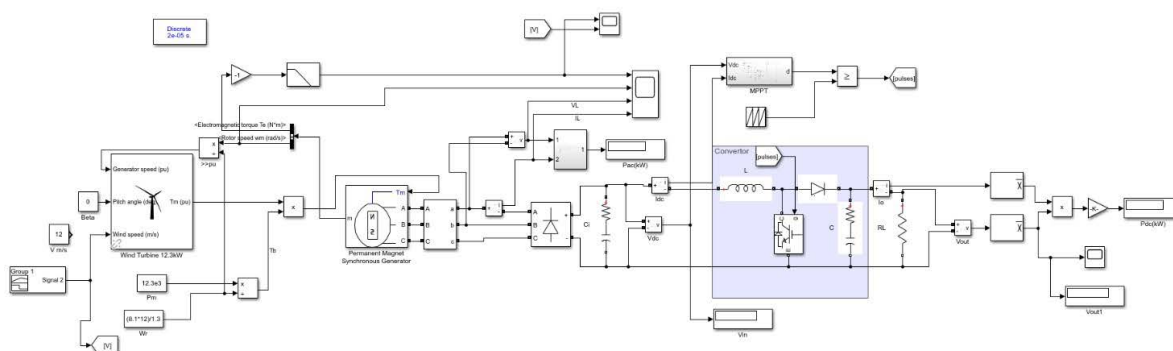


Рисунок 11. Полная схема моделируемой сети с переменным источником ветра

По окончании работы модели получены данные по работе разработанной модели с переменным ветром под нагрузкой, равной 13,5 Ом. Значение вырабатываемой

активной мощности ветряной установки  $\approx 8,146$  кВт. После преобразование энергии значение активной мощности  $\approx 5,862$  кВт. Постоянное напряжение в устроенном режиме удерживает значение на уровне  $\approx 280$  В.

Результат моделирования схемы с нагрузкой в  $13,5$  Ом представлен на рисунке 10.

В предыдущем моделировании сделан вывод, что нагрузка в  $13,5$  Ом даёт самые выгодные условия выработки мощности. Однако как только мы изменим график скорости ветра, то даже в данной модели ничего не получится.

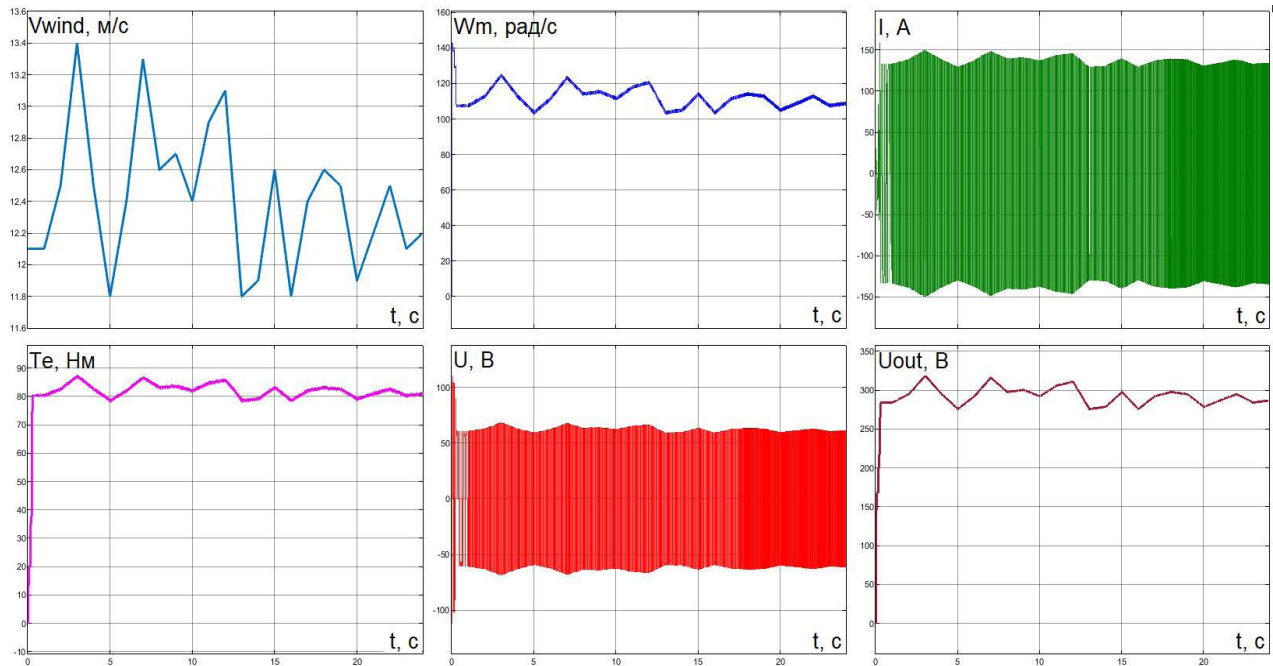


Рисунок 12. Графики характеристик изменения скорости ветра  $V_{wind}$ , электромагнитного момента  $T_e$ , напряжения  $U$ , тока  $I$  и частоты вращения ротора  $W_m$  на выходе ветрогенератора и постоянное напряжение  $U_{out}$  с активной нагрузкой  $13,5$  Ом

При этом стоит заметить, что изменения скорости ветра незначительны — от  $11,5$  до  $12,5$  м/с. Можно сделать вывод, что максимально возможное изменение скорости ветра, при которой система будет стабильна, — от  $-0,5$  м/с до  $+1,5$  м/с при номинальном значении в  $12$  м/с. Напряжение и активная мощность на выходе конвертера также не будет постоянной.

Проведя ряд моделирований, подытожим, что чем больше скорость ветра, тем больше электромагнитный момент, вследствие чего больше получаемые на выходе напряжение и мощность. Однако так как настройки параметров ветряной турбина выбраны для мощной машины, имеется ограничение в изменении скорости ветра.

### Список использованной литературы

1. Шерязов С. К. Методология эффективного использования возобновляемых источников // VI международная научно-практическая конференция «Европейская наука и технологии» : сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. (2013 г., Германия). — С. 343–347.
2. Пинеда И., Тардые П. Энергия ветра: европейская статистика за 2016 год, 2017.
3. Елистратов В. В., Денисов Р. С. Методика выбора электроэнергетического оборудования ВЭУ // XLII Неделя науки СПбГПУ: материалы науч.-практич. конф. с международным участием (2014 г., г. Санкт-Петербург). — С. 6–9.
4. Новожилов, Н. А. Выбор параметров ветроэнергетической установки / Н. А. Новожилов, С. В. Соломин // Электрические станции. — 1994. — № 8. — С. 46–48.
5. Фатеев, Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев. — Москва : ОгизСельхозгиз, 1948. — 544 с. 11.
6. Шерязов. С. К. Выбор ветроэнергетической установки / С. К Шерязов, М. В. Шелубаев // Механизация и электрификация в сельском хозяйстве. — 2010. — № 2. — С. 7.
7. Вольдек А. И., Попов В.В.: Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А. И.Вольдек, В.В. Попов — Санкт-Петербург : Питер, 2010. — 350 с.

УДК 21474

*Гирич Е. С., Рахматулин Р. М.*

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

## ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Трансформаторы играют важную роль в бесперебойном электроснабжении потребителей, однако имеют большую стоимость и большие трудозатраты на обслуживание. Аварии на трансформаторах — события сравнительно редкие, но чрезвычайно значительные по своим последствиям. Одной из мер предупреждения аварий является Система мониторинга и диагностики силовых трансформаторов.

**Ключевые слова:** *электрическая энергия, трансформатор, система мониторинга.*

*Girich E. S.*

Budgetary institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra Surgut State University, Surgut

## ORGANIZATION OF MONITORING AND DIAGNOSTICS SYSTEM OF TRANSFORMER EQUIPMENT

*Surgut*

**Abstract.** Transformers play an important role in the uninterrupted power supply of consumers, but they have a high cost and high labor costs for maintenance. Transformer accidents are relatively rare events, but extremely significant in their consequences. One of the measures to prevent accidents is the Monitoring and Diagnostics System of power transformers.

**Keywords:** *electrical energy, transformer, monitoring system.*

Система мониторинга силовых трансформаторов предназначена для решения большого числа задач, таких как: непрерывное измерение, регистрация, отображение и сигнализация, как аварийная, так и предупредительная, состояния основных параметров трансформаторного оборудования, таких как контроль температуры масла, контроль напряжение в обмотках и так далее, в том числе в предаварийных и аварийных режимах в процессе эксплуатации, что, в свою очередь, повышает



шансы провести своевременные плановые предупредительные работы для нормальной работы силового трансформатора;

- адаптивное управление тепловым режимом работы трансформаторного оборудования позволяет оперативно реагировать на повышение температуры в любой части силового трансформатора, тем самым понижает шансы на разрушение бумажной изоляции трансформатора или испарения трансформаторного масла.;
- автоматическая диагностика и оперативное прогнозирование технического состояния трансформаторного оборудования с помощью математических моделей.

При проектировании объекта «Подстанция 2х160000-220/10/10. Управления по переработке газа. Западно-Сургутское месторождение» управлением энергетики ПАО «Сургутнефтегаз» и специалистами УПГ в технических условиях на проектирование согласно СТО 56947007-29.200.10.011-2008 [1] был проработан вопрос установки Системы мониторинга для двух трансформаторов ТРД-ЦН-160000/220 на ПС 220/10/10 кВ «Искра».

В Системе мониторинга выполнены следующие основные функции параметров силового трансформатора:

- контроль токов в обмотках высшего напряжения (далее — ВН), среднего напряжения (далее — СН), низшего напряжения (далее — НН);
- контроль напряжений в обмотках ВН, СН, НН;
- контроль температуры верхних слоев масла;
- контроль температуры наиболее нагретой обмотки;
- определение кратности и длительности допустимых перегрузок;
- контроль газосодержания масла;
- контроль влагосодержания масла;
- определение степени старения изоляции;
- контроль активных элементов системы охлаждения, автоматическое управление системой охлаждения по любым алгоритмам, в т. ч. по ГОСТ 11677-85 [2], ГОСТ Р 52719-2007 [3];
- создание и хранение базы данных технического состояния контролируемых объектов, срабатывания аварийной и предупредительной сигнализации с метками времени, привязанными к единому системному времени;
- формирование архивов долговременного хранения диагностической информации.

Система мониторинга выстраивается по трехуровневой схеме.

Уровень I включает в себя первичные датчики и измерительные системы, предназначенные для измерения первичных технологических параметров состояния трансформаторного оборудования.

Уровень II (уровень промышленных контроллеров, блок мониторинга) – это совокупность контроллеров, программируемых реле, которые обеспечивают анализ сигналов, полученных от первичных датчиков и приборов (от уровня I), и дальнейшую передачу информации в цифровом виде на верхний уровень Системы мониторинга (уровень III) или в АСУ ТП (при ее наличии).

Уровень III (системный шкаф) предназначен для обеспечения централизованного приема информации от уровня II, дистанционного конфигурирования и проверки исправности оборудования, визуализации получаемой информации, накопления общего архива баз данных, а также для дальнейшей передачи информации в АСУ ТП (при ее наличии).

Экранная форма интерфейса пользователя разделена на пять основных областей:

*1. Электрические параметры.*

Контроль электрических параметров реализован в виде визуализации текущих (действующих) электрических параметров и зафиксированных перенапряжений в соответствии с реализованной математической моделью по ГОСТ 1516.3 .

*2. Изоляция.*

Контроль и оценка состояния изоляционных материалов (трансформаторное масло и бумажная изоляция) основаны на прямых измерениях и результатах расчета математических моделей.

*3. Вводы.*

Контроль и оценка состояния высоковольтных вводов основаны на прямых измерениях и результатах расчета математических моделей.

*4. Охлаждение.*

Контроль и оценка теплового режима основаны на прямых измерениях и результатах расчета математической модели (тепловой модели трансформатора).

*5. Сигнализация.*

В области «Сигнализация» выводятся сообщения о срабатывании аварийной и предупредительной сигнализации контролируемого трансформаторного оборудования.

Текущие сообщения Системы мониторинга требуют внимания оперативного персонала для своевременного контроля параметров силового трансформатора.

В зависимости от значимости сообщения разделяются по типам: информационные, предупредительные (подсвечиваются желтым цветом) и аварийные (подсвечиваются красным цветом).

Благодаря данной Системе мониторинга на одном из трансформаторов ТРД-ЦН-160000/220 ПС «Искра» Управления по переработке газа ПАО «Сургутнефтегаз» заблаговременно было выявлено превышение концентрации растворенного газа (водорода) в трансформаторном масле, что свидетельствует

о наличии частичных искровых, дуговых разрядов внутри бака трансформатора, что, в свою очередь, отрицательно влияет на технические характеристики силового трансформатора и повышает шанс возникновения электрической дуги.

Согласно гарантийным обязательствам заводом-изготовителем был выполнен осмотр активной части трансформатора, в результате которого обнаружено, что гибкий проводник заземления электростатического экрана стержня фазы «А» касается магнитопровода, что вызывало замыкание между активной сталью (магнитопровода) и металлоконструкциями активной части, что, в свою очередь, привело к разрушению изоляции силового трансформатора.

Таким образом, Система мониторинга в действительности позволила выявить дефект на ранней стадии, быстро принять необходимые меры по устранению дефектов в силовых трансформаторах и избежать значительных затрат на ремонт и замену трансформатора.

### **Список использованной литературы**

1. СТО 56947007-29.200.10.011-2008. Системы мониторинга силовых трансформаторов автотрансформаторов. Общие технические требования.
2. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
3. ГОСТ Р 52719-2007. Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
4. ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.

# **СЕКЦИЯ 3**

ПРОБЛЕМЫ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 681.5

**Кондрашкина Е. Г., Герасимова Н. Н., Макаrchук В. Э., Ковалев Д. Ю.,  
Зубченко А. В., Рыжаков В. В.**

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

## СОВРЕМЕННЫЙ ВИНИЛОВЫЙ ПРОИГРЫВАТЕЛЬ HEFTER

г. Сургут

**Аннотация.** В данной работе представлена концепция современного винилового проигрывателя под названием Hefter, модель которого была разработана в конструкторской программе Fusion 360. Приведены результаты маркетингового исследования, в результате которых выявилась целевая аудитория. В качестве методов исследования использовались социологический опрос онлайн через google форму и изучение научной литературы.

**Ключевые слова:** *современный виниловый проигрыватель, программа Fusion 360, концепция современного винилового проигрывателя, мобильный виниловый проигрыватель, проигрыватель пластинок.*

**Kondrashkina E. G., Gerasimova N. N., Makarchuk V. E., Kovalev D. Y.,  
Zubchenko A. V., Ryzhakov V. V.**

BUVO KhMAO — Yugra «Surgut State University», Surgut

## MODERN VINYL PLAYER «HEFTER»

Surgut

**Abstract.** This paper presents the concept of a modern vinyl player called «Hefter», the model of which was developed in the Fusion 360 design program. The results of a marketing research are presented, as a result of which the target audience was identified. As research methods, an online sociological survey via a google form and the study of scientific literature were used.

**Keywords:** *modern vinyl player, Fusion 360 software, modern vinyl player concept, mobile vinyl player, record player.*

Проблема заключается в том, что виниловые проигрыватели с традиционной концепцией не соответствуют представлениям современных потребителей об устройстве звуковой техники и предоставляемом сервисе, вследствие чего за-

казчик теряют свою долю на рынке, уменьшаются продажи виниловых проигрывателей и он вынужден искать новые решения.

Исследуемая нами тема актуальна, так как, по прогнозам Research and Markets, глобальный рынок виниловых пластинок с 2020 по 2024 год вырастет на 337 млн долларов, при этом в течение прогнозируемого периода рост составит 7%. Что говорит о росте спроса на качественное и мобильное оборудование для прослушивания пластинок.

Цель — разработка современного винилового проигрывателя, соответствующего ожиданиям потребителя, используя конструкторскую программу Fusion 360.

Задачи:

1. Разработать образ и концепцию модели современного винилового проигрывателя.
2. Разработать план реализации и бюджет проекта.
3. Разработать и представить MVP проекта.

Нами были проведены маркетинговые исследования, в результате которых были выявлены 3 категории целевой аудитории:

1. Меломаны (70%). Под меломанами мы понимаем людей, которым важна точность аналогового звучания.
2. Музыканты (25%). Так как они имеют чёткий слух и для них важно аналоговое звучание, также они могут вдохновляться авторами и писателями, которые записывали в XX веке свои стихотворения; музыкальными авторами прошлого века, которые записывали свои песни на пластинки.
3. Фанаты музыкальных групп (5%), которые выпускают свои альбомы на виниловых пластинках.

Наша модель современного винилового проигрывателя Nefter — это универсальность, мобильность, простота, лёгкость, качество и компактность (рисунок 1).

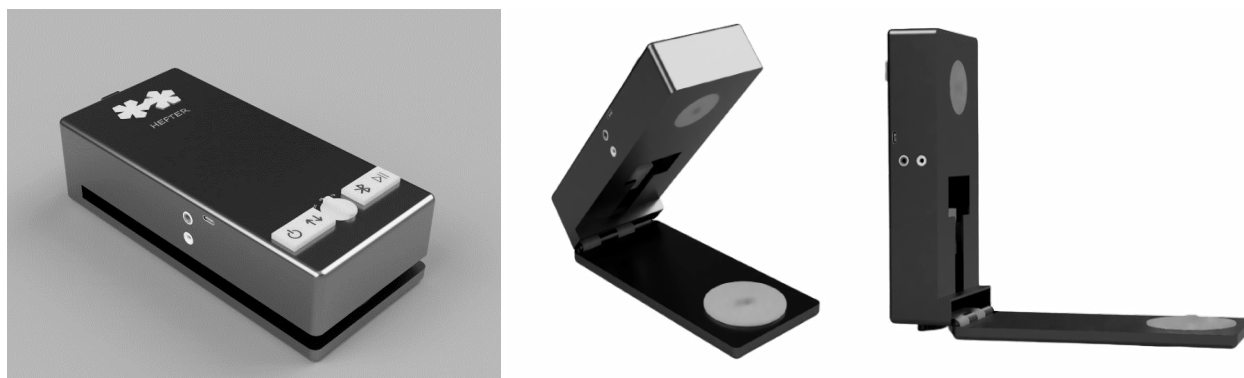


Рисунок 1. Современный виниловый проигрыватель Nefter

На верхней части проигрывателя расположены 4 кнопки и регулятор скорости. При рассмотрении нашего винилового проигрывателя со всех сторон больше всего он напомнил нам степлер. Поэтому мы и решили его так назвать, но на немецком языке, который ассоциируется с надёжностью и качеством.

Для удобной установки виниловой пластинки проигрыватель открывается на 45 градусов. А для замены иглы может открыться на 90. Мы решили, что при таком механизме будет достаточно просто менять иглу, так как звукосниматель может просто выехать немного из корпуса и тем самым будет проще достать иголку для её замены. Также чтобы проигрыватель не опрокинулся, на задней стенке установлена ножка, которая выполняет несколько функций. Первое, как уже сказано, — для небольшого «придерживания» корпуса при его открытии. И второе — для фиксации проводов. При этом такое решение позволило сэкономить нам место внутри проигрывателя, вследствие чего нам не пришлось увеличивать размеры корпуса, что добавляет ему мобильности (рисунок 2).



Рисунок 2. Вид сбоку современного винилового проигрывателя Nefter

Слева на модели можно увидеть так называемый механизм вагонетки, также имеются два моторчика, которые будут перемещать вагонетку по пластинке, и второй моторчик отвечает за размещение иглы на пластинке и необходим для того, чтобы вытащить иголку для ее замены. Справа будет устроена одна плата, благодаря которой мы уменьшим количество проводов, вследствие чего будет больше места. Внутри имеются 4 аккумулятора типа ААА и валик, который прижимает и крутит пластинку (рисунок 3).

Для того что воспроизвести пластинку, сначала открываем верхнюю часть проигрывателя, затем вставляем пластинку, закрываем. После этого нажимаем кнопку включения, затем кнопку прижатия валика. После того как валик прижался, мы запускаем проигрывание и наслаждаемся качеством аналогового звучания. После прослушивания ставим на паузу, нажимаем клавишу для поднятия валика, затем выключаем проигрыватель и достаём пластинку.

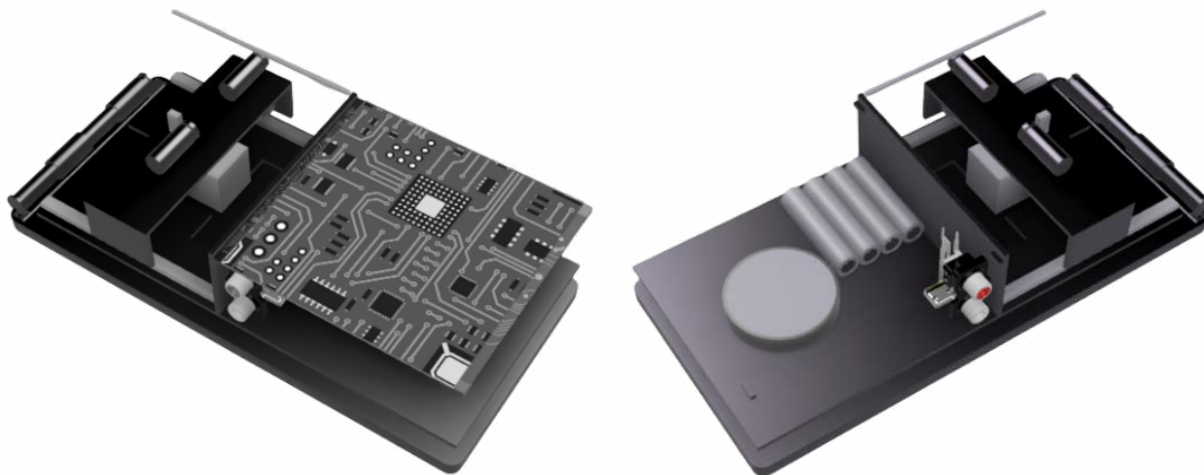


Рисунок 3. Внутренние составляющие современного винилового проигрывателя Hefter

Технические характеристики:

1. Подключение: RCA, USB Type-C, Bluetooth.

Type-C мы решили использовать для универсальности, чтобы не носить с собой лишние провода, и в целом он может отвечать за зарядку и передачу данных. Bluetooth решили использовать на основе статистики Sony, так как пользователям не хватало внешнего подключения к колонкам, хотя это может показаться странным, потому что происходит оцифровка, но всё же спрос есть.

2. Материал корпуса — алюминий, потому что он экологичный, лёгкий и прочный.

3. Скорость вращения стандартная — 33/45/78 оборотов в минуту.

4. Габариты: ширина — 100 мм, высота — 63 мм, глубина — 225 мм, вес всего 1100 г.

5. Функции — оцифровка на внешний носитель и стерео.

6. Питание: от аккумулятора. По нашим предварительным расчётам, устройство должно работать 3 часа.

Укрупнённая смета на устройство содержит следующие компоненты: плата — 500–5000 руб., картридж — 3000–7000 руб., опорный диск — 50–1000 руб., пассивы — 600–2000 руб., тонарм — 3500–20 000 руб., противовес — 500–1000 руб., мотор (3 шт.) — 1500 руб., корпус — 5000–15 000 руб. Общая стоимость составляет примерно 32 500 руб. Также имеется возможность как удешевить, так и сделать устройство дороже.

Таким образом, в результате работы над проблемой мы получили 3Д-продукт современного мобильного и компактного винилового проигрывателя в программе



Fusion 360. Возможностью развития проекта представляется реализация прототипа с помощью 3Д-принтера.

### **Список использованной литературы**

1. Виниловый проигрыватель. Настройка: сайт. — URL: <https://www.dj-store.ru/articles/kak-ustanovit-i-otregulirovat-zvuchanie-vinilovogo-proigryvatelya/>. — Текст: электронный.
2. Какими бывают и как выбирать проигрыватель винила: сайт. — URL: <https://vse-smart.ru/kakimi-byvayut-i-kak-vybirat-proigryvatel-vinila>. — Текст: электронный.
3. Как выбрать проигрыватель винила : сайт. — URL: <https://muzmart.com/article/vibor-vinilovogo-proigryvatelya>. — Текст: электронный.

УДК 621

*Плаксин С. Д.*

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Интернет-реклама как огромный рынок привлекла значительное внимание на различных платформах из поисковых систем, сторонних веб-сайтов, социальных сетей и мобильных приложений. Процветание онлайн-кампаний является проблемой в онлайн-маркетинге и обычно оценивается по реакции пользователей с помощью различных показателей, таких как клики по рекламным объявлениям, подписки на продукты, покупки товаров или явные отзывы пользователей через онлайн-опросы. В последние годы наблюдается значительный рост числа исследований с использованием вычислительных подходов, включая методы машинного обучения, для прогнозирования реакции пользователей. Однако существующая литература в основном фокусируется на алгоритмических проектах для решения конкретных задач, и не существует всеобъемлющего обзора, чтобы ответить на многие важные вопросы: Какие стороны участвуют в экосистемах цифровой рекламы в Интернете? Какие данные доступны для прогнозирования ответа пользователя? Как спрогнозировать реакцию пользователя надежным и/или прозрачным способом?

**Ключевые слова:** *машинное обучение, динамика фирмы, инновации, эффективность фирмы.*

*Plaksin S. D.*

Surgut State University, Surgut

## THE USE OF MACHINE LEARNING METHODS IN MARKETING RESEARCH IN INFOCOMMUNICATION NETWORKS

*Surgut*

**Abstract.** Online advertising, as the vast market, has gained significant attentions in various platforms ranging from search engines, third-party websites, social media, and mobile apps. The prosperity of online campaigns is a challenge in online marketing and is usually

evaluated by user response through different metrics, such as clicks on advertisement (ad creatives), subscriptions to products, purchases of items, or explicit user feedback through online surveys. Recent years have witnessed a significant increase in the number of studies using computational approaches, including machine learning methods, for user response prediction. However, existing literature mainly focuses on algorithmic-driven designs to solve specific challenges, and no comprehensive review exists to answer many important questions. What are the parties involved in the online digital advertising eco-systems? What type of data are available for user response prediction? How to predict user response in a reliable and/or transparent way?

**Keywords:** *machine learning, firm dynamics, innovation, firm performance.*

## Введение

Основная цель различных типов рекламных систем, будь то традиционные медиа-системы или современная онлайн-реклама, состоит в том, чтобы найти наилучшее соответствие между аудиторией (пользователями) и рекламой, учитывая контекстные особенности каждой платформы. С вычислительной точки зрения это эквивалентно нахождению способа точного прогнозирования положительных или отрицательных реакций пользователей на рекламу с учетом наблюдаемых пользовательских данных. Этим показано, что точное прогнозирование метрик отклика пользователей может напрямую определять доход как для издателей, так и для рекламодателей. Вариативность задачи определяется наличием контекста на разных платформах. Контекст в поисковых системах — это запрос, генерируемый пользователями. В медийной рекламе контекст рассматривается как веб-сайты, посещаемые пользователями, а в рекламе контекст является конкретным логическим этапом в мобильных приложениях для маркетинга.

## Описание проблемы

Поскольку данные быстро становятся доступными, подходы, основанные на машинном обучении, используются почти во всех областях для решения различных типов задач обнаружения знаний. Для интернет-рекламы это особенно актуально. С самого начала промышленность активно искала эффективные вычислительные методы для объемов данных и задач принятия решений в реальном времени. Многие подходы, такие как глубокое обучение и машинные методы факторизации, демонстрируют большой потенциал для точной оценки ответов пользователей, но интенсивный характер данных и требования к реальному времени сделали точное прогнозирование ответов пользователей для онлайн-рекламы чрезвычайно сложным. Были выявлены следующие нежелательные явления:

- **Масштабируемость:** В реальной рекламной экосистеме количество посещаемых веб-страниц чрезвычайно велико. В сочетании с такими факторами, как количество уникальных посещающих пользователей и количество объявлений, это приводит к гигантскому набору данных для анализа. Во многих исследованиях машинное обучение применялось для прогнозирования реакции пользователей и повышения персонализации цифровой рекламы. Важно проектировать решения для масштабных рекламных данных.
- **Редкость отклика:** Статистика показывает, что коэффициент клика и конверсии всех типов объявлений составляет не более 2 процентов от всех показываемых объявлений. Поэтому поиск способа преодоления проблемы классового дисбаланса и смягчения неблагоприятных последствий для результатов прогнозирования является сложной задачей для алгоритмов прогнозирования.
- **Разреженность данных:** Эта проблема в онлайн-рекламе и рекомендательных системах проистекает из-за того, что большинство входных данных состоят из категориальных признаков, которые необходимо использовать в двоичном формате; представления, приводящего к многомерным векторам с очень небольшим количеством ненулевых значений. Кроме того, взаимодействия между пользователями и товарами следуют степенному закону распределения, то есть большинство пользователей взаимодействуют с небольшим количеством товаров и продуктов.
- **Холодный старт:** это общая проблема для новых объявлений, продуктов и услуг, поскольку нет исторической информации о пользователях, доступной для оценки.

### **Описание субъектов и объектов**

Были определены субъекты:

- пользователи;
- издатели;
- рекламодатели;
- контекст в системах онлайн-рекламы.

Объектами являются:

- подробные записи звонков (CDRs);
- события пополнения баланса (topups);
- географическая активность;
- активность в социальных сетях;
- поведение при использовании данных рекламных акций маркетинговых кампаний.

### Список использованной литературы

#### *Статьи из сборников*

1. Ajit, P. (2016). Prediction of employee turnover in organizations using machine learning algorithms. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*.
2. Alaka, H. A., Oyedele, L. O., Owolabi, H. A., Kumar, V., Ajayi, S. O., Akinade, O. O., and Bilal, M. (2018). Systematic review of bankruptcy prediction models: Towards a framework for tool selection. *Expert Systems with Applications*.
3. Altman, E. I. (1968). Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy. *The journal of finance*.
4. Arroyo, J., Corea, F., Jimenez-Diaz, G., and Recio-Garcia, J. A. (2019). Assessment of machine learning performance for decision support in venture capital investments. *Ieee Access*.
5. Athey, S. (2018). The impact of machine learning on economics. In *The economics of artificial intelligence: An agenda*, pages 507–547. University of Chicago Press.
6. Athey, S. and Imbens, G. (2019). Machine learning methods economists should know about, *arxiv*

УДК 621

*Плаксин А. Д.*

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

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ БИЗНЕС-ЗАДАЧ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Рассматриваются способы и преимущества систем позиционирования мобильных устройств для решения бизнес-задач.

**Ключевые слова:** *сотрудник, внутренняя система позиционирования, местоположение, офис.*

*Plaxin A. D.*

Surgut State University, Surgut

## DESIGNING SYSTEMS FOR PLACING MOBILE DEVICES TO SOLVE BUSINESS PROBLEMS

*Surgut*

**Abstract.** The methods and advantages of mobile device positioning systems for solving business problems are considered

**Keywords:** *employee, internal positioning system, location, office.*

### Введение

Внутренняя система позиционирования (IPS) — это система, которая позволяет компаниям определять местоположение объектов и людей внутри здания или офиса с помощью радиоволн, акустических сигналов или другой сенсорной информации, собираемой мобильными устройствами. Обычный способ настройки внутреннего позиционирования в офисах включает в себя установку маяков Wi-Fi или Bluetooth в конференц-залах или на рабочих местах. В совокупности внутренние датчики в смартфонах используются для передачи информации о местонахождении пользователей.

IPS имеет широкое применение в коммерческой, военной, розничной торговле и в отслеживании запасов. На рынке есть несколько коммерческих систем, но нет стандартов для системы IPS. Вместо этого каждая установка адаптирована к пространственным размерам, строительным материалам, требованиям к точности и бюджетным ограничениям.

### **Описание проблемы**

Перед тем как начать контролировать сотрудников с помощью мобильных устройств, часто задаются вопросами:

- Как смартфон или планшет ориентируется в пространстве?
- Как добиться максимальной точности геопозиции?
- Как функция геолокации влияет на расход заряда аккумулятора?

### **Описание субъектов и объектов**

Мы рассмотрим самый актуальный на данный момент способ мониторинга за сотрудником с помощью технологии WI-FI и/или Bluetooth.

На сегодняшний момент почти все современные офисы имеют модули Wi-Fi и Bluetooth. Поэтому их удобно использовать для позиционирования сотрудников в одном помещении, когда значение имеет сам факт нахождения работника в заданной точке (без детального построения маршрута).

Модули Wi-Fi / Bluetooth смартфонов и планшетов расходует меньше заряда аккумулятора, чем модуль спутниковой навигации GPS. В связи с этим увеличивается продолжительность работы устройства.

Принцип действия. Чтобы определить местоположение с помощью сигналов Wi-Fi и Bluetooth, телефон должен находиться в зоне действия такого беспроводного устройства, например маршрутизатора (в этом случае фактическое подключение к сети Wi-Fi не требуется). Точность позиционирования соответствует дальности действия маршрутизатора и составляет в среднем 30-100 м.

Важно: для работы этой технологии на телефоне сотрудника должны быть включены Wi-Fi и Bluetooth.

Местоположение сотрудника можно отслеживать в режиме онлайн. Точность определения местоположения по Wi-Fi / Bluetooth сравнима с точностью «эталонной» спутниковой навигации.

Преимущества:

- Достаточная точность позиционирования: 30-100 м.
- Возможность геолокации в помещении.

- Аккумулятор устройства разряжается гораздо медленнее, чем при использовании модуля GPS-навигации, что особенно важно для наблюдения за пешими сотрудниками (когда нет возможности подзарядить телефон).

Недостатки:

- Доступно только при наличии сигнала от маршрутизатора Wi-Fi.
- Нарушение позиционирования при смене телефоном одного роутера на другой.

### Список использованной литературы

1. Уфимцев В. А., Вершинин В. П., Мезенцев Е. М. Позиционирование как эффективный маркетинговый инструмент развития компании./ Уфимцев В. А., Вершинин В. П., Мезенцев Е. М. // Текст научной статьи по специальности «Экономика и бизнес», 2014
2. Хилажев, Р. О., Просвирякова Л. В. IPS-ТЕХНОЛОГИЯ НА ОСНОВЕ BLUETOOTH LOW ENERGY / Р. О. Хилажев, Л. В. Просвирякова // Вестник СибГУТИ. — 2020.
3. Садченков Дмитрий. Технологии Bluetooth / Садченков Дмитрий // Компоненты и Технологии, 2001.
4. Расширение возможностей систем Wi-Fi // Век качества. — 2008.



УДК 621

*Ахтияров А. Г.*

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

## ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗЬ В НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Промышленная система видеоконференцсвязи способна объединять несколько объектов нефтегазодобывающей организации в рамках единой корпоративной сети, что значительно расширяет возможности для взаимодействия сотрудников, реализации тактических и стратегических задач, также поддержки оперативной деятельности предприятия. Из этого следует, что рост числа пользователей видеоконференцсвязи и развитие данных систем связи не будет сопровождаться отказом пользования ранее приобретенных технико-программных средств, а наоборот, обеспечивается их наращиванием (принцип сохранения капитальных вложений).

**Ключевые слова:** *видеоконференцсвязь, передача данных, информационные технологии, сети предприятий, нефтегазодобывающие предприятия.*

*Akhtiyarov A. G.*

Surgut State University, Surgut city

## VIDEOCONFERENCING IN OIL AND GAS PRODUCING ENTERPRISES

*Surgut city*

**Abstract.** The industrial system videoconferencing is capable of uniting several objects of an oil and gas producing organization within a single corporate network, which significantly expands the opportunities for interaction employees, implementation tactical and strategic tasks, as well as support operational activities of the enterprise. It follows from this that the growth in the number of users of video conferencing and the development of these communication systems will not be accompanied by the refusal to use previously acquired hardware and software, but on the contrary is ensured by their growth (principle of conservation of capital investments).

**Keywords:** *videoconferencing, enterprise networks, oil and gas producing enterprises.*

Совсем недавно общение внутри предприятий нефтегазовой отрасли в значительной степени ограничивалось телефонными разговорами и текстовыми сообщениями. Однако пандемия COVID-19 поспособствовала переходу на удаленную работу сотрудников предприятий, также переходу учащихся школ, среднеспециальных и высших учебных заведений повсей стране к дистанционному обучению. Необходимость быстрых и оперативных средств взаимодействия между сотрудниками предприятия, учащимися и преподавателями обусловило широкое распространение систем видеоконференцсвязи.

Сегодня перед нефтегазодобывающими предприятиями стоит целый ряд стратегических и важных задач: расширение бизнеса, освоение и разработка новых месторождений. Это задачи компаний нефтегазовой отрасли, которые вносят огромный вклад в разведку все новых месторождений, также производят их разработку, оснащение инфраструктурой, добычу нефти и газа, их переработку, так же транспортировку готовой продукции. Что требует грамотного подхода к управленческой деятельности, оперативно решать задачи производственного характера, подбора и обучения персонала, охраны труда и инструктажей персонала; вопросы по защите окружающей среды, ведь экология — это важный аспект в нефтяной и газовой промышленности.

Выполнение этих задач требует определенных незамедлительных решений, и конечно же, не обойтись без современных инфокоммуникационных технологий и систем связи, способных объединить головной офис, филиалы, структурные подразделения (которые расположены удаленно от головного офиса), также вспомогательные предприятия в единую корпоративную сеть предприятия. Чаще всего нефтегазодобывающие предприятия сталкиваются с угрозой загрязнения окружающей среды (разлив нефтепродуктов), террористических актов, аварий производственного характера, угрозы человеческой жизни. С помощью современных технологий руководители могут, не выезжая с места, управлять ситуацией по устранению последствий аварий, предотвращению террористических актов на объектах компании; на стратегически опасных объектах используются системы видеонаблюдения, также активно используется система видеоконференцсвязи, что позволяет визуально увидеть происходящее на объекте. Соответственно, руководители, не выезжая на объект, могут контролировать и руководить производственными процессами одновременно на нескольких объектах предприятия.

Современные технологии позволяют активно проводить видеоконференции. В нефтегазодобывающих предприятиях для залов совещаний используются системы видеоконференцсвязи различных производителей, таких как Polycom, AVer, TrueConf, Sisco. Производители данных систем видеоконференцсвязи внесли значительный вклад в разработку технологий видеосвязи: от подавлений по-

стороннего шума до качественного видеоизображения, также разработан большой набор различных функций высокого класса. Видеосвязь дает участникам возможность, находясь на отдаленных объектах, видеть и слышать собеседника, как будто они находятся в одном помещении. С недавнего времени в связи с пандемией Covid-19 нефтегазодобывающие предприятия активно начали использовать для видеоконференцсвязи персональные компьютеры, то есть у каждого сотрудника появилась возможность участвовать в совещаниях, не отрываясь от своего рабочего места. Также при удаленной работе на дому появилась возможность подключаться к видеоконференцсвязи, что уменьшает скопление людей и контактирования из-за опасности заражения большего количества сотрудников вирусом Covid-19. Мобильные средства связи (смартфоны и планшетные компьютеры) также активно применяются для видеоконференций. Системы видеоконференцсвязи значительно расширили возможности бизнес-коммуникаций предприятий. Видеоконференцсвязь позволяет видеть и слышать собеседника или группу, участвующую в видеосвязи, но и видеть, что происходит вокруг участников совещания, также есть возможности визуализации. То есть мы не только видим и слышим собеседника, но и демонстрируем собеседнику презентацию, различную документацию, фотографии, видеоинформацию, бумажные копии документов, также небольшие предметы производственного характера.

С помощью современных систем видеоконференцсвязи в нефтегазодобывающих предприятиях вопросы решаются оперативно и быстро. Задачи, решаемые с помощью ВКС, — это незамедлительный поиск управленческих решений (с удаленными объектами и филиалами), совещания с поставщиками товаров и услуг (в данном случае применяется видеоконференцсвязь через глобальную сеть интернет), контроль за технологическими процессами, подбор персонала, удаленный инструктаж рабочего персонала, подведение итогов работы, проведение оперативных совещаний, заседание различных комиссий, незамедлительное и обдуманное принятие оперативных решений при экстремальных ситуациях (с использованием мобильной видеоконференцсвязи), также организация работы удаленных филиалов.

При чрезвычайных ситуациях и авариях на удаленных объектах системы видеоконференцсвязи позволяют оказывать пострадавшим в результате несчастных случаев медицинскую помощь прямо на производственном объекте. Так называемая телемедицина позволяет проводить удаленную диагностику пострадавшего (медицинский работник осматривает пострадавшего по видеосвязи), консультирование персонала по оказанию медицинской помощи.

Современные системы видеоконференцсвязи в нефтегазодобывающих организациях дают ряд возможностей, таких как:

- Увеличение производительности труда.
- Экономия рабочего времени руководителя и персонала.

- Позволяет эффективно и быстро распределять средства и ресурсы.
- Оперативно принимаются и согласовываются важные решения, также происходит обдумывание принятых решений одновременно всеми участниками совещания.
- Снижаются затраты на переезды и командировки.

Весь спектр многообразных решений ВКС можно свести к нескольким типовым блокам:

- Персональные (Базовые) ВКС.
- Групповые ВКС.
- Телепрезентс (решения операторского класса).

Без современных инфокоммуникационных технологий и систем связи не было бы эффективной управленческой деятельности в нефтегазодобывающих организациях. Современные инфокоммуникационные технологии открывают нефтегазодобывающим предприятиям организациям ряд возможностей для управленческой деятельности, контроля ликвидации чрезвычайных и техногенных ситуаций и визуализации происходящего на объектах предприятия. Ряд этих задач решаются с помощью современных систем видеоконференцсвязи.

Деятельность предприятий в нефтегазовой промышленности характеризуется большим территориальным разнесением вспомогательных объектов производства, филиалов для поддержки основного производства. Для реализации эффективной работы пользователей, групп пользователей, находящихся на отдаленных друг от друга объектах нефтегазодобывающих предприятий, используется применение современных инфокоммуникационных и информационных технологий: нефтегазодобывающие предприятия активно используют системы видеоконференцсвязи для решения основных задач в производстве.

С каждым днем спрос на системы видеоконференцсвязи растет, что приводит к росту числа производителей, а также развитию инновационных идей и технологий. Большой опыт работы на рынке систем видеоконференцсвязи и накопленные знания для разработки сложных решений в этой области позволит инженерам компаний проектировать и внедрять многофункциональные системы видеоконференцсвязи для решения индивидуальных задач в нефтегазодобывающих предприятиях.

### Список использованной литературы

1. Власкин А. Видеоконференцсвязь: прошлое, настоящее, будущее // Интернет-журнал по широкополосным сетям и мультимедийным технологиям. — Владивосток : ТОВВМУ, 2015. — С. 92. — URL: <http://www.telemultimedia.ru/art.php?id=382>

2. Капулин, Д. В. Информационная структура предприятия : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям «Управление в технических системах» / Д. В. Капулин, А. С. Кузнецов, Е. Е. Носкова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Сибирский федеральный ун-т. — Красноярск : СФУ, 2014. — 185 с. — ISBN 978-5-7638-3128-3.
3. Кравченко П., Хусаинов Н., Шкурко А. Программная система аудиовидеоконференцсвязи для локальных и корпоративных IP-сетей. — 2019. — № 1. — С. 27–30.
4. URL: <https://www.elibrary.ru/download/elibrary>
5. URL: <https://legion-project.ru/systems/sistema-videokonferentssvyazi/>

УДК 621.396.946

*Мицул В. А.*

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

## УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Широкое внедрение цифровой экономики затронуло многие предприятия, в том числе и электросетевой комплекс. Целью статьи является рассмотрение вариантов по организации надежной системы передачи данных с электрических подстанций класса 110 кВ и возможности использования для построения мультисервисной сети передачи данных с устройств АСУТП, РЗА и каналов диспетчеризации. В статье рассмотрены схемы организации каналов связи с применением оборудования, поддерживающего работу в мультисервисных сетях. Представленные результаты в дальнейшем могут использоваться при реконструкции и проектировании систем связи подстанций.

**Ключевые слова:** *мультисервисная сеть, подстанция, телеизмерения, высокочастотный канал связи, релейная защита, автоматизированные системы передачи данных.*

*Mitsul V. A.*

Surgut State University KMAO-Ugra, Surgut

## INCREASING THE RELIABILITY OF RECEIVING TELEMETRY INFORMATION USING THE MULTISERVICE DATA TRANSMISSION NETWORK

*Surgut*

**Abstract.** The widespread introduction of the digital economy has affected many enterprises, including the electric grid complex. The purpose of the article is to consider software options, the organization of a reliable data transmission system from 110 kV class electrical substations, and the possibility of using it to build a multiservice data transmission network from automated control system devices, RPA and dispatching channels. The article discusses the schemes of the organization of communication channels with the use of equipment supporting work in multiservice networks. The presented results can be further used in the reconstruction and design of substation communication systems.

**Keywords:** *multiservice network, substation, tele-measurements, high-frequency communication channel, relay protection, automated data transmission systems.*

Использование мультисервисных сетей передачи данных в энергетическом секторе в последние годы нарастает настолько быстро, что существующая структура сетей связи не успевает адаптироваться под новые требования.

Предпосылками широкого перехода на мультисервисные сети передачи данных являются:

- Системы ВЧ связи по ЛЭП большой протяженности, с одной стороны, создают помехи для других радиосредств, с другой стороны, являются элементарными приёмными антеннами, что добавляет помехи к передаваемым по проводам сигналам, а также приводит к ложной сработке каналов диспетчеризации.
- Использование ВЧ линий связи требует значительных временных и финансовых затрат на всем протяженном времени эксплуатации.
- Наличие естественных водных препятствий (озёра, реки, болота) способствуют образованию наледи, что снижает уровень передаваемого сигнала как по передаче, так и по приему.
- Использование дополнительного телекоммуникационного оборудования для ввода в канал связи передаваемых данных с аппаратуры АСУТП, РЗА.
- Зависимость от работ, проводимых на ЛЭП.
- Высокая стоимость оборудования высокочастотной обработки сигнала.

С учётом вышеизложенного очевидна целесообразность повсеместного перехода на мультисервисную сеть обмена технологической информацией с использованием магистральной сети в виде волоконно-оптической линии связи там, где подобный переход подтверждается соответствующими экономическими расчётами. Массовый переход затрудняется, во-первых, отсутствием соответствующей инфраструктуры в виде оптоволоконного кабеля, проложенного до объекта диспетчеризации. Также изменения, связанные с переходом на систему цифровых подстанций и недостаточным опытом внедрения данных систем на территории РФ. Но тем не менее процесс перехода запускается, и в первую очередь под данную модернизацию попадают каналы диспетчеризации как наиболее простое экономичное решение с использованием технологии IP-телефонии.

Рассмотрим типовой ВЧ канал передачи телеметрической информации и диспетчеризации удаленной подстанции (рисунок 1); в состав системы входят: непосредственно ЛЭП, оборудование высокочастотной обработки сигнала, включающее в себя конденсатор связи, фильтр присоединения, высокочастотный заградитель и телекоммуникационное оборудование ВЧ связи. Такая схема получила

широкое распространение в связи с совместным использованием ЛЭП как для передачи электрической энергии, так и информации с подстанции.

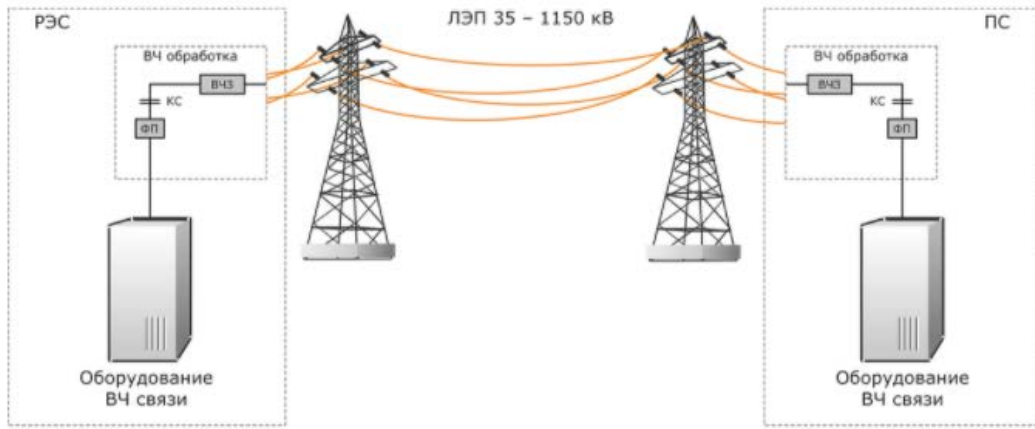


Рисунок 1. Структурная схема организации канала сбора телеметрической информации с подстанции класса 110 кВ

Проводная система связи по ЛЭП предоставляет в использование выделенную частотную полосу для передачи данных с устройств АСУТП, РЗА и диспетчерского канала телефонной связи. Причем преимущество отдано под передачу телеметрической информации, для голоса выделена полоса с 300 до 2100 герц, при этом не теряется качество передаваемого голоса.

Работа данной системы связи заключается в объединении речевых данных и данных АСУТП для передачи по ЛЭП, при этом используются дополнительные модемы ТФМ, выполняющие данную задачу. Таким образом, для работы данной системы требуется дополнительное оборудование. При этом надежность системы в первую очередь возлагается на блок высокочастотной обработки канала связи. Узел высокочастотной обработки канала связи представлен на рисунке 2.

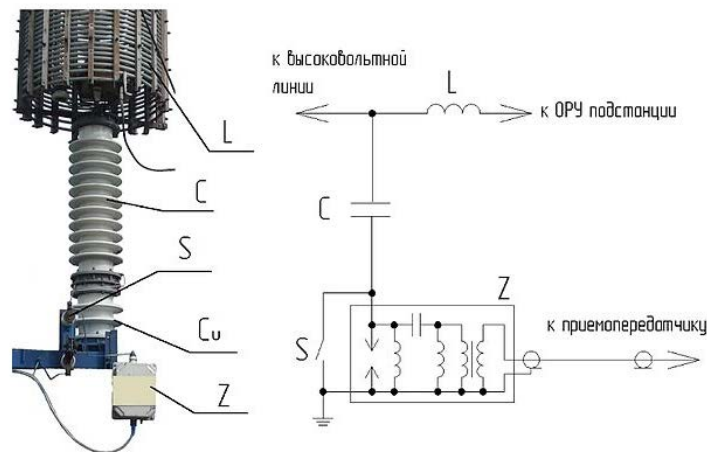


Рисунок 2. Устройство присоединения ВЧ связи



Как видим, на представленном на рисунке 2 устройстве присоединения ВЧ связи присутствует достаточно большое количество узлов, находящихся непосредственно под рабочим высоковольтным напряжением линии электропередачи. Данный аспект вызывает затруднения при обслуживании оборудования связи. Главная задача, которую выполняет конденсатор связи, — это понижение напряжения со значений 110 киловольт до напряжения порядка 25 вольт. Также немаловажно заметить, что в устройство присоединения входит конденсатор связи, который при воздействии на него различных внешних погодных условий или механических повреждений может стать причиной выхода из строя ЛЭП и, соответственно, приведет к аварийному режиму работы не только подстанции, но части единой системы передачи и распределения электроэнергии. Впоследствии потребуются много времени для устранения аварийной ситуации.

Для реализации проекта перехода на цифровые подстанции необходимым условием является развертывание мультисервисной сети передачи данных, таким образом осуществляется отказ от последовательного протокола обмена данных от систем АСУТП, РЗА к реализации IP-протокола в системе диспетчерского технологического управления подстанций и других энергетических объектов. При переходе характерны следующие особенности:

- строительство и активное использование оптических линий связи непосредственно на воздушных линиях электропередачи. Использование ВОЛС дает преимущество по полосе пропускания, отсутствует влияние электромагнитных помех;
- применение протокола TSP/IP и соответствующее телекоммуникационное оборудование стали неотъемлемой частью технологических сетей передачи данных на подстанциях;
- общая стандартизация и переход на технологии с использованием TSP/IP позволяет задать требуемое качество функционирования сетей, то есть осуществляется поддержка протоколом TSP/IP (QoS качество обслуживания).

Применение данных сетевых технологий позволяет минимизировать отрицательные моменты и опасения в надежности и возможности обеспечения требуемого быстрого времени реакции как для программного обеспечения на диспетчерском пункте управления, так и на удаленном объекте.

Переход к использованию сетей и оборудования АСУТП, РЗА на основе протокола TSP/IP позволяет интегрировать управление сетями диспетчерского управления и сбора данных в одну общую единую систему.

Обновление конфигурации на оборудовании АСУТП, РЗА при таком подходе позволяет изменять настройки, установки и режимы работы подпрограмм, работа электрооборудования на подстанциях значительно упрощается за счет загрузки соответствующих данных и настроек с центра обработки данных в короткие

сроки. При старой схеме реализации много времени уделялось на изменение загрузки подпрограмм в микропроцессорные системы непосредственно персоналом на подстанции.

Стандарты для основанных на IP-протоколов телемеханических систем разрабатываются мировым сообществом и уже выпущены для связи на подстанциях [7] IEC61850 (рисунок 3).



Рисунок 3. Единая сеть TCP/IP на базе МЭК 61850

Стандарты для связи между подстанциями и центром управления и между самими подстанциями пока находятся в стадии разработки [3]. На сегодняшний момент перевод голосовых приложений с технологий TDM на IP-связь позволит отказаться от значительного количества медных кабельных линий на подстанциях, так как в таком случае используется единая локальная сеть.

Рассмотрим следующие варианты реализации передачи сигналов телеметрии и управления с подстанции на примере филиала ПАО «РОССЕТИ» Сургутские электрические сети».

При старом подходе использование канала ВЧ связи приводило к наличию большого числа ложных срабатываний телесигнализации, а также периодическому пропаданию сигналов телеизмерений, в том числе и канала диспетчеризации. В грозовой период оборудование частично подвергалось воздействию грозовых разрядов, что неоднократно приводило к выходу из строя не только фильтра присоединения, но и оконечного каналообразующего оборудования, входящего в состав канала связи подстанции. При этом как на подстанции, так и на районном диспетчерском узле используется большое количество дополнительного оборудования в виде модемов для преобразования сигналов в стандартизированный вид по стандарту МЭК. Помимо большого количества оборудования, используется из-

быточное число медных телефонных линий через кроссовые соединения, которые со временем окисляются и не могут обеспечить требуемый контакт, что также приводит к возникновению аварийной ситуации на канале связи, что непременно скажется на диспетчеризации ПС в целом.

При использовании мультисервисной сети передачи данных не требуются использование большого числа оборудования на подстанции и пункте диспетчеризации. За счет применения единого стандарта оборудования, работающего по протоколу TSP/IP, можно отказаться от каналов ВЧ обработки сигналов и использования оптоволоконной сети передачи данных, которая лишена недостатков медных проводных систем. Также все медные соединения производятся через более надежные медные патч-панели.

Таким образом, реализации концепции цифровой подстанции невозможно без перехода на мультисервисную сеть с использованием оборудования, работающего на основе протокола TSP/IP.

### **Список использованной литературы**

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. — Санкт-Петербург : Питер, 2014. — 672 с.
2. Иванов В. С., Соколов В. И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. — Москва : Энергоатомиздат, 2017. — 336 с.
3. Бартоломей П. П., Тащилин В. А.. Информационное обеспечение задач электроэнергетики : учебное пособие / — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015.— 108 с.
4. Перфильев А. Е. Модели и алгоритмы расчета эксплуатационной надёжности и отказоустойчивости телекоммуникационных систем // Информационные и телекоммуникационные технологии в интеллектуальных системах. — Москва, 2012. — С. 110—122.
5. Овчаренко, Н. И. Автоматика энергосистем [Текст]: учебник : рек. Мин. обр. РФ / Н.И. Овчаренко; под редакцией А. Ф. Дьякова. — Москва : Издательство МЭИ, 2009. — 476 с. — (nelbook.ru).
6. Чемборисова, Н. Ш. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей [Текст] : учебное пособие / Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель, АмГУ, Эн.ф. — Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. — 104 с.
7. Смычѣк, М. А. Технологические сети и системы связи : учебное пособие. — 2-е изд. — Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. 400 с.: ил., табл.

УДК 621.396.946

***Пелевин П. В.***

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

## БЕСПРОВОДНАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОФИСНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены и проанализированы основные методы и технологии построения беспроводных сетей обмена данными на малых расстояниях. Также затронуты проблемы существующих проводных сетей сбора данных и их недостатки по сравнению с беспроводными сетями.

**Ключевые слова:** *контроль, беспроводные устройства, малые расстояния, беспроводные технологии.*

***Pelevin P. V.***

Surgut State University, Surgut

## WIRELESS SENSOR NETWORK FOR COLLECTING AND TRANSMITTING TELEMETRY DATA FOR LIFE SUPPORT AT OFFICE AND INDUSTRIAL FACILITIES

*Surgut*

**Abstract.** In this paper, the main methods and technologies for building wireless networks for data exchange over short distances are considered and analyzed. The problems of existing, wired, data collection networks, and their shortcomings compared to wireless networks, are also touched upon.

**Keywords:** *control, wireless devices, short distances, wireless technologies.*

Актуальность темы. В настоящее время вопрос о проектировании надежной и точной системы полной автоматизации жизнеобеспечения объектов, с разнообразными условиями и внешними факторами, влияющими на передачу информации, все чаще и чаще звучит в научных изданиях и статьях. И причин тут много: от желания сократить расходы на работников, оптимизировав часть или полно-

стью все производство до использования подобных систем контроля в условиях, где человек не сможет находиться постоянно по различным причинам.

Именно поэтому беспроводная система контроля и автоматизации, которая решит большинство проблем, как уже существующих, так и тех, которые обязательно проявятся в будущем, станет неотъемлемой частью будущих производственных систем всех отраслей.

Наиболее важный вопрос, который встает перед началом проектирования сети, — это выбор технологии передачи данных, которая бы отвечала всем требованиям.

Именно этим вопросом задался Варгаузин В. Д в своей работе [2], рассмотрев наиболее перспективные технологии и способы построения беспроводных систем телеметрии на промышленных объектах на примере mesh-сетей, выделив их низкую скорость передачи и крайне малое энергопотребление, основной задачей которых является сбор значений от различных датчиков. Также в качестве особенности он выделил самоорганизацию и адаптивность таких сетей, при малых затратах при установке и обслуживании. Не менее важный вопрос при проектировании — это топология сети, которая должна обеспечить не только минимальные связи, но создать «избыточные», которые в случае потерь основных каналов примут на себя эту роль [1].

Задача реализации проекта, использующего несколько технологий и в конце концов объединяющих весь поток информации в один набор данных, также имеет смысл, так как на сегодняшний день имеются три главных технологии: ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi [4-6]. У каждой из этих технологий есть свои сильные и слабые стороны, которые бы могли уравниваться теми областями автоматизируемого объекта, на которых их слабые стороны не были бы так критичны.

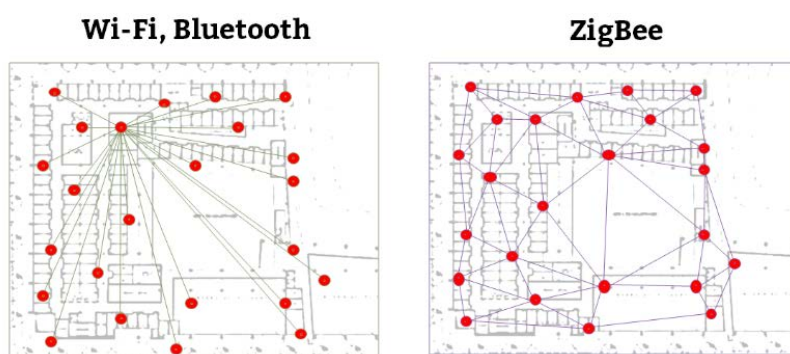


Рисунок 1. Wi-Fi/Bluetooth — звезда ZigBee — Mesh

Данные технологии уже давно используются при автоматизации различных объектов, но в основном это небольшие по охвату территории и с использованием

одной технологии [3], что бывает не всегда удобно и заставляет находить компромиссы, отказываясь от того, что менее важно.

Как итог, мы можем выделить несколько проблем, которые будут присутствовать при проектировании беспроводной системы сбора данных: выбор технологии, так как ни одна из существующих систем не идеальна, а также не оптимизирована под взаимодействие с другими технологиями; комплексная автоматизация подразумевает просчет каждого «метра» для покрытия и исправной работы сети, и т. д.

Но уменьшив влияние проблем, полученная система решит множество задач, позволив оперативно получать всевозможную информацию об объекте и также оперативно реагировать на изменения, не допуская необратимых последствий.

### Список использованной литературы

#### *Статьи из сборников*

1. Баскаков, С. С. Построение систем телеметрии на основе беспроводных сенсорных сетей / С. С. Баскаков // Автоматизация в промышленности. — 2012. — № 12. — URL: <https://avtprom.ru/article/postroenie-sistem-telemetrii-na>

#### *Статьи из сборников*

2. Варгаузин, В. Д. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 / В. Д. Варгаузин // ТелеМультиМедиа. — 2005. — № 6(34). — URL: <http://book.itep.ru/depositary/zigbee/802.15.4.pdf>

#### *Интернет-источник*

3. Z-WavevsZigBee, Wi-Fi, Thread, Bluetooth BLE: выбираем протокол управления умным домом. — URL: <https://superhome.pro/z-wave-vs-zigbee-wifi-thread-bluetooth-ble-vybiraem-protokol-upravleniya-umnym-domom/>

#### *Интернет-источник*

4. ZigBee specification. ZigBee Document 053474r06. — URL: <https://www.zigbee.org/>

#### *Интернет-источник*

5. WiFi specification. — 2006. — URL: [http://www.wifi.com/p\\_faq.html](http://www.wifi.com/p_faq.html)

#### *Интернет-источник*

6. Bluetooth specification, Version 2.0 — EDR. — 2004. — URL: <http://www.bluetooth.com/>

УДК 621

*Селиванов А. И.*

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА ДЛЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ «СЛУЧАЙНЫЙ ЛЕС»

*г. Сургут*

**Аннотация.** Рассмотрены задачи, методы и проблемы классификации сетевого трафика методами машинного обучения и интеллектуального анализа данных. Анализируются актуальные вопросы классификации IP-трафика на основе статистических методов. Анализируются особенности формирования, оценки влияния структуры и объема обучающей и тестирующей выборки на эффективность классификации приложений на уровне пакетов. Рассмотрена классификация сетевых приложений WEB (http, https), BitTorrent, DNS, Google (QUIC), SSL, Skype, Steam, BigBlueButton и Asterisk методом «Случайный лес». Рассмотрена программная реализация искусственных нейронных сетей.

**Ключевые слова:** *машинное обучение, нейронные сети, классификация, трафик, «случайный лес», зашифрованный трафик, выделение признаков классификации, важность признаков, дерево решений, анализ трафика, обработка трафика.*

*Selivanov A. I.*

Surgut State University  
Department of radio electronics and electric power industry

## STUDY OF TRAFFIC PARAMETERS FOR ANALYSIS AND PROCESSING BY MACHINE LEARNING RANDOM FOREST

*Surgut*

**Abstract.** The tasks, methods and problems of classifying network traffic using machine learning and data mining have been considered. Analysis of relevant issues of payload-based IP-traffic classification has been carried out. Formation features, assessment of the structure and volume impact of the learning and testing sample on the efficiency of application classification at the packet level have been analyzed. The paper presents the classification of network

applications such as WEB (HTTP, HTTPS), BitTorrent, DNS, Google (QUIC), SSL, Skype, Steam, Tor, Big Blue Button, VoIP based on random forest method. Software implementation of artificial neural networks have been considered.

**Keywords:** *machine learning, neural networks, classification, traffic, random forest, encrypted traffic, classification feature extraction, feature importance, decision tree, traffic analysis, traffic processing.*

Процесс сопоставления трафика и приложений, которые его создают, называется классификацией сетевого трафика. Она необходима для широкого набора возможностей, например для управления трафиком, анализа современных тенденций, проведения сетевых исследований и обеспечения сетевой безопасности. Основываясь на типе трафика, можно принимать определенные правила относительно доступа к конкретным типам приложений и сервисов, то есть управлять ими.

Классификация может быть основана на различной информации о потоках трафика, такой как номера портов, полезная нагрузка приложений или же статистические особенности потоков. Любой из уникальных подходов имеет свои достоинства и недостатки [1].

Схема классификации по портам проверяет заголовки пакета. Данный метод — самый неточный, так как сейчас развиваются приложения на протоколах P2P, которые произвольно выбирают номера портов.

Классификация на основе полезной нагрузки считается наиболее точной. Но для ее работы требуются большие вычислительные ресурсы. Также данный метод неприменим, если трафик зашифрован.

На данный момент наиболее перспективным направлением является статистическая классификация. Она использует параметры потоков трафика, основанные на его статистике. Трафик, генерируемый приложениями, имеет свои уникальные характеристики, которые отражают отличительное поведение и внутренние особенности приложений. Используя технологии машинного обучения и тренировочный набор данных, можно легко построить классификатор трафика.

Таблица 1. Сравнение подходов классификации

Показатель	Подход, основанный на:		
	Номера х портов	Нагрузке пакета	Статистике потоков
Точность	Низкая	Высокая	Высокая
Сложность выделений признаков	Низкая	Высокая	Зависит от набора признаков
Сложность классификации	Низкая	Высокая	Средняя



Зашифрованный трафик	Да	Нет	Да
Априорная информация	Список портов	Сигнатуры	Помеченные данные
Отбрасывание неизвестного трафика	Да	Да	{шум}

В работе был использован набор признаков, составленный только по размеру сетевых пакетов, отправленных со стороны клиента и сервера, передаваемых в потоке. Всего в сумме 32 признака.

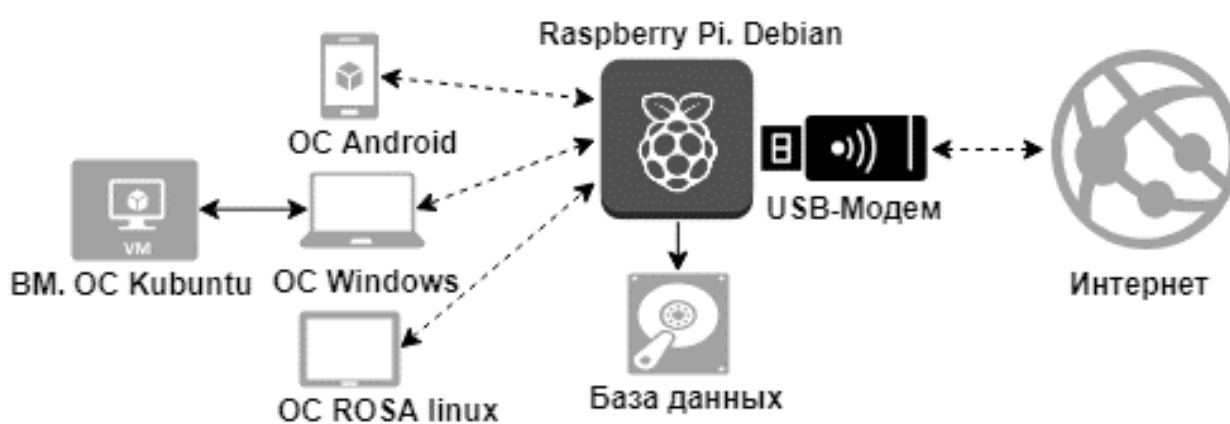


Рисунок 1. Схема используемой сети

Для формирования начальных данных была использована сеть (рисунок 1), состоящая из нескольких устройств на разных системах. За 3 дня было собрано около 15 Гб трафика. Для определения протокола прикладного уровня каждого потока был использован анализатор трафика nDPIReader. Потоки, содержащие менее 10 пакетов, при классификации не рассматривались. Для удаления всей полезной нагрузки дампа и расчёта статистических метрик был написан скрипт на питоне, который на выходе сохранял всю информацию в формате таблицы. В результате чего дамп размером в 20 Гб был преобразован в таблицу размером в 3,5 Мб.

Метод классификации «случайный лес» является одним самых эффективных [2]. Он представляет собой ансамблевый метод обучения для классификации регрессии, который действует путем построения множества решающих деревьев. Данный метод строит леса, деревья которого независимы между собой, что уменьшает общую дисперсию алгоритма. Также данный алгоритм может дать информацию о том, какие признаки больше всего повлияли на точность классификации.

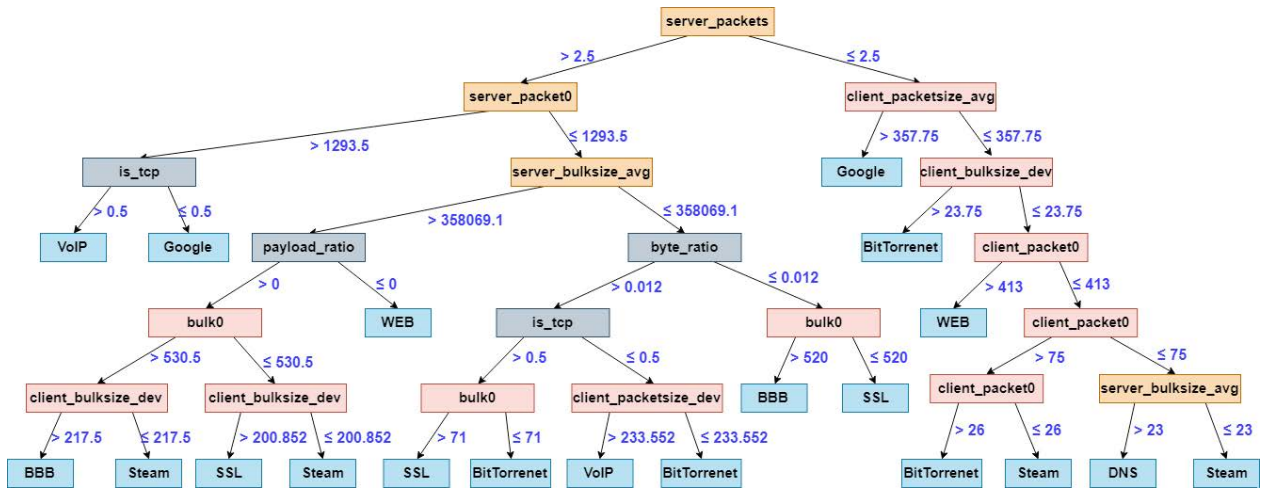


Рисунок 2. Пример одного из дерева решений

В данном эксперименте был реализован метод «случайный лес» и оценено качество классификации на исходной выборке. Эффективность алгоритма определялась отдельно для каждого класса такими метриками, как точность, полнота и F-мера.

Таблица 2. Данные метрики

	Точность	Полнота	F-мера	Число потоков
BitTorrent	0,98	0,98	0,98	648
DNS	1	1	1	6116
Google	0,69	0,4	0,51	334
WEB	0,99	0,98	0,98	2058
QUIC	0,66	0,87	0,75	450
SSL	0,98	1	0,99	2202
Skype	0,94	0,93	0,94	194
Steam	0,99	0,96	0,98	320

Видно, что наибольшую эффективность алгоритм имеет для данных, относящихся к DNS-трафику, когда как протоколы Google и Quic классификатор путает. Данные неточности вызваны тем, что протоколы разрабатывала одна и та же компания, вследствие чего их технологии и метрики похожи друг на друга.

Таблица 3. Важность признаков

Признак	Важность (%)
Количество байт в первом сегменте клиента	19,45
Используется ли TCP	11,79
Количество полезной нагрузки, переданной клиентом	9,52
Отклонение размера порции клиента	5,12
Отклонение размера сегмента клиента	3,97
Количество байт, переданных клиентом	3,94
Количество байт в первой порции данных клиента	3,51
Количество байт в первом сегменте сервера	3,46
Средний размер сегмента со стороны клиента	3,44
Количество байт в первой порции данных сервера	3,12

Также благодаря данному алгоритму можно узнать, какие признаки больше всего повлияли на точность классификации. В таблице 3 показаны 10 самых важных признаков данной выборки. В таблицу вошли 7 признаков, завязанных на клиенте, признак TCP протокола и лишь 2 признака от сервера, из чего можно сделать вывод, что признаки, собранные с клиента, имеют намного больше важности, чем признаки сервера.

В целом алгоритм «случайный лес» продемонстрировал высокую эффективность классификации, о чем, в частности, свидетельствует F-мера, равная 89,125.

### Список использованной литературы

1. Шелухина О. И. Классификация IP-трафика методами машинного обучения. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2018. — 284 с.
2. Breiman L. Random Forest, Machine learning. — 2001. — URL: <https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/randomforest2001.pdf> (дата обращения: 11.03.2022).

УДК 621.315

*Пономарев В. С.*

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

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОМОБИЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

*г. Сургут*

### **Аннотация.**

**Предмет.** В настоящее время использование быстромобильных устройств, в том числе и БПЛА, может сильно упростить жизнь и оптимизировать производство. Если мы говорим про использование в сельскохозяйственной промышленности, то они могут сократить время производства, обеспечить более точный мониторинг за состоянием продукции и оптимизировать производство, т.к. БПЛА могут выполнять множество функций, от прямого участия в производстве продукции, так и выполнять охранную роль. Однако для нормального их функционирования требуется система управления. В данной статье выявляются основные нежелательные факторы и субъекты, связанные с этой проблемой.

**Цель.** Исследование проблемы проектирования систем управления БПЛА. Поиск проблем и направлений решения основной проблемы.

**Методология.** В процессе исследования проблемы проектирования систем управления БПЛА были использованы методы логического анализа.

**Результаты.** Было составлено дерево текущей реальности на основании статей, связанных с этой проблемой. Были сделаны основные выводы по способам решения данной проблемы и выявлены два основных пути решения.

**Вывод.** При анализе был сделан вывод об актуальности данной проблемы и нескольких направлениях ее решения.

**Ключевые слова:** *БПЛА, система управления, проектирование, телекоммуникация.*

*Ponomarev V. S.*

Surgut State University, g. Surgut

## DESIGN OF A CONTROL SYSTEM FOR FAST MOBILE DEVICES

*Surgut*

### **Abstract.**

**Thing.** Currently, the use of fast mobile devices, including UAVs, can greatly simplify life and optimize production. If we are talking about the use in rural industry, they can reduce

production time, provide more accurate monitoring of the condition of products and optimize production. UAVs can perform many functions, from direct participation in the production of products, and to perform a security role. However, for their normal functioning, a control system is required. This article identifies the main undesirable factors and subjects associated with this problem.

**Target.** Study of the problem of designing UAV control systems. Search for problems and directions for solving the main problem.

**Methodology.** In the process of studying the problem of designing UAV control systems, methods of logical analysis were used.

**Results.** A current reality tree was compiled based on articles related to this problem. The main conclusions were made on how to solve this problem and 2 main solutions were identified.

**Conclusion.** The analysis concluded that this problem is relevant and there are several ways to solve it.

**Keywords:** *UAV, control system, design, telecommunications.*

В настоящее время широкое распространение набирают беспилотные летательные средства, притом их использование распространяется не только на военную промышленность, но и на сельскохозяйственные предприятия и даже сферу развлечений. Как и любой техникой, БПЛА нужно управлять, и не играет роли, если функцию управления на себя берет алгоритм или человек. Однако проектирование системы управления для БПЛА — сложная задача и включает в себя совокупность проблем, требующих решения.

При работе со статьями в интернет-ресурсе elibrary были выявлены нежелательные явления, на основании которых были установлены основные фактические проблемы, которые упоминаются в данных статьях и патентах. К нежелательным явлениям, выявленным в ходе анализа статей, относятся: высокие требования к основным параметрам приемопередатчика [1], риск причинения вреда окружающим объектам и людям [2], сложносовместимые системы автоматического и ручного управления [3] и недостаточное повышение точности навигационного устройства беспилотника [4]. Отталкиваясь от этих фактов, были предложены гипотезы причин и следствий этих фактов. Например, причиной недостаточного повышения точности навигационного устройства беспилотника можем считать недостаточную точность начальных данных с существующих топографических карт, а следствием нежелательного явления можем считать несовершенство системы приемопередачи беспилотника. Для остальных фактов был проведен такой же анализ, на основании чего и строилось дерево текущей реальности. После нахождения следствий и причин данных явлений были выявлены субъекты, которых непосредственно касаются данные нежелательные явления. В построенном дереве текущей реальности основными субъектами будут выступать: компании, занимающиеся составлением топографических карт, произво-

дители навигационного оборудования, производители сетевого оборудования, производители внутренних компонентов беспилотника, государственный орган законодательной власти и производители контроллеров управления беспилотниками. Последнего субъекта выделим отдельно в качестве заказчика, от которого будет и вестись формирование проблемы по текущей теме. Таким образом, нам требуется спроектировать систему управления беспилотником, заказчиком которой будут выступать компании-производители контроллеров управления, учитывая все нежелательные явления, представленные на дереве текущей реальности (рисунок 1).

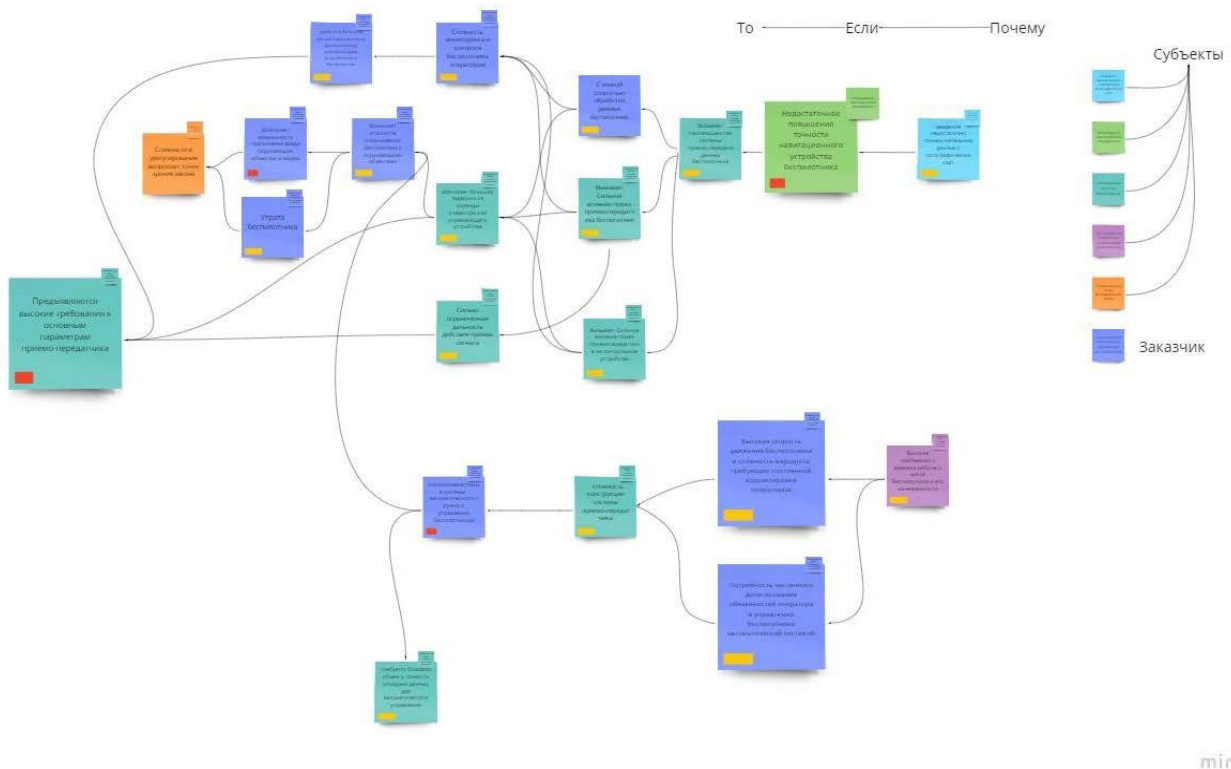


Рисунок 1. Дерево текущей реальности

Итак, в качестве основной проблемы выделим сложность совмещения автоматического и ручного управления беспилотником. Проанализировав статьи на выбранную тему, можем выявить несколько основных направлений решения данной проблемы. Первый — это физический уровень, который подразумевает совершенствование физической части беспилотника, усовершенствование систем приемопередатчиков и архитектур построения беспилотника. Вторым направлением выступает программный уровень, подразумевающий использование нестандартных или разработку новых протоколов управления, а также моделирование систем управления в программной среде.

### Список используемой литературы

1. Лушпа И. Л., Монахов М. А. Исследование надежности механических компонентов антенно-фидерного устройства системы управления беспилотными летательным аппаратом. — URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=22001511> (дата обращения: 14.04.2022).
2. Мажаев В. С., Захаров М.О., Ларин В.Л., Коломин И.В. Кибербезопасность систем беспилотного управления автомобилем. — URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=42786618> (дата обращения: 14.04.2022).
3. Пэн Бинь, Гуань Уле. Способ управления полетом и устройство управления полетом беспилотного летательного аппарата и беспилотный летательный аппарат. — URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=37537265> (дата обращения: 14.04.2022).
4. Никольцев В. А., Войнов У. А., Подвальных А. С., Яковлев В. Н., Симановский И. В., Подоплекин Ю. Ф., Коржавин Г. А., Андриевский В. Р., Якобсон А. Б., Цвинтарный В. Я., Ефремов Г. А., Царев В. П., Мартыненко В. Т. Система управления беспилотным летательным аппаратом с комплексным навигационным устройством. — URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=38020187> (дата обращения: 14.04.2022).
5. Щагин А. В., Вэй Я. Л., Наинг Л. З. Программа для аппаратно-программного моделирования устройства управления беспилотным средством видеомониторинга. — URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=39334169> (дата обращения: 14.04.2022).

УДК 004.77

*Абдулаев М. И.*

Политехнический институт СурГУ, г. Сургут

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Гетерогенная сеть строится из подсетей, работающих в разных стандартах, по разным технологиям. При этом все они образуют единую интегрированную среду, где обеспечен бесшовный незаметный для пользователя переход из одной подсети в другую. То есть гетерогенная сеть функционирует как единая система. Гетерогенные сети обеспечивают непрерывное нахождение абонента в этой сети, независимо от того, подключен он к ней через макросоту или малую соту, в каком стандарте она работает и по какой технологии. Ожидается, что мобильные сети следующего поколения позволят значительно увеличить пиковые скорости передачи данных, спектральную и энергетическую эффективность, а также обеспечить единообразное обслуживание в любое время, в любом месте и для любых услуг.

**Ключевые слова:** *гетерогенная сеть, единая система, стандарт, абонент, макросоты, малые соты.*

*Abdulaev M. I.*

Polytechnic Institute of SurGU, Surgut

## DESIGNING HETEROGENEOUS MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

*Surgut*

**Abstract.** A heterogeneous network is built from subnets operating in different standards, using different technologies. At the same time, they all form a single integrated environment, where a seamless transition from one subnet to another is provided, unnoticeable to the user. That is, a heterogeneous network functions as a single system. Heterogeneous networks ensure the continuous presence of the subscriber in this network, regardless of whether he is connected to it via a macrocell or a small cell, in what standard it works and by what technology. It is expected that next-generation mobile networks will significantly increase peak data rates, spectral and energy efficiency, as well as provide uniform service at any time, anywhere and for any services.



**Keywords:** *heterogeneous network, unified system, standard, subscriber, macrocells, small cells.*

В настоящее время развитие телекоммуникационных технологий происходит стремительными темпами, что обусловлено всё возрастающим числом пользователей систем мобильной связи и их повышенными потребностями в ресурсах беспроводной сети. Во избежание истощения ограниченных частотно временных радиоресурсов, имеющих у современных технологий мобильного доступа международными комитетами по стандартизации ведется напряженная работа над новыми спецификациями, определяющих работу сетей связи пятого поколения (5G). Для повышения качества обслуживания своих пользователей такие гетерогенные беспроводные сети все более тесно интегрируют между собой существующие, а также перспективные технологии радиодоступа, что приводит к возникновению принципиально новых научно-технических задач.

Объектом проектирования является гетерогенная беспроводная сеть с набором технологий радиодоступа при высокой плотности размещения устройств, а предмет проектирования составляют модели множественного доступа для гетерогенной беспроводной сети и алгоритмы управления потоками трафика с целью снижения нагрузки на сотовую сеть радиодоступа.

Материалы по данной теме представлены во многих научных работах. В статье [1] приводится общее понятие гетерогенных сетей, статистика использования мобильного трафика, строительства гетерогенных сетей. В работе [2] рассматриваются ключевые технологии HetNet (HeterogenicNetworks). В статье [3] содержится краткая характеристика стандарта связи 5G и его отличия от предшествующих стандартов, рассматриваются сценарии взаимодействия наземного и железнодорожного транспорта в транспортной инфраструктуре, возможность создания гетерогенной сети. Работа [4] посвящена повышению удельной скорости передачи информации в частотных каналах абонентов фемтосот стандарта LTE (Long Term Evolution) за счет снижения внутрисистемных помех. В перспективных мобильных сетях пятого поколения все более актуальной становится задача повышения ёмкости системы связи, а также качества пользовательского соединения. Для этих целей возможно применять новый способ прямого соединения пользователей, построенный на взаимодействии «устройство — устройство» (device-to-device, D2D). Такое гетерогенное взаимодействие позволяет выгружать потоки данных из сотовой сети в систему D2D, которая может функционировать на нелицензированных частотах. В данной статье [5] рассматривается модель системы прямых соединений D2D с сотовой поддержкой, обслуживающей потоки пользовательских данных (сессии), а также предлагается алгоритм управления выгрузкой тра-

фика из сотовой сети на соединения D2D. Приводятся результаты аналитического и имитационного моделирования, позволяющие провести исследование гетерогенной системы связи с возможностью взаимодействия «устройство — устройство». В статье [6] рассматриваются все ключевые технологии 5G.

Таким образом, согласование работы различных технологий радиодоступа и использование прямых соединений «устройство — устройство» требуют создания новой методологии управления потоками трафика и организации множественного доступа, предоставляющей набор методов для контроля за установлением соединения, назначения мощности передачи и разделения ресурса между пользователями. Соответствующие методы должны обеспечить высокую скорость передачи данных в числе прочих требований к сетям 5G, таких как высокая емкость системы (выраженная, например, в числе одновременно обслуживаемых пользователей), низкая задержка доступа в сеть при установлении соединения или передаче данных, а также приемлемая энергетическая эффективность при доставке трафика (определяемая как объем данных, переданный в расчете на затраченную при этом энергию). Как следствие, необходим комплексный подход, учитывающий основные особенности современного этапа развития гетерогенных беспроводных систем мобильного доступа, такие как высокая плотность размещения пользовательских устройств и узлов сетевой инфраструктуры, тесная интеграция разнородных технологий радиодоступа и использование прямых соединений между устройствами, а также применение крайне высоких частот и обеспечение поддержки приложений Интернета вещей с учетом особенностей носимых устройств. В результате возникает важная научно-техническая проблема по созданию моделей и алгоритмов для обеспечения эффективного функционирования гетерогенных беспроводных сетей.

Мобильным сетям будущего понадобятся значительные ёмкости и пользовательский опыт, и это будет достигнуто именно с помощью HetNet. Микро-БС (базовые станции) должны быть размещены в местах массового скопления людей и большого количества трафика для разгрузки макро БС. Необходима надлежащая координация: макро- и микро-БС должны минимально влиять друг на друга. Любая микро-БС должна интегрировать в себе элементы питания, фидер и защиту от перенапряжения, чтобы свести к минимуму требования к месту размещения и затраты на развертывание.

### Список использованной литературы

1. Коммерсантъ — HetNet — гетерогенные сети (Heterogenic Networks). — URL: <https://www.kommersant.ru/doc/2898059> (дата обращения: 15.04.2022).

2. 1234g.ru — Гетерогенные сети. — URL: <http://1234g.ru/4g/lte/struktury-setej-lte/geterogennye-seti-klyuchevye-tekhnologii-hetnet-i-stsenarii-razvertyvaniya> (дата обращения: 15.04.2022).
3. eLIBRARY.ru — Применение технологии 5G на примере гетерогенной сети. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41110066> (дата обращения: 15.04.2022).
4. eLIBRARY.ru — Алгоритмы управления ресурсами в гетерогенных сетях стандарта LTE (Long Term Evolution). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25290120> (дата обращения: 15.04.2022).
5. cyberleninka.ru — Управление потоками в гетерогенных мобильных сетях радиодоступа с соединениями «устройство-устройство». — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-potokami-v-geterogennyh-mobilnyh-setyah-radiodostupa-s-soedineniyami-ustroystvo-ustroystvo> (дата обращения: 15.04.2022).
6. m.fibresplitter.com — Ключевые технологии 5G — Суперплотная гетерогенная сеть. — URL: <http://ru.fibresplitter.com/info/5g-key-technologies-super-dense-heterogeneous-44570295.html> (дата обращения: 15.04.2022).

УДК 681.518

*Семенова Л. Л.*

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

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УТЕЧЕК МЕТАНА НА МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные недостатки существующих методов мониторинга утечек метана из магистральных газопроводов. Предложена концепция дальнейшего развития одной из существующих систем мониторинга, схема построения приемопередающего модуля, общая концепция построения телекоммуникационной сети контроля утечек метана.

**Ключевые слова:** *распределенная телекоммуникационная систем, дистанционный мониторинг утечек, аппаратно-программный комплекс, распределенная система контроля.*

*Semenova L. L.*

Surgut State University, Surgut

## THE CONCEPT OF BUILDING A DISTRIBUTED TELECOMMUNICATION SYSTEM FOR MONITORING METHANE LEAKAGES ON THE MAIN GAS PIPELINE

*Surgut*

**Abstract.** The article discusses the main disadvantages of existing methods for monitoring methane leaks from main gas pipelines. The concept of further development of one of the existing monitoring systems, a scheme for building a transceiver module, a general concept for building a telecommunication network for monitoring methane leaks is proposed.

**Keywords:** *distributed telecommunication system, remote leak monitoring, hardware and software complex, distributed control system.*

Главной составляющей ТЭК России является газовая магистраль. Такие магистрали занимают одно из первых мест по капиталовложениям, и длительность их

нормального функционирования позволяет существенно снизить затраты компаний. Газопроводная сеть России является одной из самых протяженных в мире и составляет более 160 тыс. км (рисунок 1).



Рисунок 1. Коридоры магистральных газопроводов России 2021–2025 гг.

Кроме того, большая часть магистральных газопроводов построена более 30 лет назад и выработала свой ресурс, но до сих пор находится в эксплуатации, что приводит к большому числу аварийных ситуаций [1]. Утечки метана из газопровода оказывают крайне негативное влияние на окружающую среду, приводя к ее загрязнению. Согласно исследованиям ООО «Газпром ВНИИГАЗ», среднее значение утечек по ПАО «Газпром» составляет  $0,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 1 км трубопровода. Следовательно, для участка газопровода длиной 200 км потери составят  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$  и 519 тыс.  $\text{м}^3$  в год [2]. Нарушение герметичности газопроводов происходит по различным причинам, одной из главных является коррозия. На рисунке 2 показана диаграмма распределения причин возникновения утечек на газопроводах за 10 последних лет.



Рисунок 2. Диаграмма распределения причин утечек на газопроводах

Для сохранения окружающей среды необходим регулярный мониторинг состояния газовой трубы. Основная сложность при этом возникает именно на магистральных газопроводах ввиду их большой протяженности и устаревания. Процесс определения места коррозии требует немалых экономических затрат, поэтому для решения этих проблем возможно к существующим инструментам и методам привязать дополнительные устройства, позволяющие контролировать надежность магистральных газопроводов, но не оказывающие влияния на технологический процесс их эксплуатации. Т. е. необходимо организовать распределённую телекоммуникационную систему, которая будет в состоянии идентифицировать технологические объекты и проводить мониторинг магистральных участков газопроводов без их вскрытия с достаточной точностью.

Для обнаружения утечек разработано большое число различных методов неразрушающего контроля, как визуальных (обход и визуальный осмотр), так и инструментальных (метод акустической эмиссии, ультразвуковой, вихретоковый, тепловизионный методы и т. д.), которые могут применяться как по отдельности, так и в различных комбинациях [2, 3]. Также для сбора данных о наличии утечки необходим доступ к магистральной трубе либо с помощью вертолётов, либо с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [4]. Основным недостатком указанных методов заключается в том, что все они применимы только локально, на определенном участке газопровода. Использование вертолетов и БПЛА, оснащенных газоанализаторами, также не решает этой проблемы, т. к. в этом случае контроль осуществляется только в периоды вылетов.

Таким образом, можно сделать вывод, что оптимальный метод — это непрерывный мониторинг объекта на всем протяжении магистрального газопровода, позволяющий зафиксировать наличие утечки.

Разработка системы непрерывного мониторинга приведена в работе [5]. Предложена система мониторинга на основе сенсорной телекоммуникационной системы мониторинга утечек газа. В качестве регистратора утечек предложено использование датчика утечки метана (стационарный инфракрасный датчик-газоанализатор МИП ВГ-02-1-II-X.1). Основным недостатком предложенного решения заключается в том, что датчики имеют очень ограниченный радиус действия, зависящий от погодных условий, от розы ветров и т. д., следовательно, для повышения точности контроля необходимо увеличивать их количество.

Развитием этого метода может служить замена датчиков на приемопередатчик на основе технологии абсорбционно-спектроскопического анализа, т. е. не «вынюхивать» метан датчиком, а непрерывно либо импульсами простреливать специальным лазерным лучом со специфической длиной волны, чувствительной именно к метану. Приемопередатчик реализуется в виде малогабаритного эффективно-го источника лазерного излучения и фотоприемника. Если лазерный луч попада-

ет в газовое облако, метан поглощает часть энергии луча, что незамедлительно фиксирует детектор (рисунок 3). В качестве рабочего предлагается использование полупроводникового лазера, т. к. он менее габаритный, потребляет меньшую мощность по сравнению с гелий-неоновыми лазерами.

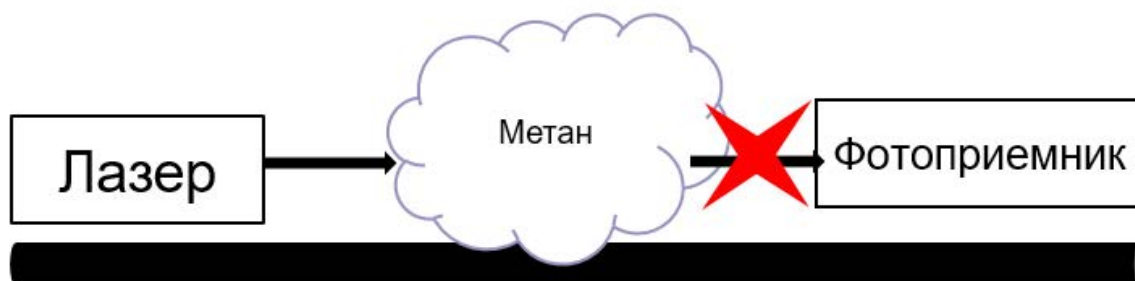


Рисунок 3. Схема работы приемопередатчика на основе лазерного излучения

Сеть, состоящая из подобных приемопередатчиков, устанавливается вдоль трубы магистрального газопровода либо на минимальном расстоянии от нее, с учетом розы ветров, и не требует прямого доступа к самой трубе. Фотоприемник может быть оснащен устройством первичной обработки сигнала и ретранслятором, использующим беспроводную технологию передачи данных. Множество таких узлов образует сеть последовательно расположенных беспроводных устройств, соединенных по принципу «точка — точка». Передатчик считывает информацию от фотоприемника с определенным интервалом, выполняет аналого-цифровую обработку и передает информацию о наличии либо отсутствии утечки (о приеме либо отсутствии луча в точке приема) в виде пакета с цифровыми данными в распределенную сеть.

Основные принципы, которые необходимо соблюдать при проектировании распределенной телекоммуникационной системы мониторинга:

- системный подход к проектированию структуры телекоммуникационной системы;
- многофункциональность (гибкость);
- модульность;
- стандартизация;
- универсальность в отношении вычислительных средств;
- территориальная распределенность [6].

В структуру распределенной телекоммуникационной системы должны входить: устройства мониторинга утечек метана; автономные источники питания; приемопередающие модули для приема информации от ЛМ и передачи ее по беспроводным каналам связи; локальные пункты приема и обработки посту-

пающих данных; а также программные средства, обеспечивающие обработку информации и ее визуализацию для конечного потребителя.

Система мониторинга реализуется в виде аппаратно-программного комплекса. Аппаратная часть представляет собой телекоммуникационную распределенную систему мониторинга, состоящую из лазерных источников излучения и фотоприемников, связанных беспроводным радиоканалом друг с другом по стандарту сети, работающей по принципу «точка — точка»; программная часть — систему, которая эти данные собирает, обрабатывает и отображает оператору на экране, где и когда обнаружена эта утечка. В системе предусматривается комплексирование эффективных локальных устройств контроля утечек газа, телекоммуникационных средств связи и программного обеспечения в единую систему мониторинга (рисунок 4).

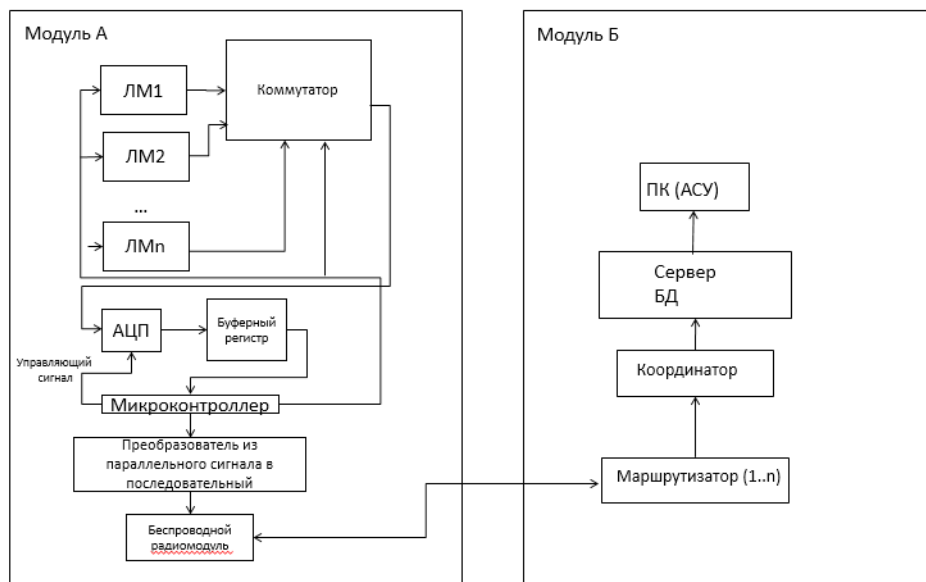


Рисунок 4. Концепция построения телекоммуникационной системы контроля утечек метана

В состав системы входит два модуля А и В. Модуль А отвечает за сбор данных об утечках, модуль Б — за управление, передачу данных по беспроводному радиоканалу к центру сбора и обработки информации. В состав первого модуля входят лазерные модули (ЛМ), коммутатор, информация с которого поступает на аналогово-цифровой преобразователь и через буферный регистр в микроконтроллер. Микроконтроллер отвечает за прием управляющих сигналов от модуля Б и преобразует данные об утечке к формату, подходящему для передачи по радиоканалу. В модуле Б представлен фрагмент системы, обеспечивающей передачу данных, полученных от радиомодуля, далее для обработки и вывода обслуживающему оператору.



Распределенная телекоммуникационная сеть имеет узловую структуру и может использовать при передаче такие технологии беспроводной связи, как GSM, ZigBee или более современные LoRaWan, NB-IoT Low-Power. Также сеть имеет несколько ветвей и узлов контроля, которые могут быть размещены на компрессорных станциях.

Достоинством распределенной телекоммуникационной системы мониторинга является то, что она может быть оперативно развернута в любом месте, где проходит магистральный газопровод. Кроме того, возможно дальнейшее развитие системы мониторинга в плане возможности использования прогностических моделей для повышения качества мониторинга.

### Список использованной литературы

1. Единая система газоснабжения России // Газпром [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.gazprom.ru/about/production/transportation/> (дата обращения: 24.10.2021).
2. Ямкин А. В. Опытные испытания стационарной системы инфразвукового мониторинга на участке магистрального газопровода: [Электронный ресурс]. — Томск, 2019. — URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/53401/1/TPU693482.pdf> (дата обращения: 01.11.2021).
3. Чупин В. Р., Гаськов Е. В., Майзель Д. И. Методы обнаружения утечек газа из магистральных трубопроводов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. — 2012. — №2 (3). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-obnaruzheniya-utechek-gaza-iz-magistralnyh-truboprovodov> (дата обращения: 01.11.2021).
4. Дистанционный детектор метана для авиационного обследования газопроводов // Пергам [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.pergam.ru/articles/detektor-metana-dlya-gazoprovodov.htm> (дата обращения 5.11.2021).
5. Бушмелев П. Е. Беспроводная сенсорная телекоммуникационная система контроля утечек метана из магистралей газотранспортной сети : дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13. — Москва, 2014.
6. Сидоренко А. В., Мулярчик К. С. Использование беспроводных сенсорных сетей в задачах мониторинга техногенных объектов // Доклады БГУИР. — 2015. — №7 (93). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-besprovodnyh-sensornyh-setey-v-zadachah-monitoringa-tehnogennyh-obektov> (дата обращения: 03.03.2022).

УДК 621

***Измодедова Д. А., Митрошин К. О.***

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

РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ  
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК МЕТАНА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДАХ НА БАЗЕ БЕСПРОВОДНЫХ  
СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье рассматривается система мониторинга технологических объектов нефтегазовой промышленности на базе беспроводной сенсорной сети. Рассмотрены существующие методы дистанционного контроля объектов нефтегазовой промышленности и предложено решение для повышения эффективности наблюдения за утечками магистральных газопроводов на базе распределенных сенсорных сетей.

**Ключевые слова:** *беспроводная сенсорная сеть, датчик, магистральный газопровод, распределенная система контроля.*

***Izmodenova D. A., Mitroshin K. O.***

Surgut State University, Surgut

DISTRIBUTED TELECOMMUNICATION SYSTEM  
FOR MONITORING METHANE LEAKS ON MAIN GAS  
PIPELINES BASED ON WIRELESS SENSOR  
NETWORKS

*Surgut*

**Abstract.** The article discusses the monitoring system of technological facilities of the oil and gas industry based on a wireless sensor network. The existing methods of remote monitoring of oil and gas industry facilities are considered and a solution is proposed to improve the efficiency of monitoring leaks of main gas pipelines based on distributed sensor networks.

**Keywords:** *wireless sensor network, sensor, main gas pipeline, distributed control system.*

## **Распределенная телекоммуникационная система контроля утечек метана на магистральных газопроводах на базе беспроводных сенсорных сетей**

Магистральные газопроводы (далее — МГ), которые простилаются по всей стране, являются одной из важнейших составляющих топливно-энергетических комплексов России и играют немаловажную роль в её экономике. Неизбежными со временем становятся повреждения газопроводов и, как следствие, утечки газа (метана) ввиду различных факторов, например коррозии, реже механических повреждений. Поддержание МГ в исправном состоянии путем своевременного мониторинга газотранспортных сетей (далее — ГТС) на наличие повреждений и утечек являются одной из проблем нефтегазовой промышленности. Для определения мест утечек требуются материальные, временные и физические затраты, так как протяженность магистральных газопроводов велика, обходы территорий работниками не обеспечат своевременного контроля и точного результата, а физическое вскрытие участков является экономически невыгодным. В данной статье будет рассмотрен метод, который посредством существующих телекоммуникационных средств и технологий позволит увеличить надежность и эффективность контроля газотранспортных сетей.

На сегодняшний день наиболее эффективными методами обследования МГ являются дистанционные методы с использованием лазерных и тепловизионных устройств, установленных на летательный аппарат (вертолет, БПЛА), однако существенный недостаток таких способов — в периодическом характере облета и сбора данных. В связи с этим становится перспективным исследование метода обследования МГ с применением распределенной телекоммуникационной системы на базе беспроводной сенсорной сети (далее — БСС), получая на выходе гибкую, энергоэффективную, универсальную и территориально распределенную систему контроля утечек ГТС.

Данное решение будет подразумевать под собой внедрение дополнительных телекоммуникационных средств в существующую систему ГТС, не нарушая при этом технологических процессов объекта. И тем самым благодаря внедрению новых устройств и использованию технологий появится возможность в режиме реального времени получать актуальную информацию и сообщения о тревоге в случаях чрезвычайных происшествий.

«Беспроводная сенсорная сеть — это беспроводная система, представляющая собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказам отдельных элементов сеть миниатюрных вычислительных устройств с автономным источником питания» [1, 2]. В настоящее время беспроводные телекоммуникационные технологии всё чаще применяют на промышленных объектах, так как данная система

способна решить ряд проблем, одной из которых является непрерывный дистанционный мониторинг технологических процессов в режиме реального времени путем сбора информации с территориально-распределенных датчиков на объектах, что позволяет сэкономить временные и материальные затраты на обследование и мониторинг производственных объектов.

В ходе разработки БСС необходимым является выбор технологии передачи данных от беспроводных территориально-распределенных датчиков до модулей с центром управления. Со стороны потребителя используемые технологии и устройства должны удовлетворять ряду критериев, таких как:

- небольшая стоимость;
- отсутствие ограничений на расположение датчиков;
- малая задержка сигналов;
- низкое энергопотребление.

В настоящей работе предлагается взять за основу набирающую в БСС технологию построения ZigBee [3–6]. Данная технология удовлетворяет всем упомянутым параметрам, за исключением пропускной способности. Ограничение в данной технологии скорости составляет 240 Кбит/сек, но стоит отметить, что данных параметров будет достаточно для передачи информации с периодически опрашиваемых датчиков.

При использовании технологии ZigBee оптимальной топологией в данной системе будет являться Mesh-сеть. В данной топологии беспроводной датчик является не только окончательным устройством, собирающим и отправляющим информацию, но также и ретранслятором, позволяющим передавать данные от датчика к датчику, тем самым увеличивая площадь покрытия БСС. Схематическое изображение данной топологии изображено на рисунке 1 и включает в себя маршрутизаторы, координаторы и окончательные устройства.



Рисунок 1. Структура mesh-сети

Непрерывно осуществлять контроль и оценку параметров можно на основе совокупности различных аппаратно-программных средств, описываемых тремя уровнями:

- Локальный уровень — беспроводные модули, способные обнаружить утечки, представляют собой радиопередающее устройство с функцией ретрансляции.
- Аппаратный уровень — телекоммуникационные устройства, осуществляющие прием и передачу информации по беспроводным каналам связи распределенной сенсорной сети (координатор, маршрутизатор).
- Клиентский уровень — программное обеспечение, обеспечивающее прием, накопление, хранение, обработку, отображение, анализ и передачу информации, поступающую от оконечного оборудования системы.

Устанавливаемые вблизи газопровода беспроводные модули (далее — БМ) распределяются по территории на заданном расстоянии ( $\approx 100$  метров). Соединение между собой БМ происходит беспроводным путем, создавая сенсорную сеть [7,8]. Далее датчики, являясь ретрансляторами, передают по радиоканалу информацию от точки к точке, позволяя донести до шлюза данные об утечке на газопроводе. Шлюз является промежуточным звеном между БМ и центром управления и несет функцию регистрации входящих данных и их параметров. Далее посредством программных продуктов имеющуюся информацию выгружают на серверный уровень для её последующей обработки и хранения.

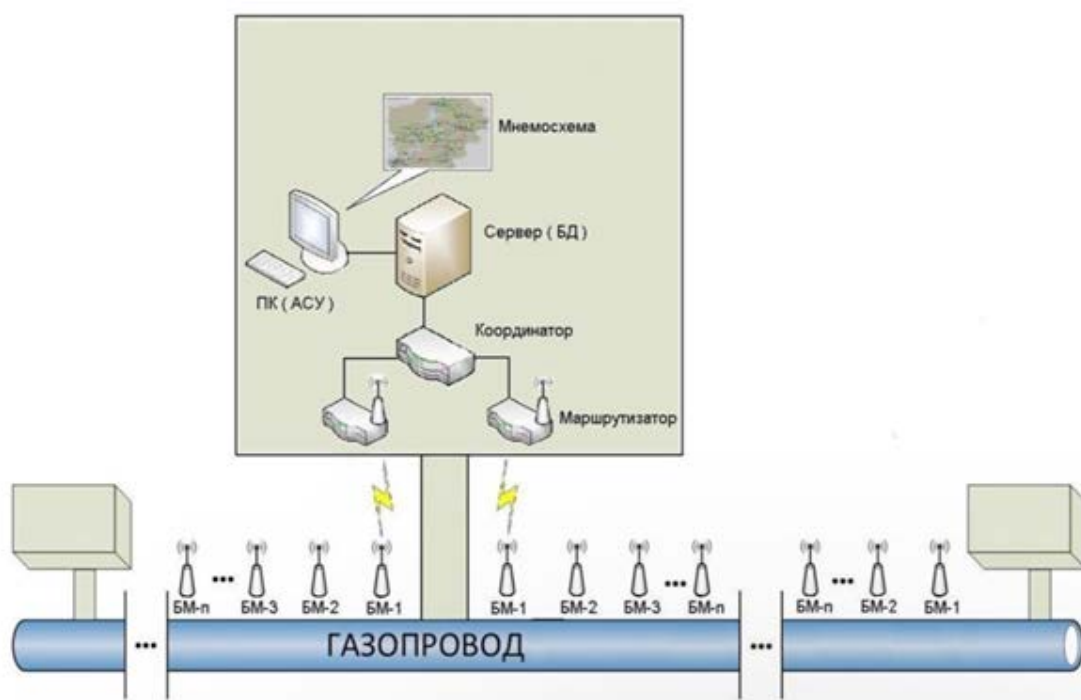


Рисунок 2. Схема телекоммуникационной системы на основе БСС

Преимуществом данного метода является возможность его внедрения в существующие системы, выступая сбалансированным их дополнением и при этом обеспечивая надежность, точность, оперативность, территориальную обширность и безотказность работы системы, что выделяет данную систему контроля утечек среди существующих и дает все шансы на ее существование.

### Список использованной литературы

1. Баскаков Сергей, Оганов Владимир. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic™ // Электронные компоненты. — 2006. — № 8. — С. 65–69.
2. Восков Л. С.. Беспроводные сенсорные сети и прикладные проекты // Автоматизация и IT в энергетике, 2009. — №2–3. — С. 44–48.
3. Пушкарев О. ZigBee-модули XBee: вопросы практического применения // Беспроводные технологии. — 2009. — № 3.
4. Пушкарев О. ZigBee-модули XBee: новые возможности // Беспроводные технологии. — 2008. — № 4.
5. Сергиевский М. Беспроводные сенсорные сети // КомпьютерПресс. — 2007. — № 8.

УДК 629.056.8

***Панахов Ш. П.***

Политехнический институт СурГУ, г. Сургут

## МОБИЛЬНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА С СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Работа посвящена системе навигации и позиционирования мобильных устройств, методам беспроводной системы сбора, обработки и передачи информации, системе подзарядки аккумулятора, разновидностям систем позиционирования и их основным характеристикам. В большинстве случаев в мобильных летательных устройствах не предусмотрена система позиционирования. Рассматривается возможность внедрения в мобильные летательные устройства системы позиционирования, а также построения маршрута полетов по точкам геопозиции.

**Ключевые слова:** *навигация, система позиционирования, мобильные устройства, геопозиция.*

***Panakhov Sh. P.***

Polytechnic Institute of SurGU, Surgut

## MOBILE AIRCRAFT DEVICES WITH POSITIONING SYSTEM

*Surgut*

**Abstract.** The work is devoted to the system of navigation and positioning of mobile devices, methods of wireless collection, processing and transmission of information, battery recharging system, types of positioning systems and their main characteristics. In most cases, mobile aircraft devices do not provide a positioning system. The possibility of introducing a positioning system into mobile aircraft, as well as building a flight route based on geolocation points, is being considered.

**Keywords:** *navigation, positioning system, mobile devices, geolocation.*

Мобильные летательные устройства на сегодняшний день являются распространенными устройствами для различных целей и нужд. Подобные аппараты широко используют для фото-, видеофиксации определенной картинки с высоты птичьего полета. Мобильные летательные устройства также используют

спецслужбы, такие как Госавтоинспекция для выявления нарушений правил дорожного движения, пожарные службы с целью выявления и тушения очагов возгорания в труднодоступных местах. Данные устройства также будут актуальны для компаний, занимающихся прокладкой и обслуживанием трубопровода, такие устройства позволят компаниям удаленно наблюдать за состоянием трассы трубопровода, а также проводить различные измерения и получать данные в режиме реального времени. В большинстве случаев мобильными летательными устройствами управляет человек при помощи пульта. Рассматривается возможность беспилотного управления мобильным летательным устройством по назначенным точкам геопозиции.

Значимость работы заключается в проектировании мобильного летательного аппарата с системой позиционирования и оперативным измерением данных. Основная задача заключается в разработке системы позиционирования для мобильных устройств.

Устройству, принципам действия и применения устройств систем позиционирования посвящено много работ. В работе [1] представлены основные результаты исследований в области системного инжиниринга и проектирования, сложных приборно-функциональных систем. Предложена схема построения и алгоритм функционирования бортового модуля, который включает в себя камеру, лазерный сканер и инерциальный измерительный блок. В статье [2] описывается основная проблема существующей системы позиционирования, рассматриваются основные преимущества инерциальной навигационной системы. В статье [3] описаны система подзарядки аккумулятора беспилотного летательного аппарата, что включает в себя система и каким образом происходит заряд аккумулятора. В работе [4] рассматривается система сбора и обработки данных, а также описывается область применения данной системы. В статье [5] рассматриваются системы позиционирования, задачей которых является определение углового положения относительно опорных объектов.

Разрабатываемое устройство предназначено для автономного пилотирования по заданным точкам геопозиции и сборе данных внешней окружающей среды, а также фото-, видеофиксации исследуемого участка, с возможностью передачи собранных данных на пульт диспетчера. На рисунке 1 представлена схема передачи информации от диспетчера к мобильному устройству и обратно. Для этого диспетчер передает точки геопозиции исследуемой территории на мобильное устройство при помощи узла связи. Далее мобильное летательное устройство отправляет запрос на спутник для определения своего текущего местоположения и построения маршрута по заданным точкам, после чего совершает полет по построенному маршруту. В ходе совершения полета мобильное устройство измеряет параметры окружающей среды и передает измеренные данные на пульт диспет-



чера. При повышенном или пониженном значении параметров окружающей среды зуммер предупреждает о выходе параметров окружающей среды за пределы выставленных границ. В качестве параметров окружающей среды могут выступать такие значения, как температура, влажность, загазованность. Фото-, видео-съемка ведется при помощи камеры видеонаблюдения, закрепленной на нижней части летательного устройства, изображение с камеры видеонаблюдения передается на пульт диспетчеру в режиме реального времени и архивируется на жесткий диск. При помощи датчика детекции камера при обнаружении каких-либо изменений передает оповещающий сигнал на пульт диспетчера. Передача всех данных и тревожных сигналов происходит через беспроводной канал связи, при помощи мобильных узлов связи.

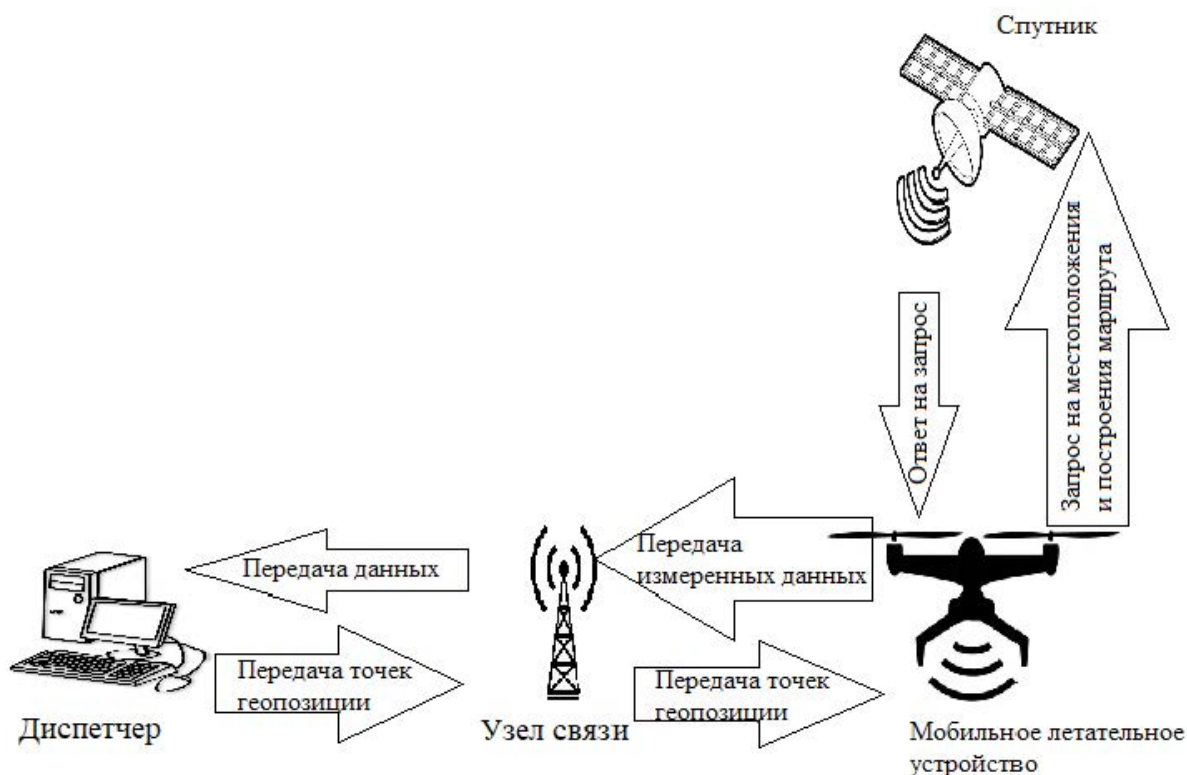


Рисунок 1. Схема передачи данных

Таким образом, рассмотренный способ системы позиционирования позволяет автономно управлять мобильным устройством, задавать необходимый маршрут полета согласно точкам геопозиции и оперативно его изменять. Также проектируемое мобильное летательное устройство в ходе полета по заданному маршруту измеряет параметры окружающей среды, производит фото-, видео фиксацию объектов обследования и передачу данных. Возможность реализации большой грузоподъемности способствует внедрению устройств в службу доставки грузов.

### Список использованной литературы

1. Буянов И. А. Автономная система ориентирования беспилотного летательного аппарата: состав и схемы функционирования в формате 3D / И. А. Буянов, В. К. Исламов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — №50 (184). — С. 24–30. — URL: <https://moluch.ru/archive/184/47140/> (дата обращения: 15.04.2022).
2. Бутаков Н. А. Применимость инерциальных систем навигации в мобильных устройствах // INTERNATIONAL JOURNAL OF OPEN INFORMATION TECHNOLOGIES. — 2014. — №5. — С. 24–32. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21466473> (дата обращения: 15.04.2022).
3. Фетисов В. С., Ахмеров Ш. Р., Мухаметзянова А. И., Сизоненко Р. В. Система подзарядки аккумулятора электрического беспилотного летательного аппарата // Электроника. — 2014. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37450409> (дата обращения: 15.04.2022).
4. Васильковский Д. В., Комиссаров А. Б., Косырев К. А., Никитин И. Б., Руденко А. В. Беспроводная система сбора информации // Электроника. — 2012. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38404169> (дата обращения: 15.04.2022).
5. Алалуев Р. В., Иванов Ю. В., Малютин Д. М., Матвеев В. В., Погорелов М. Г., Распопов В. Я., Шведов А. П. Системы позиционирования // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2016. — № 10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-pozitsionirovaniya> (дата обращения: 15.04.2022).

УДК 654.1

**Страхов Д. Ю.<sup>1</sup>, Рыжаков В. В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Политехнический институт, СурГУ, г. Сургут

<sup>2</sup> к. ф.-м. н., заведующий кафедрой РЭиЭ,  
Политехнический институт, СурГУ, г. Сургут

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ

**Аннотация.** В работе исследованы актуальные проблемы полномасштабного внедрения технологий Интернета вещей на рынок телекоммуникаций. Показаны существующие на данный момент перспективные методы доступа и приведены их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** *инфраструктура IoT, SCMA, OFDM, разреженные матрицы, FBMC, квадратурная амплитудная модуляция, спектральная эффективность, MPA.*

**Strakhov D. Yu.<sup>1</sup>, Ryzhakov V. V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Polytechnic Institute, SurSU, Surgut

<sup>2</sup> Head of the Department of RE&E, Polytechnic Institute, SurSU, Surgut

## RESEARCH OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS WITH MULTIPLE ACCESS

**Abstract.** The paper studies the actual problems of full-scale implementation of the Internet of Things technologies in the telecommunications market. The promising access methods existing at the moment are shown and their advantages and disadvantages are given.

**Keywords:** *IoT infrastructure, SCMA, OFDM, sparse matrices, FBMC, QAM, spectral efficiency, MPA.*

В рамках концепции «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) планируется подключение и одновременная работа большого числа «умных» устройств к сети интернет, что резко увеличит нагрузку на существующую телекоммуникационную инфраструктуру, темпы роста пропускных способностей которой значительно меньше необходимых для полного внедрения новых сетей. Кроме того, расширение инфраструктуры четвёртого поколения сотовой связи для внедрения большего количества устройств IoT повлечёт за собой непомерные дополнительные расходы. Исходя из этого, остро встает вопрос о развитии более совершенных технологий доступа. Для решения данной задачи привлечённые разработчики столкнутся с внуши-

тельным количеством трудностей. Технические ограничения существующих сетей не позволяют использовать имеющийся частотный ресурс достаточно рационально для развёртывания полноценной инфраструктуры, а не тестовых запусков отдельных устройств. Органы государственного контроля на данный момент не спешат выделять дополнительные частотные диапазоны для устройств IoT, обосновывая своё решение потребностью в импортозамещении в сфере телекоммуникационного оборудования. Государственные структуры пока что ограничиваются выделением нелицензированного частотного диапазона, на котором производятся тестовые запуски нового оборудования. Существуют также и проблемы со стандартизацией технологий IoT. Организации по стандартизации, наблюдая за низкими темпами роста внедрения технологий Интернета вещей, практически не занимаются вопросом стандартизации этих технологий, перекладывая данную задачу на конкурирующих между собой на рынке телекоммуникационных технологий корпоративных гигантов. Этот факт вынуждает разработчиков устройств ждать, пока в конкурентной борьбе не победит конкретный стандарт. В этом ожидании средства на разработку перестают выделять как из государственного бюджета (несоблюдение условий импортозамещения), так и со стороны частных компаний (потеря прибыли из-за невыгодных инвестиций), что тоже влечёт за собой резкое снижение темпов развития в области IoT.

В итоге проблема заключается в том, что разработчики не могут предложить оптимальные решения в рамках уже используемых частотных диапазонов и методов доступа к беспроводной сети; это является проблемой, потому что рынки технологий и услуг Интернета вещей медленно обновляются или не обновляются вовсе, отчего пользователи долго ждут и в конечном итоге отказываются от Интернета вещей в пользу более выгодных решений, удовлетворяющих их потребности. Решением этой проблемы, которое удовлетворит запросы всех заинтересованных сторон, является создание устройства, работающего на такой технологии доступа к беспроводной сети, которая обеспечит одновременную работу большого количества устройств IoT в пределах одной сети благодаря лучшему использованию предложенного частотного ресурса.

Метод множественного доступа с разреженным кодом SCMA претендует на внедрение в устройства Интернета вещей. Данная технология включает в себя основной принцип OFDMA — передачу информации на ортогональных поднесущих частотах, но увеличивает его эффективность благодаря распределению пользователей по поднесущим частотам с помощью кодовых книг, построенных на формирующих разреженных матрицах [1; 2; 4; 5, 6; 7].

Этими матрицами определяются следующие характеристики системы связи, работающей по методу SCMA: пропускная способность, помехоустойчивость, отношение числа пользователей к числу доступных поднесущих. Формирование

разреженных матриц осуществляется с помощью алгоритма Галлагера, размерность которого определяется количеством поднесущих. Помимо всего прочего, матрицы существенно ограничены по количеству пользователей из-за функции зависимости объёма работы от входных данных, обрабатываемых декодирующим алгоритмом распространения доверия (МРА — Message Passing Algorithm), а также с появлением циклов кратности 4 при большом отношении числа пользователей к числу поднесущих.

При проектировании и последующей работе системы связи с SCMA через канал связи с белым гауссовским шумом были выявлены три возможных варианта распределения числа пользователей по поднесущим:

- 1) Если число пользователей равно количеству поднесущих, то каждый пользователь занимает одну частоту. При этом помехоустойчивость и скорость передачи идентичны характеристикам системы связи с применением OFDM с квадратурной амплитудной модуляцией при одинаковом её индексе.
- 2) Если пользователей меньше, чем поднесущих, то помехоустойчивость системы связи с SCMA оказывается лучше системы связи с OFDM-QAM. Скорость передачи при этом не изменяется.
- 3) Если число пользователей больше числа поднесущих, то скорость передачи превосходит системы, использующие технологию OFDM-QAM. Помехоустойчивость в данном случае заметно уменьшится.

Метод доступа, оперирующий кодовыми книгами на базе разреженных матриц, может автоматически подстраивать характеристики системы приёма и передачи данных под состояние радиоканала. Производя манипуляции с кодовыми книгами, SCMA гарантирует необходимое значение битовой ошибки. К примеру, кодовая книга на основе разреженной матрицы  $\mathbf{V}$  имеет размерность  $v \times k$ , где  $v$  — количество пользователей в сети,  $k$  — количество поднесущих частот. Для параметров  $k = 4$ ,  $v = 6$  представлены следующие варианты такой матрицы и соответствующий ей граф Таннера (рисунок 1 а, б).

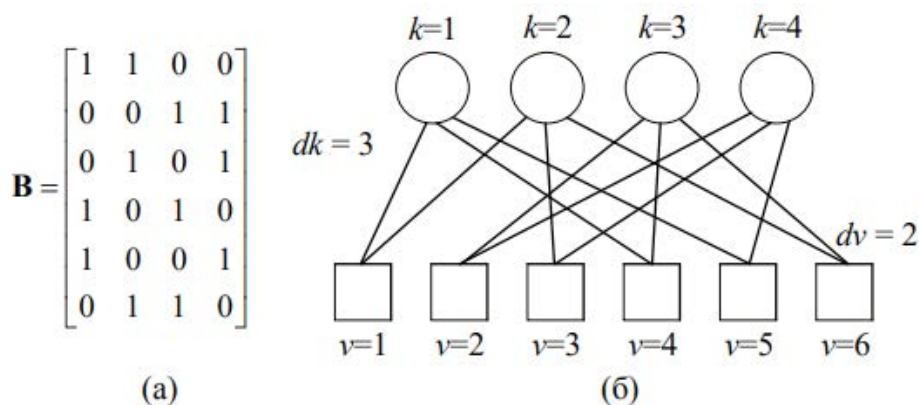


Рисунок 1. а) Матрица кодовой книги; б) Соответствующий матрице граф Таннера

Из этого следует важнейшее достоинство метода SCMA, заключающееся в одновременном подключении такого количества пользовательских устройств, которое будет превышать количество поднесущих частот. Именно это даёт возможность системе работать в ограниченном частотном ресурсе с заявленным уровнем помехозащищённости значительно лучше в сравнении условиями работы в существующих системах связи. Вторым достоинством этого метода является совместимость с системами, построенными по методу OFDMA, что упростит внедрение этой технологии на физическом уровне.

Ещё одним перспективным для развития устройств Интернета вещей методом доступа является FBMC (Filter Bank Multi Carrier, многочастотная передача с использованием банка фильтров). Эта технология использует формирование сигнала с низким внеполосным излучением с помощью гребенчатого фильтра на множестве поднесущих.

Для описания работы данной технологии применяется схема FBMC-Offset, чаще именуемая как FBMC/OQAM (Filter Bank Multicarrier / Offset Quadrature Amplitude Modulation, частотное мультиплексирование с использованием банка фильтров / квадратурная амплитудная модуляция со смещением). Система, построенная по этой схеме, достигает высокого уровня спектральной эффективности в сравнении с системой, построенной по методу ортогонального частотного мультиплексирования с использованием циклического префикса (CP-OFDM). Также метод доступа FBMC/OQAM обеспечивает наибольшее затухание для константного значения длины волны, проходящей через фильтр, и устойчивость к замираниям в канале одновременно с низкими требованиями к синхронизации при грамотно подобранном фильтре-прототипе [3, с. 16].

Чтобы наглядно показать достоинства технологии FBMC, в условиях замкнутого помещения было проведено экспериментальное исследование работы системы, в основе которой лежит описываемый метод доступа (рисунок 2, рисунок 3).

Результаты проведённого исследования показали, что система на основе FBMC/OQAM в реальном канале распространения радиоволн показывает сопоставимое значение битовых ошибок в канале (BER), равное  $10^{-4}$ , как и система на основе OFDM с погрешностью измерения около 1 дБ в отношении энергии, приходящейся на бит информации к энергии шума. Заметно и преимущество метода FBMC/OQAM относительно OFDM в значении показателя спектральной эффективности: значение растёт пропорционально длине кадра и стремится к пределу, зависящему от длины префикса. Принимая во внимание этот факт, можно утверждать о возможном использовании данной технологии при проектировании типового устройства IoT, не занимающего недопустимую часть ограниченного частотного диапазона.

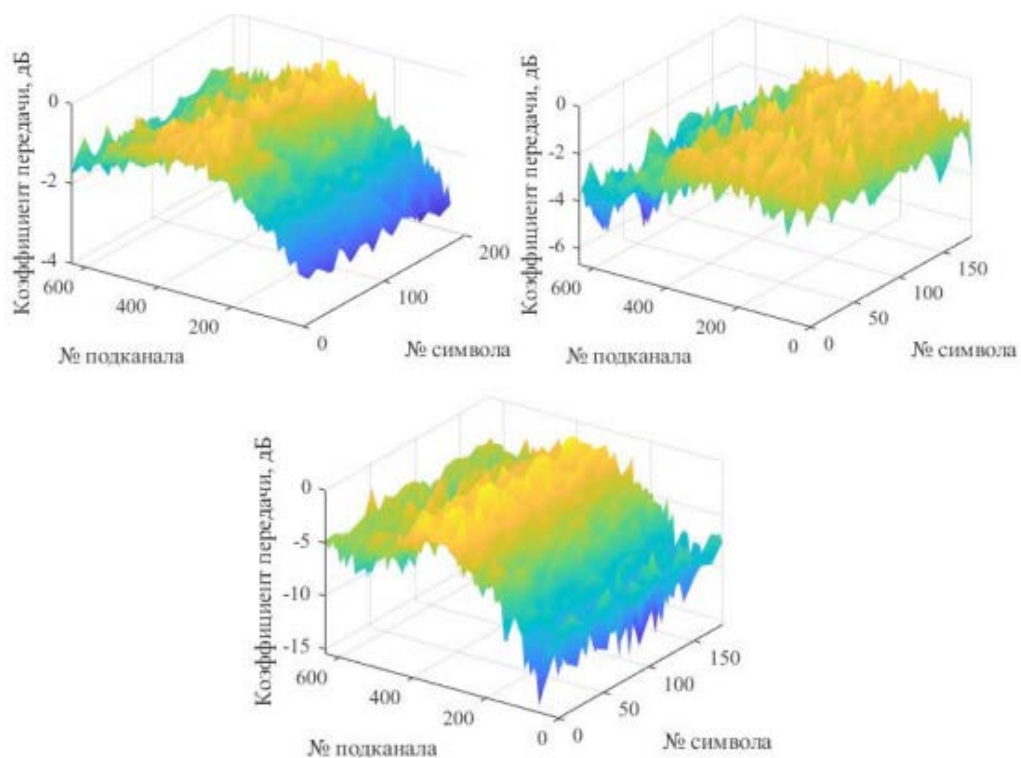


Рисунок 2. Значения нормированной оценки трёх каналов в модуле канальной матрицы

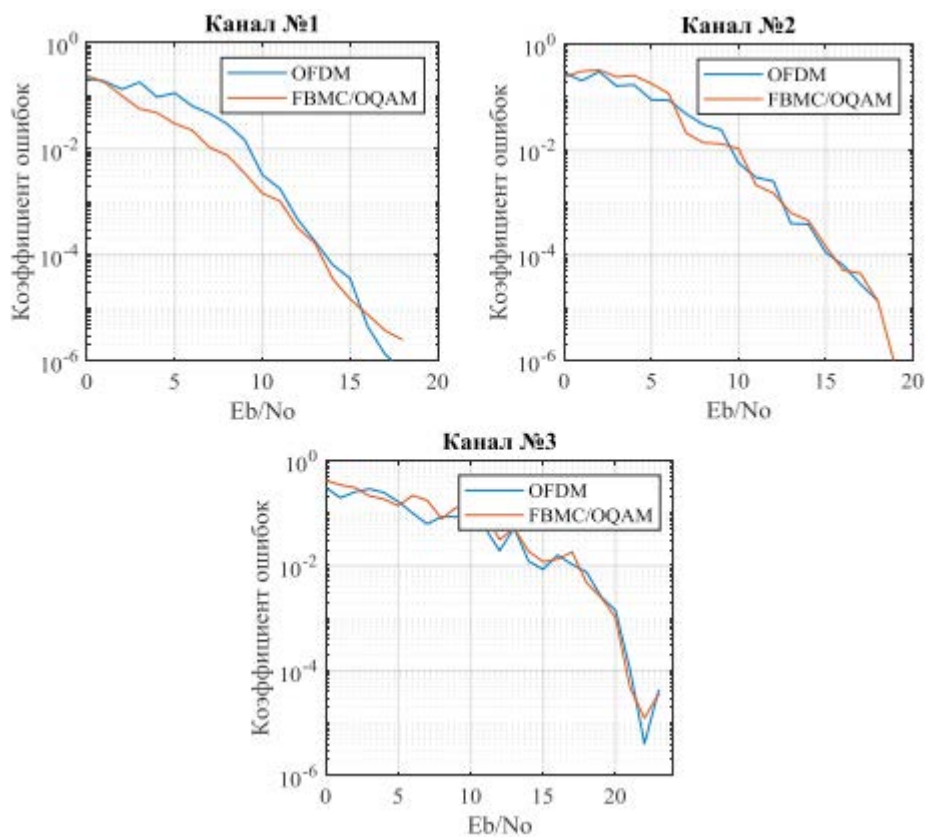


Рисунок 3. Зависимость коэффициента ошибок от отношения энергии к уровню шума

Сравнивая между собой преимущества систем с FBMC/OQAM и SCMA, следует, однако, помнить о возможной несовместимости работы разных устройств, использующих эти технологии в рамках одной сети. В случае возникновения несовместимости необходимо подробнее сравнить эти технологии не только с технической, но и с экономической стороны: какое количество ресурсов необходимо будет затратить при развёртывании и обслуживании оборудования, использующего одну из рассматриваемых ранее технологий доступа. Вопрос ресурсоёмкости играет не менее важную роль в процессе построения коммерческой инфраструктуры связи.

### Список использованной литературы

1. Покаместов Д. А., Демидов А. Я., Крюков Я. В. Влияние формирующих матриц на помехозащищенность каналов связи с множественным доступом на основе разреженных кодов // Доклады ТУСУРа, том 19. — 2016. — № 3.
2. Дворкович В. П., Дворкович А. В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика). — Москва : Техносфера, 2012. — С. 1009.
3. Абенов Р. Р., Рогожников Е. В., Абрамов С. С., Черников Д. Ю. Формирование и обработка сигналов в системах связи на основе ортогонального частотного мультиплексирования с использованием банка фильтров : Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, ТУСУР, 2020. — С. 16–18.
4. Покаместов Д. А., Демидов А. Я., Крюков Я. В., Рогожников Е. В., Абенов Р. Р. Формирование и обработка сигналов множественного доступа с разреженным кодом // Электросвязь. — 2016. — №10. — С. 56–61.
5. Gallager R. Low-density parity-check codes: Cambridge; Massachusetts, 1963. — P. 90.
6. Nathan Y., Linnartz J.P., Fettweis G. Multi-carrier CDMA in indoor wireless radio networks // IEICE Transactions on Communications. — 1994. — Vol. 77, № 7. — P. 900–904.
7. Hoshyar R., Wathan F.P., Tafazolli R. Novel low-density signature for synchronous CDMA systems over AWGN channel // Signal Processing, IEEE Transactions on. — 2008. — Vol. 56, № 4. — P. 1616–1626.



УДК 654

***Федотов А. О.***

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ  
АРХИТЕКТУРЫ ПАКЕТНЫХ СЕТЕЙ С ПОДДЕРЖКОЙ  
МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА

*г. Сургут*

**Аннотация.** Рассматриваются проблемы и способы оптимизации существующей сети связи, не учитывающей реальные потребности обеспечения производственного процесса предприятия.

**Ключевые слова:** *сети связи, пропускная способность, трафик, архитектура сети.*

***Fedotov A. O.***

Surgut State University, Surgut

DESIGNING COMMUNICATION NETWORKS  
BASED ON PACKET ARCHITECTURE WITH MULTIMEDIA  
TRAFFIC SUPPORT

*Surgut*

**Abstract.** The article considers problems and ways of optimizing the existing communication network, which does not take into the real needs of the enterprise production process.

**Keywords:** *networks, bandwidth, network traffic, network architecture.*

**Введение**

На данный момент существует достаточно много организаций, предоставляющих различные услуги в телекоммуникационной отрасли как для государства, так и для обычных граждан. Нефтедобыча и нефтепереработка являются ключевым направлением в экономике Ханты-Мансийского автономного округа. Вопреки достаточно высокому технологическому уровню компаний энергетического сектора, при организации различных телекоммуникационных сервисов применяются устаревшие технологии и неоптимальные подходы к организации сети и серви-

сов; также значимым фактором, влияющим на качество связи и сервисов, является отсутствие контроля доступа и единой парадигмы управления оборудованием.

### Описание проблемы

При работе с научной электронной библиотекой eLibrary.ru был проанализирован ряд статей со схожей тематикой. Выявлены следующие нежелательные явления [1]:

- отсутствие резервных каналов связи между оборудованием;
- отсутствие приоритезации трафика в сети;
- нестабильные каналы связи;
- слишком большой объем трафика;
- нестабильная работа оборудования.

На основе этих нежелательных явлений было сформировано дерево текущей реальности (рисунок 1), которое отражает причины и следствия, формирующиеся из вышеперечисленных нежелательных явлений.

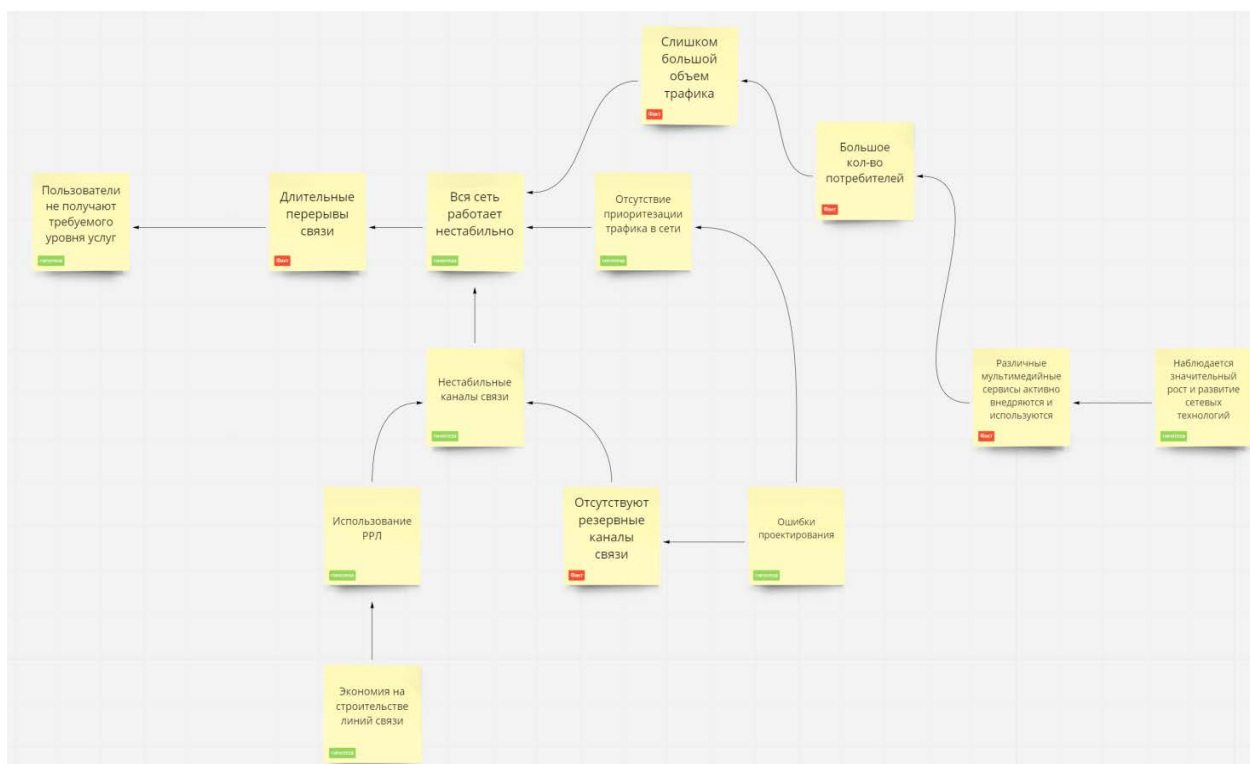


Рисунок 1. Дерево текущей реальности

### Описание субъектов и объектов. Определение заказчика

После составления дерева текущей реальности по каждой причине было выбрано самое простое решение и на основании этих решений определены субъекты:

- операторы связи;
- пользователи услуг связи;
- организации по стандартизации;
- компании, предоставляющие сервисы для пользователей [2].

Заказчиком являются операторы связи (в т. ч. различные дочерние организации у крупных производств), т. к. в зоне ответственности операторов связи находится большая часть возможных решений для устранения нежелательных явлений и факторов.

Объектами являются:

- устройства для организации связи;
- регламенты и стандарты;
- технологии связи;
- услуги в сетях связи;
- каналы связи.

### Решение проблемы

В результате исследования была обнаружена следующая корневая проблема: существующая сеть связи не учитывает реальные потребности обеспечения производственного процесса предприятия [3].

Решение проблемы возможно с помощью внедрения или пересмотра некоторых подходов в организации связи, представленных в таблице 1.

Таблица 1. Подходы в организации связи

Проблема	Решение
Экономия на строительстве линий связи	Пересмотреть проекты капитального строительства с целью изменения технологии построения линий связи [4]
Отсутствие резервных каналов связи	Обеспечить резервирование при проектировании и/или арендовать каналы связи у сторонних операторов
Отсутствие приоритезации трафика в сети	Разработать и применить политику качества обслуживания (маркировка трафика, обеспечение гарантированной полосы пропускания для важного трафика) [5]
Слишком большой объем трафика.	Обеспечить необходимую полосу пропускания на узлах доступа и магистральных каналах

### Список использованной литературы

#### *Статьи из сборников*

1. Анищенко, Ю. А. О проблемах развития мультисервисных сетей / Ю. А. Анищенко // Молодежь и системная модернизация страны : сборник научных статей 5-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых: в 6 томах, Курск, 19–20 мая 2020 года. — Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. — С. 29–31.
2. Каверин, А. В. Решение проблемы оптимизации потока видеoinформации с учетом реальной пропускной способности существующих сетей связи / А. В. Каверин, О. В. Исаев, С. Ю. Кобзистый // Вестник Воронежского института ФСИИ России. — 2014. — № 4. — С. 35–38.
3. Кобзистый, С. Ю. Исследование механизмов обеспечения технологии QOS в IP-сетях для решения задач управления УИС / С. Ю. Кобзистый, А. В. Парин, М. В. Кобзистая // Актуальные проблемы деятельности подразделений УИС : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 28 мая 2015 года. — Воронеж: ООО «Издательство «Научная книга», 2015. — С. 17–18.
4. Таңбаева, С. А. Анализ проблем обеспечения эффективного качества услуг мультисервисных сетей связи / С. А. Таңбаева // Наука и мир. — 2017. — № 3–1(43). — С. 71–75.
5. МСЭ-Т Recommendation Y.1291. An Architectural Framework for Support Of Quality of Service in Packet Networks. — May. — 2004.

УДК 621.396.946

***Щербакова В. В.***

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

## ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОКАНАЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

*г. Сургут*

**Аннотация.** На этапе проектирования системы пожарной сигнализации (далее — СПС) закладываются основы для дальнейшей реализации закупки, монтажа и установки оборудования. Новые своды правил (далее — СП), вступившие в силу в 2021 г., по СПС и их питанию установили новую планку по надежности и эффективности пожарной автоматики. Это привело к увеличению общей стоимости СПС за счет дополнительного оборудования, материалов и их монтажа. Целью данной работы является нахождение путей решения, которые удовлетворяют новым СП и уменьшают затраты на СПС. В статье рассмотрена радиоканальная СПС, которая является альтернативой стандартным проводным СПС.

**Ключевые слова:** *радиоканальный пожарный извещатель, прибор приёмно-контрольный, система пожарной сигнализации, свод правил, передача данных.*

***Shcherbakova V. V.***

BU VO Surgut State University Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra, Surgut

## APPLICATION OF RADIO CHANNEL FIRE DETECTORS IN BUILDINGS AND STRUCTURES

*Surgut*

**Abstract.** At the stage of designing a fire alarm system (hereinafter referred to as ATP), the foundations are laid for the further implementation of the purchase, installation and installation of equipment. The new sets of rules (hereinafter referred to as the SP), which entered into force in 2021, have set a new bar for the reliability and efficiency of fire automatics for SPS and their power supply. This led to an increase in the total cost of SPS due to additional equipment, materials and their installation. The purpose of this work is to find solutions that satisfy the new SP and reduce the cost of the SPS. The article considers a radio channel SPS, which is an alternative to standard wired SPS.

**Keywords:** *radio channel fire detector, control panel, fire alarm system, set of rules, data transmission.*

При проектировании системы пожарной сигнализации необходимо опираться на Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ и СП. До недавнего времени основным СП для СПС являлось СП 5.13130.2009, теперь же с 01.03.2021 г. вступил в силу новый СП 484.1311500.2020 и СП 486.1311500.2020. Помимо этого обновился СП 6.13130.2021. Основная задача разработки новой нормативной базы — это повышение надежности и эффективности СПС на объекте. Ужесточение требований к пожарной сигнализации (далее — ПС) затрагивает деятельность специалистов, осуществляющих эксплуатацию любых видов зданий.

Рассмотрим самые важные нововведения в новом своде правил:

1. Ограничение объектов для применения неадресных систем.
2. Необходимо обеспечить устойчивость линий связи к единичной неисправности.
3. Введение территориального разделения объекта на зоны контроля пожарной сигнализации и зоны защиты.
4. Уменьшение ложных срабатываний ПС.
5. Ограничение информационной емкости приемно-контрольных приборов.
6. Исключение выполнения приборами в составе СПС функций, не связанных с пожарной автоматикой на объектах.

В настоящее время применяются две основные СПС:

1. Безадресная система ПС.
2. Адресная система ПС.

В свою очередь, адресная СПС классифицируется на:

1. Проводную адресную СПС;
2. Беспроводную адресную СПС.

Рассмотрим, как повлияли основные нововведения в СП на каждую из СПС:

1. Ограничения применения безадресной системы усилилось с выходом СП 484.1311500.2020. В приложении А СП 484.1311500.2020 указаны объекты, на которых теперь недопустимо использование безадресных систем. Безадресная система все больше уходит на второй план, т. к. её использование связано с невозможностью, в частности, получать детализированные сведения о месте возникновения пожара и воплощать в жизнь сложные сценарии управления системами противопожарной защиты.
2. Проводные адресные СПС на данный момент применяются повсеместно в проектах по ПС. Данная система себя зарекомендовала как самая надежная, но с выходом новых СП появились и значительные минусы:
  - А. Достаточно повредить линию связи в одном или двух местах, чтобы вывести систему из строя.

Б. Из-за электромагнитных наводок, присутствующих в проводных системах, случаются ложные срабатывания ПС, т. к. кабельная линия является своего рода антенной.

В. Неудобство при перепланировке на объекте, т. к. данные изменения затронут целый участок линии связи.

Все вышеуказанные минусы привели к затратам на дополнительное оборудование и материалы, следовательно, и на их монтаж.

3. Потребности рынка в сфере ПС растут, и всё чаще поступает запрос на беспроводную адресную СПС, т. к. данная система имеет ряд преимуществ. Данные преимущества стали более явными с выходом новой нормативной базы, например, такие как:

А. В современных радиоканальных системах резервирование связей обеспечивается применением разнесенных по частоте каналов связи и наличием более одного приемно-передающего тракта. Более того, возможность пожарного извещателя (далее — ИП) автоматически переключаться между разными узлами-ретрансляторами в сети и формировать разные маршруты доставки данных на ППК — еще один важный инструмент для резервирования линий связи и повышения надежности системы. Следовательно, для вывода системы из строя необходимо вывести из строя все ретрансляторы внутри системы, что само по себе маловероятно.

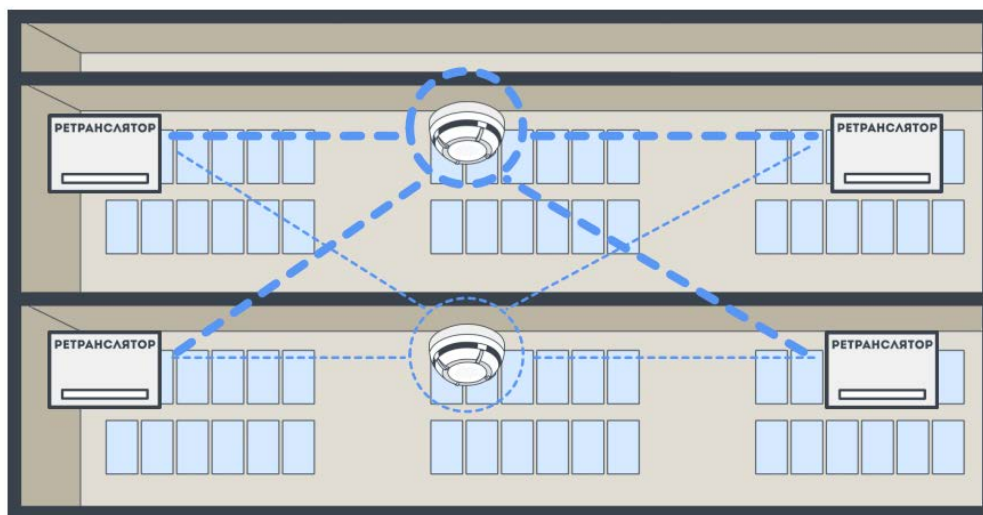


Рисунок 1. Резервирование связи в радиоканальных СПС

Б. Радиоканальные СПС меньше, чем проводные СПС, подвергаются воздействию внешних электромагнитных наводок. Единственным проводником в беспроводной радиоканальной СПС является его антенна, которая во много раз меньше длины кабельных линий в проводных систе-

мах. Также поступивший в прибор сигнал подлежит дальнейшей цифровой обработке, поэтому воздействие помехи на антенну незначительные и не смогут привести к ложным срабатываниям.

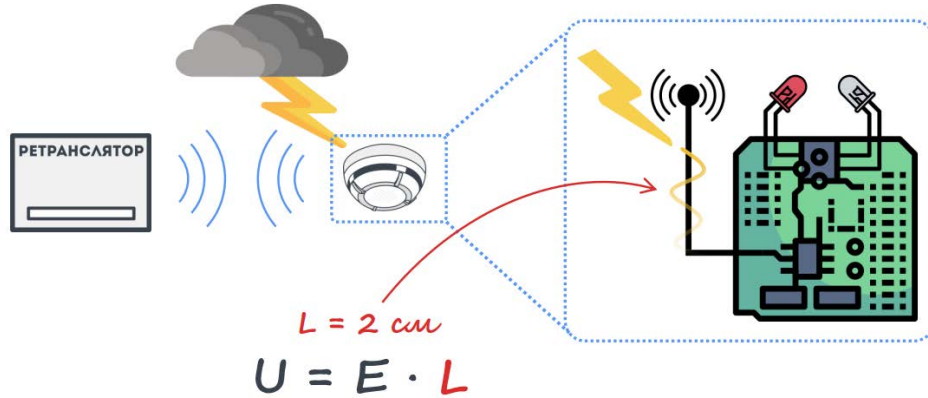


Рисунок 2. Воздействие электромагнитной наводки на радиоканальную СПС

В. В радиоканальных системах изменения в планировке здания не отражаются на работе линии связи, т. к. зона контроля пожарной сигнализации (далее — ЗКПС) это логические единицы, и их состав, структура и количество может быть изменено в любой момент на программном уровне.

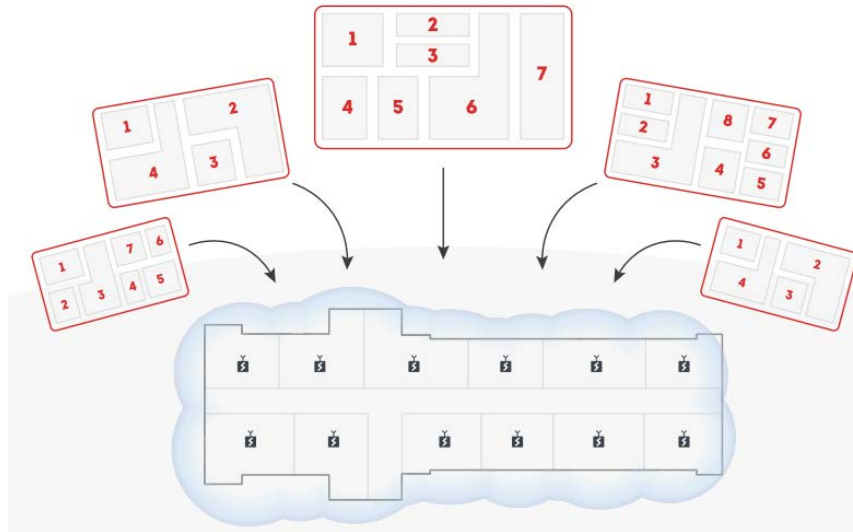


Рисунок 3. Гибкое изменение ЗКПС в радиоканальной СПС

Все вышперечисленные достоинства выглядят еще более привлекательно с учетом наименьших затрат за счет исключения затрат на кабель, кабеленесущие конструкции, материалы для их крепления, а также монтаж и техобслуживание.





	Провод	Радиоканал
Выбор решения в соответствии с Приложением А	Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub>	
Обход ограничения по емкости ППКП	Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub>	Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub>
Деление объекта на ЗКПС	Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub>	
Обеспечение связи с извещателями	Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub>	
Обеспечение связи между ППКП	Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub> Р <sub>к</sub>	
Обеспечение питания ППКП	Р <sub>к</sub>	Р <sub>к</sub>
Разделение охранной и пожарной системы	Р <sub>к</sub>	Р <sub>к</sub>
<b>Итого</b>		

Рисунок 4. Сравнение затрат на проводную и беспроводную СПС согласно новым СП

Что касается пунктов 5 и 6 в приведенных выше основных нововведениях, то тут ситуации почти аналогичные для проводных и беспроводных адресных СПС. Преимущество имеют системы, в которых поддерживается объединение автономных ППКП в общий кольцевой интерфейс для организации более крупных решений, работающих в единой логике, что можно сказать как о проводной, так и беспроводной адресной СПС. Также важно то, что совмещение линий связи пожарных систем с другими системами более невозможно. Для каждой из систем будет необходимо проложить свои линии связи отдельно от ПС, что существенно для проводных СПС, т. к. это значительно увеличит количество кабеля, следовательно, время монтажа и время введения систем в эксплуатацию.

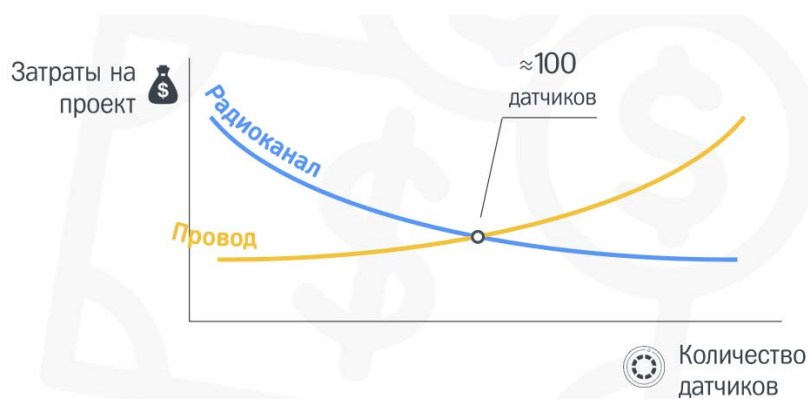


Рисунок 5. Общее сравнение затрат на проводную и беспроводную СПС

Применение радиоканальной СПС уменьшит время при подготовке проектной документации и позволит быстрее вывести объект в эксплуатацию. Также данное проектное решение не испортит дизайна объекта, а в случае перепланировки зда-

ния извещатели легко перепрограммируются. В данной радиосистеме предусмотрен мониторинг в режиме реального времени технических состояний извещателей и передача их аналоговых значений. А с удобным интуитивным программным обеспечением можно легко самостоятельно запрограммировать СПС по своему желанию. Также все состояния устройств в составе СПС можно контролировать с помощью мобильного приложения на телефонном устройстве и программного обеспечения на автоматизированном рабочем месте, что уменьшает траты на строительство эскад для вывода сигнала в другие здания и на прокладку трассы по ним.

С учётом вышеизложенного очевидна целесообразность повсеместного перехода на радиоканальные СПС. Применение радиоканальной СПС позволит сократить время на проектирование и монтаж СПС, уменьшить затраты на монтаж и обслуживание СПС; уменьшить затраты на СПС; минимизировать вмешательство в дизайн помещения; получать актуальную информацию в режиме реального времени; соответствовать всем новым СП; легко и просто менять структуру СПС.

Радиоканальная СПС — это перспективное будущее для отрасли пожарной безопасности, которое все больше и больше набирает популярность среди современных тенденций.

### Список использованной литературы

1. Аргус-Спектр : сайт. — URL: <https://argus-spectr.ru/>.
2. Румянцев К. Е. Радиоприемные устройства: учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / К. Е. Румянцев. — Москва : Академия, 2006 ; Саратов : Саратовский полиграфкомбинат, 2006. — 335, [1] с. : ил., табл. — (Среднее профессиональное образование. Радиотехника). — ISBN 5-7695-2869-9.
3. Богданович Б. М. и др. Проектирование элементов радиоприемных устройств (управляемых электронных аттенюаторов) [Текст] / Б. М. Богданович, Э. Б. Ваксер, Н. И. Окулич ; под общей редакцией Б. М. Богдановича. — Минск : Вышэйш. школа, 1979. — 192 с. : ил.
4. СП 484.1311500.2020 «Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования». — Москва : Стандартинформ, 2020. — 28 с.
5. СП 6.13130.2021 «Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности». — Москва : Стандартинформ, 2021. — 11 с.
6. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». — СПС «КонсультантПлюс». — URL: <https://www.consultant.ru>

УДК 621.396.946

***Морозов К. В.***

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

## МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ. IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM НА ПРОИЗВОДСТВЕ

*г. Сургут*

**Аннотация.** Целями статьи являются рассмотрение возможностей IP Multimedia Subsystem (IMS) при внедрении на производство и проведение анализа существующих проблем организации сетей связи.

**Ключевые слова:** *сеть связи, сети следующего поколения, производство, модернизация.*

***Morozov K. V.***

Surgut State University KMAO-Ugra, Surgut

## MODERNIZATION OF COMMUNICATION NETWORKS. IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM IN PRODUCTION.

*Surgut*

**Abstract.** The objectives of the article are to consider the possibilities of the IP Multimedia Subsystem (IMS) when introduced into production and to analyze the existing problems of organizing communication networks.

**Keywords:** *communication network, next generation networks, production, modernization.*

### **Актуальность темы**

В деятельности производственных предприятий немаловажную роль играет модернизация, автоматизация, безотказность, бесперебойность функционирования сетей связи. Технологический прогресс не стоит на месте, и следовательно, на предприятиях происходит замена оборудования на более современное, стремительно растут объемы передаваемых данных, загружаются каналы связи, что способствует появлению проблем на производстве.

IP Multimedia Subsystem (IMS) — технология, являющаяся модернизацией как традиционной сети связи, так и Next Generation Network (NGN). IMS вклю-

чает в себя разнообразные сетевые функции, такие как CSCF, PCRF, MGSF, AGCF и др., но главная особенность данной системы состоит в том, что оборудование не обязательно необходимо располагать в единой стойке телекоммуникационного шкафа. Каждый функционирующий блок, как, например, PCRF, может располагаться в любом месте. Softswitch, являющийся предшественником IMS, был лишь частью функциональных блоков IMS (MediaGatewayControl, AccessGatewayControlFunction).

Дополнительными задачами внедрения IMS являются: объединение разновидностей трафика, таких как: системы мониторинга оборудования, цифровая телефония и IP-телефония, видеоконференцсвязь, средства охранной системы, средства пожарной системы и пр., обеспечение мониторинга функционирования систем, освобождение сетевых ресурсов.

В заключение статьи хочу выделить особо важные моменты процесса внедрения IMS в производство. Оборудование IMS достаточно дорогое, и далеко не каждая компания сможет выделить необходимое количество ресурсов на покупку и обслуживание данной системы. Также немаловажным фактором выступает то, что компаниям необходимо будет перенастраивать конфигурацию и маршрутизацию действующего оборудования, что является достаточно трудозатратным процессом.

Однако в случае успешного внедрения IMS производственные компании смогут весьма ощутимо сократить расходы на эксплуатацию действующего оборудования, запасные элементы и принадлежности, зарплатные выплаты персоналу; смогут обеспечить реорганизацию сетевых ресурсов, более грамотное построение системы связи, передачу и мониторинг сетевого трафика самых различных между собой систем.

### Список использованной литературы

1. Сети NGN. Оборудование IMS : учебное пособие / Б. С. Гольдштейн, В. Ю. Гойхман, Ю. В. Столповская. — Санкт-Петербург : Издательство «ТЕЛЕДОМ» ГОУ-ВПО СПбГУТ, 2010. — 56 с.
2. IMS (IP Multimedia Subsystem) : учебное пособие /К. Новиков. — Москва, 2009. — 100 с.
3. Ozlib.com. Архитектура IMS. — URL: <https://ozlib.com/1046858/tehnika/arhitektura>.
4. IMS (СУДБ). — URL: <https://www.wikipedia.org>
5. Bstudy.net. Подсистема передачи мультимедийных сообщений IMS. — URL: [https://bstudy.net/833149/tehnika/podsistema\\_peredachi\\_multimediynyh\\_soobscheniy](https://bstudy.net/833149/tehnika/podsistema_peredachi_multimediynyh_soobscheniy).

УДК 621

*Авдеев В. В.<sup>1</sup>, Емельянова М. Е.<sup>2</sup>, Прохорова Е. В.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа — Югры  
«Сургутский государственный университет», г. Сургут

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ СВЯЗИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В работе исследуются методы оптимизации систем связи для передачи данных по протоколам Интернета вещей. Оптимизация проводится путём уменьшения количества отсчётов методом децимации на передающей стороне, на приёмной стороне сигнал очищается от шумов при помощи адаптивного фильтра и восстанавливается посредством интерполяции. Исследовались разные коэффициенты децимации и методы интерполяции. Выводы в работе были сделаны на основании полученных коэффициентов корреляции. Данная работа может быть полезна для решения проблемы растущего трафика в системах Интернета вещей.

**Ключевые слова:** *адаптивный фильтр, биотелеметрия, Интернет вещей, децимация, интерполяция, корреляция.*

*Avdeev V. V.<sup>1</sup>, Emelyanova M. E.<sup>2</sup>, Prokhorova E. V.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> Budget institution of higher education of the Khanty-Mansiysk Autonomous  
Okrug — Ugra; Surgut State University, Surgut

## RESEARCH OF METHODS OF OPTIMIZATION OF COMMUNICATION SYSTEMS OF THE INTERNET OF THINGS

*Surgut*

**Abstract.** The paper investigates methods of optimization of communication systems for data transmission over the Internet of Things protocols. Optimization is carried out by reducing the number of samples by decimation on the transmitting side, on the receiving side the signal is cleared of noise using an adaptive filter and restored by interpolation. Different decimation coefficients and interpolation methods were investigated. The conclusions in the work were made on the basis of the obtained correlation coefficients. This work can be useful for solving the problem of growing traffic in Internet of Things systems.

**Keywords:** *Adaptive Filter, biotelemetry, Internet of Things, decimation, interpolation, correlation.*

Целью работы было обеспечение снижения нагрузки на беспроводные каналы связи в концепции Интернета вещей.

В настоящее время из-за роста устройств Интернета вещей многие ученые работают над проблемой увеличения нагрузки на беспроводные каналы связи [1–4]. Так, в статье [1] ученые провели исследование, в результате которого пришли к выводам, что к 2030 году плотность устройств Интернета вещей достигнет 1 млн на 1 кв. км, что увеличит нагрузку на сеть в несколько раз.

Другие ученые в работе [4] посчитали, что в среднем на одно устройство Интернета вещей с минимальной нагрузкой на сеть передаваемый объем данных в активном режиме составляет 98-574 бит/сек, а в фоновом — 386-590 бит/сек. Это через 8 лет даст максимальную нагрузку на сеть в 590 Мбит/сек.

Из приведенной таблицы 1 делается вывод, что на текущий момент протоколом с наибольшей скоростью передачи данных является LTE-M со скоростью передачи данных в 1 Мбит/сек, что является меньше необходимого минимального объема передаваемого трафика в 98 раз.

Проведенные исследования демонстрируют, что существующие протоколы не смогут обеспечить необходимый объем передачи данных, из чего делается вывод о необходимости нахождения метода для уменьшения объема передаваемого трафика.

Таблица 1. Стандарты передачи данных по беспроводным каналам связи, используемые в приложениях Интернета вещей

Стандарт	Скорость передачи, Мбит/сек (Кбит/сек)		
	Частота		
IEEE 802.15.4 6LoWPAN	868 МГц	915 МГц	2,4 ГГц
	20 кбит/с	40 кбит/с	250 кбит/с
NB-Fi	10–100 бит/с		
RMPA	2 Кбит/с		
LTE-M	1 Мбит/с		
Weightless	100 бит/с		
UNB (Sigfox)	100 бит/с		
LoRaWAN RU	300 бит/с — 50 Кбит		
NB-IoT	200 Кбит/с		

В данной работе будет предложен способ оптимизации систем связи посредством уменьшения количества отсчетов на передающей стороне методом децимации. На приемной стороне отсчеты будут восстановлены методом интерполяции и отфильтрованы от добавленных шумов, которые появляются при прохождении по каналу связи методом адаптивной фильтрации.

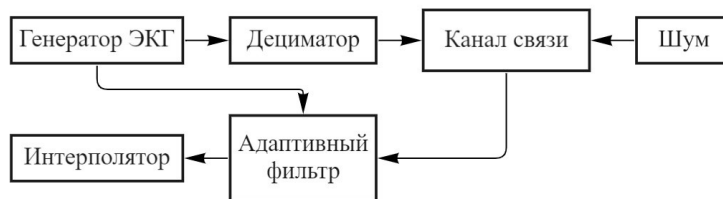


Рисунок 1. Структурная схема исследуемой модели

Сбор данных осуществлялся модулем ЭКГ на базе AD8232. Данные поступали на осциллограф Hantek DSO-2090 USB, с которого был получен аналоговый сигнал ЭКГ. Данный сигнал дискретизировался с частотой 1250 Гц, после чего подвергался децимации.

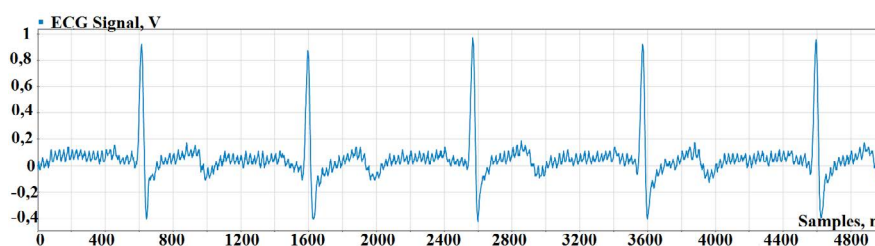


Рисунок 2. Сигнал ЭКГ

Для примера было взято 2000 отсчётов исходного ЭКГ, которые были загружены в MatLab. Были проведены исследования с двумя разными коэффициентами децимации.

В первом случае количество отсчетов сигнала было уменьшено в два раза. Результат децимации представлен на рисунках 3 и 4. Далее сигнал поступал в канал связи, где подвергался воздействию шума.

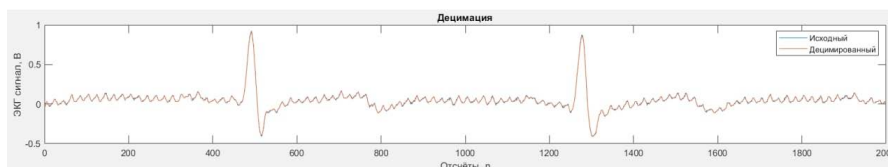


Рисунок 3. Исходный и децимированный сигнал

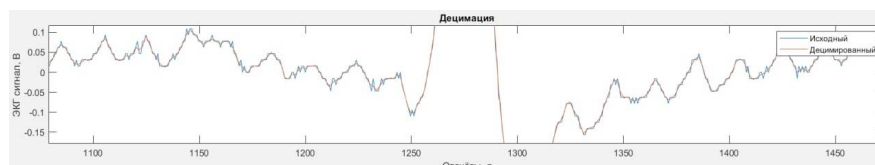


Рисунок 4. Приближенный исходный и децимированный сигналы

На приемной стороне для фильтрации сигнала используется адаптивный фильтр. Результаты фильтрации представлены на рисунках 5 и 6. Далее для сравнения восстановление отсчётов происходило тремя разными методами — линейной, кубической и интерполяцией Сплайна, результаты восстановления сигнала представлены на рисунках 7 и 8. Для анализа интерполяции использовался коэффициент корреляции, который для интерполяции Сплайна был равен 99,39%, для кубической — 99,41% и для линейной — 99,43%.

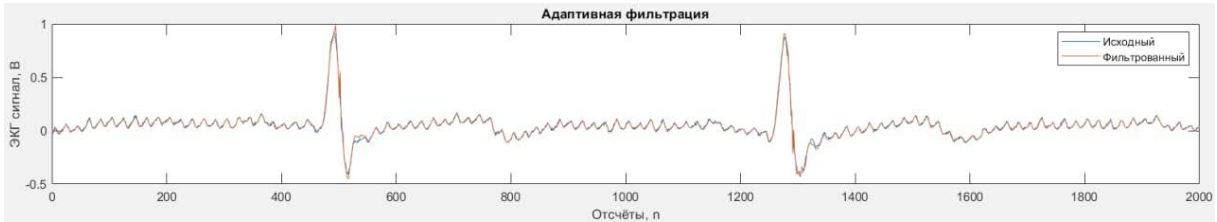


Рисунок 5. Исходный и фильтрованный сигналы

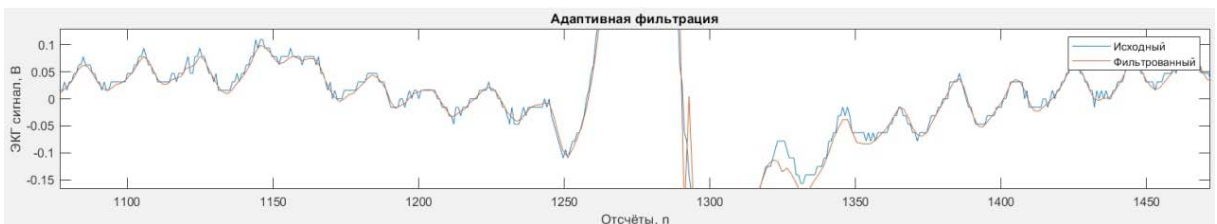


Рисунок 6. Приближенный исходный и фильтрованный сигналы

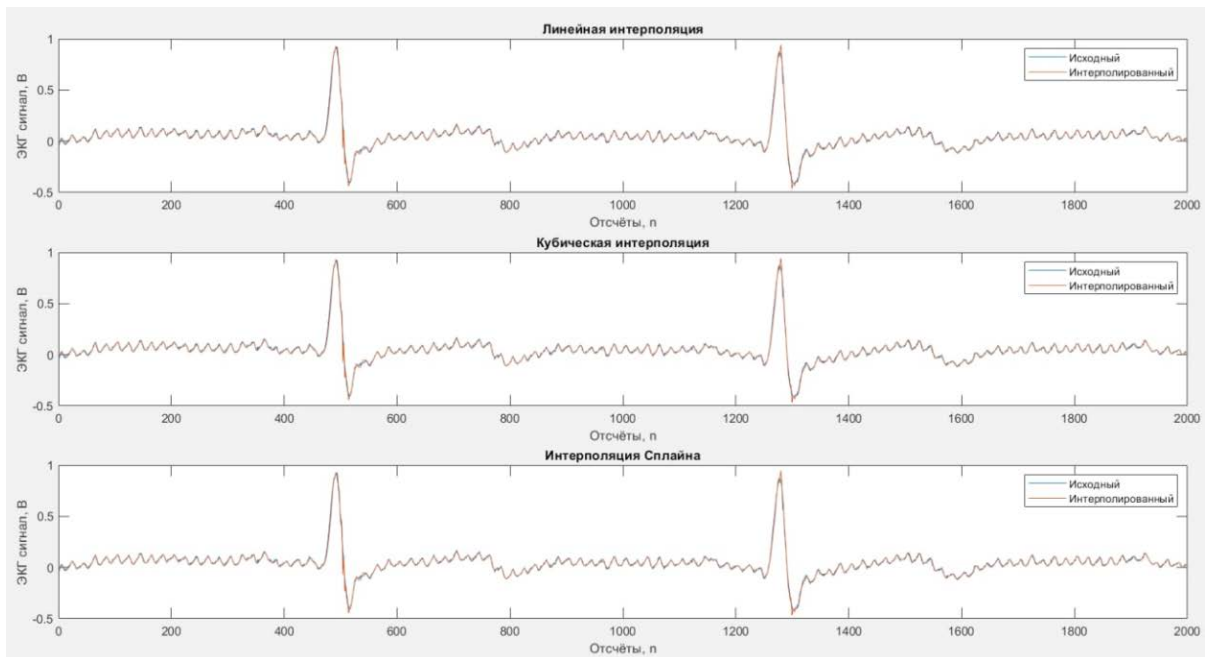


Рисунок 7. Исходный и интерполированные сигналы



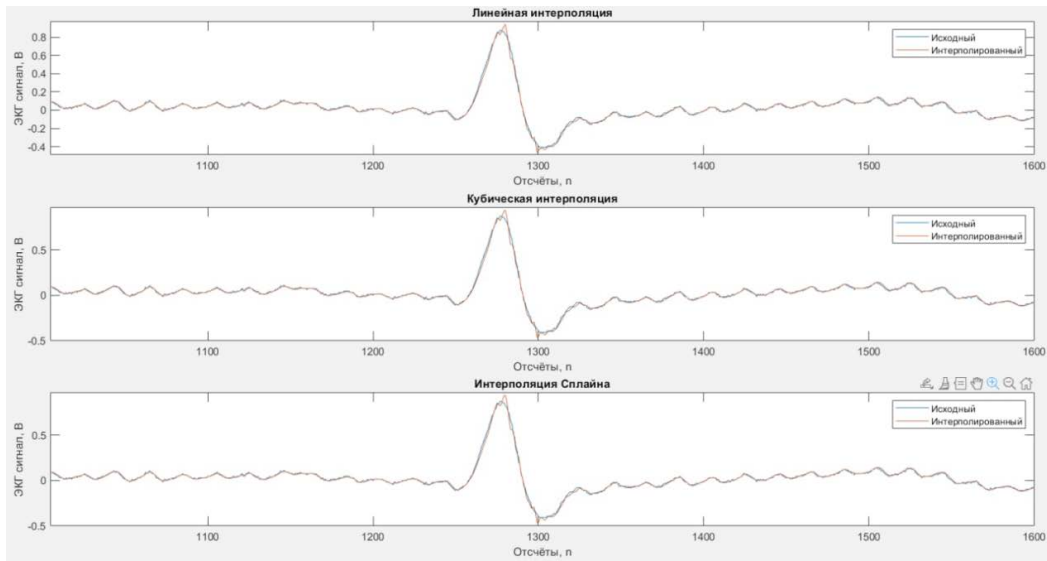


Рисунок 8. Приближенный исходный и интерполированные сигналы

Во втором случае количество отсчетов сигнала было уменьшено в пять раз. Результат децимации представлен на рисунках 9 и 10. Результат фильтрации представлен на рисунках 11 и 12. Результаты интерполяции представлены на рисунках 13 и 14.

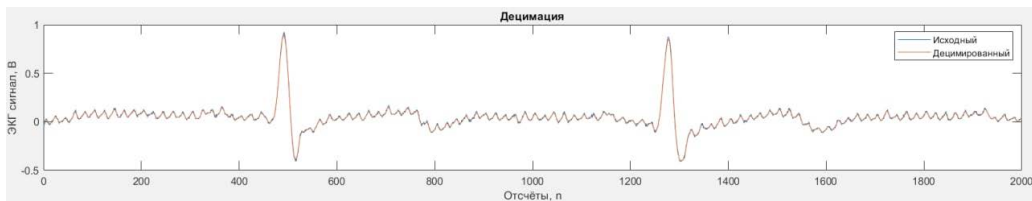


Рисунок 9. Исходный и децимированный сигналы

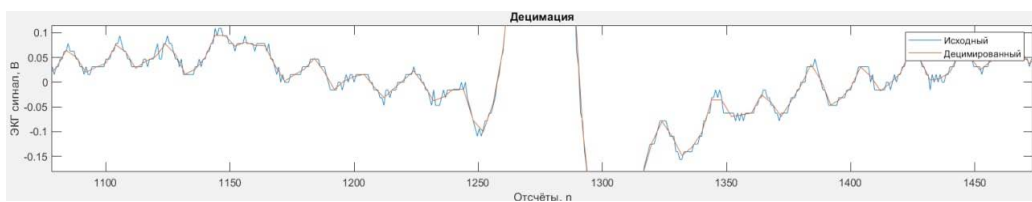


Рисунок 10. Приближенный исходный и децимированный сигналы

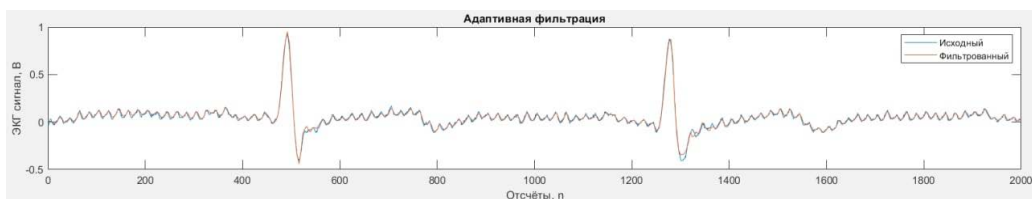


Рисунок 11. Исходный и фильтрованный сигналы

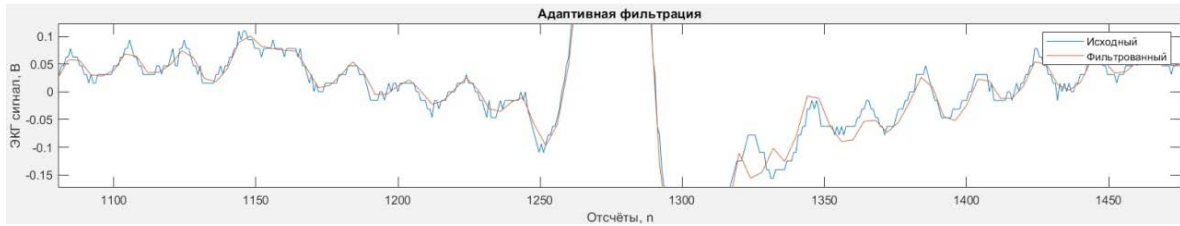


Рисунок 12. Приближенный исходный и фильтрованный сигналы

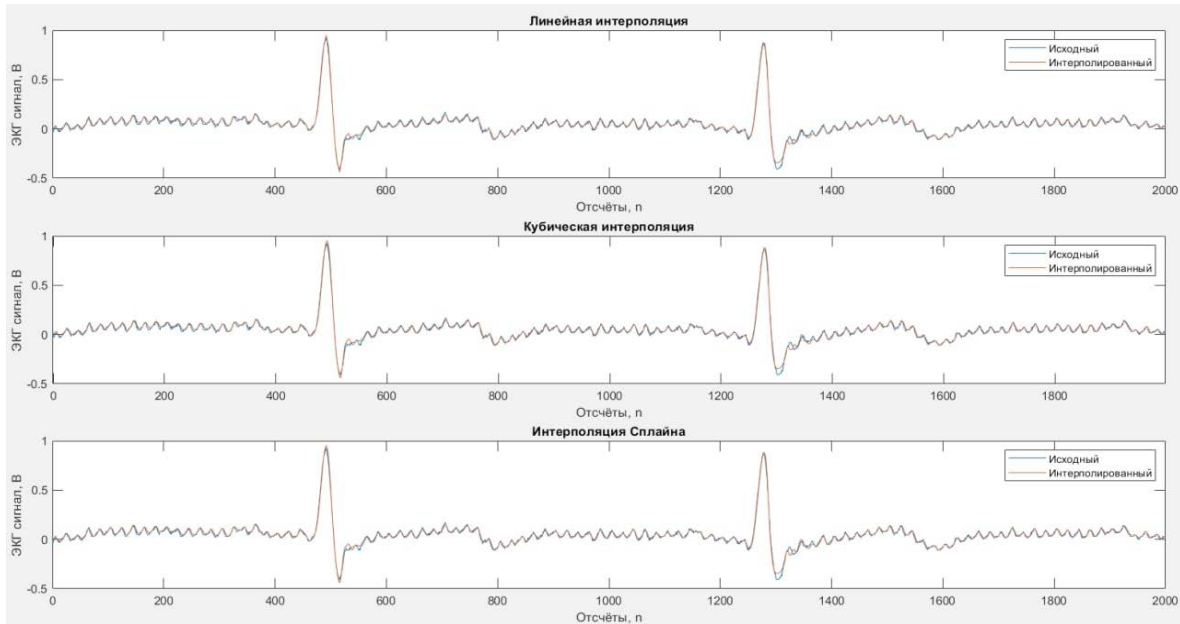


Рисунок 13. Исходный и интерполированные сигналы

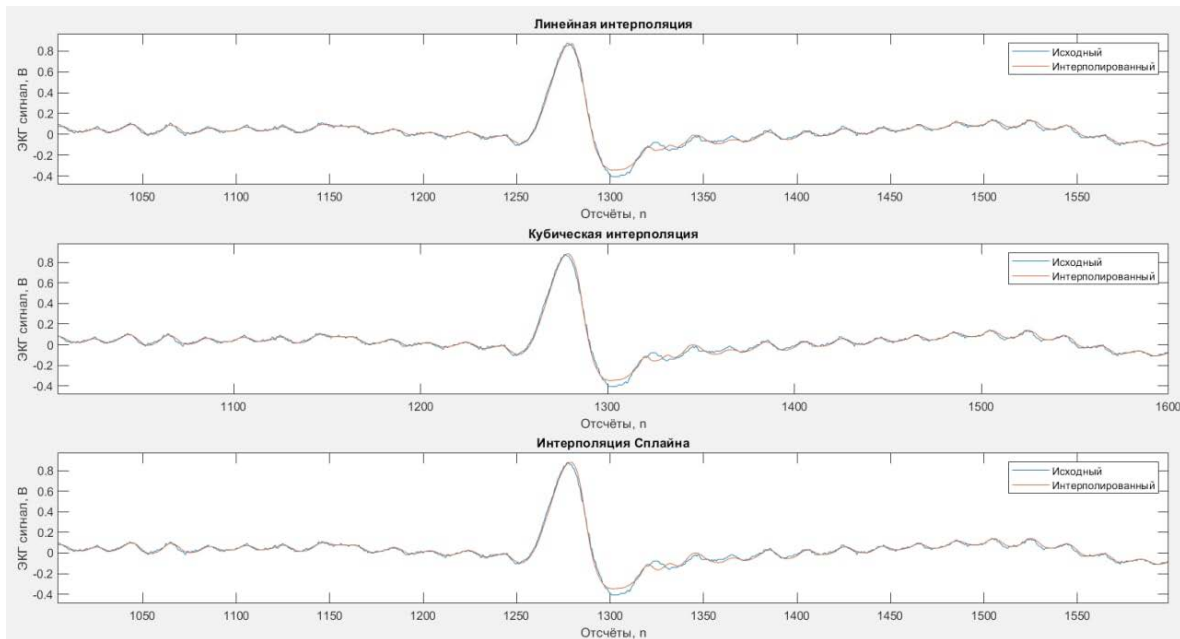


Рисунок 14. Приближенный исходный и интерполированные сигналы

Коэффициент корреляции восстановленного сигнала для интерполяции Сплайна был равен 99,28%, для кубической — 99,27% и для линейной — 99,27%.

Дальнейшее уменьшение количества отсчетов приводит к тому, что восстановление сигнала методом интерполяции невозможно.

Полученные результаты соответствуют стандартам ГОСТ Р ИСО 11073-91064-2017, регламентирующим передачу данных ЭКГ.

Таблица 2. Результаты исследования

Метод интерполяции	Коэффициент корреляции
<b>Коэффициент децимации 2</b>	
Линейная	99,43%
Кубическая	99,41%
Интерполяция Сплайна	99,39%
<b>Коэффициент децимации 5</b>	
Линейная	99,27%
Кубическая	99,27%
Интерполяция Сплайна	99,28%

В заключение можно сделать вывод, что использование адаптивного фильтра и интерполятора позволяет снизить нагрузку на канал связи в 5 раз. Анализ показал высокую степень схожести переданного и принятого сигналов ЭКГ.

### Список использованной литературы

1. Волков А. Н., Мутханна А. С. А., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения на пути к сетям 2030 // Информационные технологии и телекоммуникации. — 2020. — Том 8. — № 2. — С. 32–43.
2. Зайцев В., Соколов Н. Особенности мультисервисного трафика с учетом сообщений, создаваемых устройствами IoT // Первая миля. — 2017. — №4. — С.44–47.
3. Киричек Р. В., Кулик В. А. Исследование и генерация трафика промышленного Интернета Вещей // 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., Ромасевич Е. П. Анализ трафика устройств интернета вещей // Modern Information Technologies and IT-Education, Vol. 14. — no. 1. — 2018 ISSN 2411-1473.

УДК 621

**Гапоненко Н. А.**

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

## УСТОЙЧИВОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ГЕТЕРОГЕННЫХ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

г. Сургут

**Аннотация.** В статье рассматриваются гетерогенные сети мобильной связи, основы данной сети, преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** гетерогенная сеть, HetNet, базовая станция, сетевые устройства.

**Garonenko N. A.**

*Surgut State University, Surgut*

## STABILITY AND RELIABILITY OF HETEROGENEOUS MOBILE COMMUNICATION NETWORKS

*Surgut*

**Abstract.** The topic of the article is heterogeneous mobile communication networks, the basics of this network, advantages and disadvantages.

**Keywords:** heterogeneous network, HetNet, base station, network devices.

Связь с момента ее появления была средством осуществления коммуникации между людьми. Сквозь тысячелетия роль ее не изменилась, человечество создало массу средств для коммуникации, и на сегодняшний день уже никого не удивить возможностью общаться по видеосвязи, бесконтактной оплатой пластиковой карточкой или шопингом на портале именитого веб-магазина.

За последнюю декаду число активных пользователей мобильной связикратно выросло, число пользователей сотовой связи в России сегодня превышает 255 миллионов, что почти вдвое больше численности населения страны. Это обусловлено тем, что у многих людей имеется более одной активной сим-карты. Подобный тренд характерен и для других стран мира.

Если десять лет назад количество абонентов было прямо пропорционально прибыли, то сейчас приоритетом стало обуздание постоянно растущего трафика.

Помимо этого, услуги должны предоставляться с удовлетворительным уровнем качества, что с каждым годом становится только сложнее.

Решением проблемы растущего трафика послужило увеличение количества базовых станций (далее — БС), действительно увеличение плотности БС привело к положительным результатам, но со временем возможность развертывания новых БС достигнет предела из-за чрезмерного использования частот и большой стоимости и их установка станет нецелесообразной в крупных городах. При такой ситуации непременно появятся «пробелы» в покрытии и для их заполнения используют малые БС, Wi-Fi и другие элементы сети, образуя вместе гетерогенную сеть (HetNet).



Рисунок 1. Структура гетерогенной сети

Гетерогенные сети действительно могут решить вопрос растущего трафика благодаря высокой плотности устройств доступа в зоне покрытия сети. Но сеть, состоящая из сетевых устройств разного масштаба, определенно имеет и свои минусы:

- Усложнение общей топологии сети;
- Снижение производительности из-за интерференции;
- Плохая совместимость оборудования от разных производителей.

Исходя из перечисленных недостатков, можно сделать вывод, что такая сеть может привести к ухудшению качества предоставляемых услуг. Это плохо отразится на общем опыте абонентов сети, поскольку это основной драйвер не только услуг голосовой связи, а также средство доступа к мультимедийному контенту сети интернет, выполнение работы приложений, управление умной техникой и другие технологии, использующие передачу данных.

Для повышения качества предоставляемых услуг в подобных системах необходимо достигнуть максимальной совместимости между сотовыми технология-

ми радиодоступа, таких как система LTE, с системами локального доступа IEEE 802.11 (Wi-Fi). Также стоит обратить внимание на пользовательские устройства, которые могут использоваться для прямых соединений между собой, что непременно позволит перевести трафик из сотовой сети, тем самым понизив нагрузку на инфраструктуру сетей оператора.

Исходя из явных недостатков, стоит более подробно раскрыть и преимущества гетерогенных сетей:

- Повышение емкости сети;
- Продвинутый анализ карт трафика сети;
- Гибкость развертывания сети;
- Высокая эффективность в местах массового скопления людей (Hotspot).

С помощью HetNet поставщик связи сможет создать сеть с высокой емкостью и пропускной способностью, что однозначно приведет к положительному опыту пользователей.

### **Список использованной литературы**

1. Андреев С. Д. Разработка и исследование моделей множественного доступа и алгоритмов управления потоками трафика для гетерогенных беспроводных сетей : Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — Санкт-Петербург, 2019.
2. Романшенков Н. О. Гетерогенные сети: ключевые технологии HetNet и сценарии развертывания // 1234G.ru. (портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи). — URL: <http://1234g.ru/4g/lte/struktury-setej-lte/geterogennye-seti-klyuchevye-tekhnologii-hetnet-i-stsenarii-razvertyvaniya> 2149 (дата обращения: 9.04.2022).

УДК 621.396.97, 654.165

*Алмазова Е. Г., Дёмко А. И.*

Политехнический институт Сургутского государственного университета

## ЦИФРОВЫЕ ФОРМИРОВАТЕЛИ МНОГОФАЗНЫХ СИГНАЛОВ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В современных радиоэлектронных системах широко применяются фазомодулированные (ФМ) сигналы. Аналоговые методы базируются на управляемых фазовращателях или инверторах (для двух значений фазы  $0^\circ/180^\circ$ ). Однако в аналоговых фазовращателях сложно обеспечить высокую точность и стабильность задания фазового сдвига. Целью статьи является рассмотрение аппаратных способов формирования высокостабильных многофазных сигналов.

**Ключевые слова:** *фазовращатель, триггер, регистр сдвига, мультиплексор.*

*Almazova E. G., Demko A. I.*

Polytechnic Institute of Surgut State University

## DIGITAL MULTIPHASE SIGNAL FORMERS

*Surgut*

**Abstract.** Phase-modulated (FM) signals are widely used in modern electronic systems. Analog methods are based on controlled phase shifters or inverters (for two phase values  $0^\circ/180^\circ$ ). However, in analog phase shifters, it is difficult to ensure high accuracy and stability of the phase shift setting. The purpose of the article is to consider hardware methods for the formation of highly stable multiphase signals.

**Keywords:** *phase shifter, trigger, shift register, multiplexer.*

Плавное изменение фазы реализуется на управляемых фазовращателях, которые относятся к аналоговым, требует повышенных требований как к стабильности параметров формирователей, так и к точности задания управляющего сигнала, иначе возникают погрешности фазового сдвига.

Дискретное изменение фазы может быть реализовано с помощью схем фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ). Известны принципы работы ФАПЧ в режиме синхронного деления частоты [1], которые могут использоваться

как для умножения и деления, так и для дробного преобразования частоты гармонических сигналов:

$$\omega_{\text{вых}} = \frac{m}{n} \omega_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где  $\omega_{\text{вых}}$  — частота подстраиваемого генератора схемы ФАПЧ;

$\omega_{\text{оп}}$  — частота опорного генератора схемы ФАПЧ;

$m$  и  $n$  — целые положительные числа.

Но в схемах ФАПЧ присутствует неоднозначность ( $0^\circ/180^\circ$ ) фазы опорного и подстраиваемого генератора, что ограничивает возможности использования схем ФАПЧ для фазовой модуляции.

Используя возможности цифровой схемотехники и взаимосвязь временных параметров периодической последовательности импульсов с фазой первой гармоники этой последовательности

$$\tau = \varphi T / (2\pi), \quad (2)$$

можно создать различные варианты дискретных фазовращателей на основе цифровой схемотехники.

Простой вариант цифрового фазовращателя, соответствующий набору из двух значений фазы  $0^\circ/180^\circ$  (манипуляция фазы), представлен на рисунке 1.

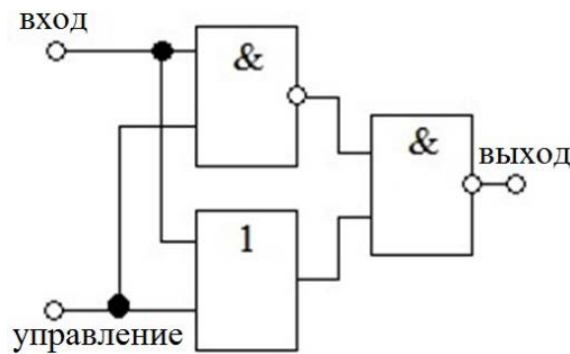


Рисунок 1. Управляемый инвертор (манипулятор фазы)

На вход необходимо подавать меандр (прямоугольные импульсы со скважностью два, иначе необходимо использовать дополнительный счётный триггер). Вход управления позволяет изменять полярность импульсов (рисунок 2), что эквивалентно повороту на  $180^\circ$  фазы выделяемой из этих импульсов первой гармоники, при этом точки на сигнальном созвездии жёстко привязаны к значениям фазы  $0^\circ$  и  $180^\circ$ .



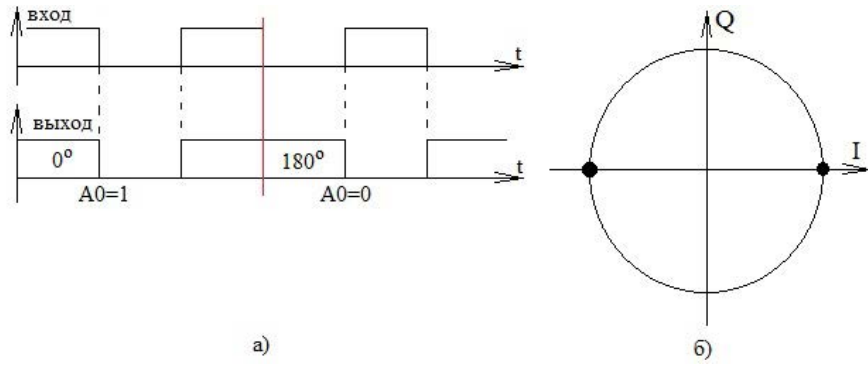


Рисунок 2. Временные диаграммы (а) и сигнальное созвездие (б) универсального управляемого инвертора

Для четырёхпозиционной ( $0^\circ/90^\circ/180^\circ/270^\circ$ ) фазовой модуляции в схему рисунка 1 добавляется делитель частоты на два (счётный триггер) и ещё одна ступень управляемого инвертора (рисунок 3).

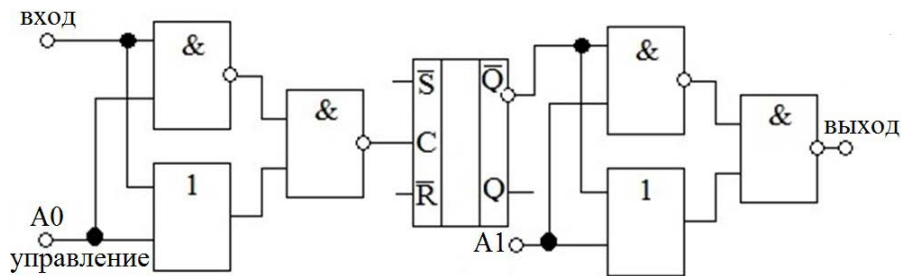


Рисунок 3. Четырёхпозиционный цифровой фазовращатель

На рисунке 4 представлены временные диаграммы и сигнальное созвездие, соответствующие работе четырёхпозиционного цифрового фазовращателя.

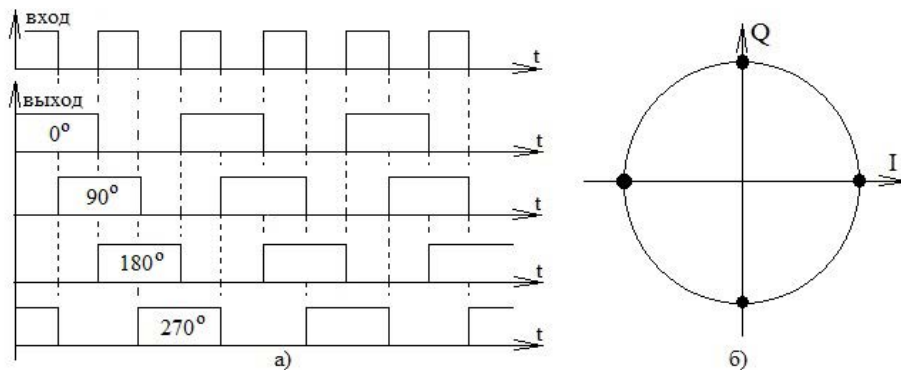


Рисунок 4. Временные диаграммы (а) и сигнальное созвездие (б) четырёхпозиционного цифрового фазовращателя

На рисунке 5 представлена схема восьмипозиционного ( $0^\circ/45^\circ/90^\circ/135^\circ/180^\circ/225^\circ/270^\circ/315^\circ$ ) цифрового фазовращателя, для чего в схему рисунка 3 добавляется ещё одна ступень делителя частоты с управляемым инвертором. На рисунке 6 приведены временные диаграммы и сигнальное созвездие, соответствующие работе восьмипозиционного цифрового фазовращателя.

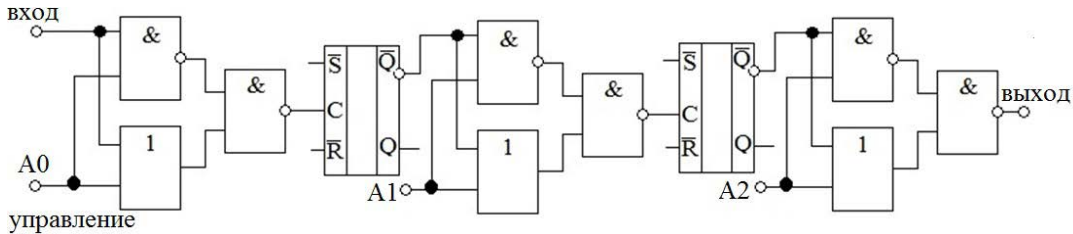


Рисунок 5. Восьмипозиционный цифровой фазовращатель

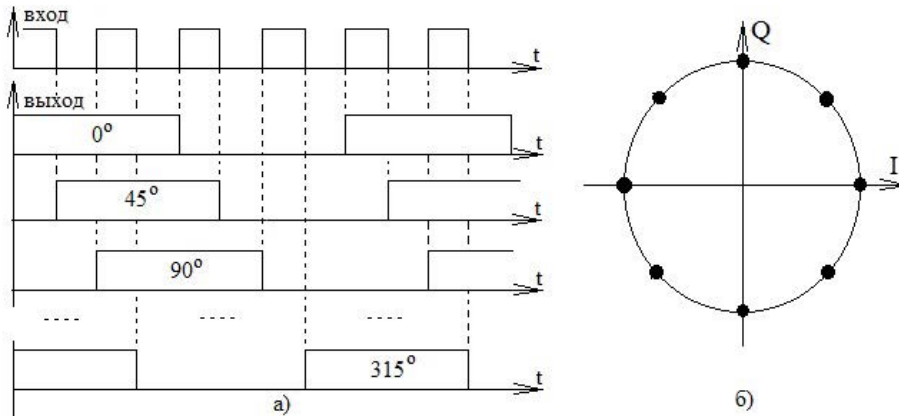


Рисунок 6. Временные диаграммы (а) и сигнальное созвездие (б) восьмипозиционного цифрового фазовращателя

Отсюда видна логика построения схем многопозиционных модуляторов фазы: добавление дополнительной ступени делителя частоты и управляемого инвертора удваивает число дискретных значений фазы.

Другой вариант цифрового управляемого формирования фазовых сдвигов состоит в использовании цифрового регистра сдвига.

На рисунке 7 представлена функциональная схема восьмипозиционного ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$  и  $315^\circ$ ) цифрового фазовращателя. Исходная периодическая последовательность прямоугольных импульсов типа меандр формируется триггерами, работающими в счётном режиме. Эта импульсная последовательность сдвигается регистром сдвига  $RG$ , один из выходов которого поступает на выход коммутатора  $Y$ . Код управления определяется состоянием адресных входов  $A0-A2$ .

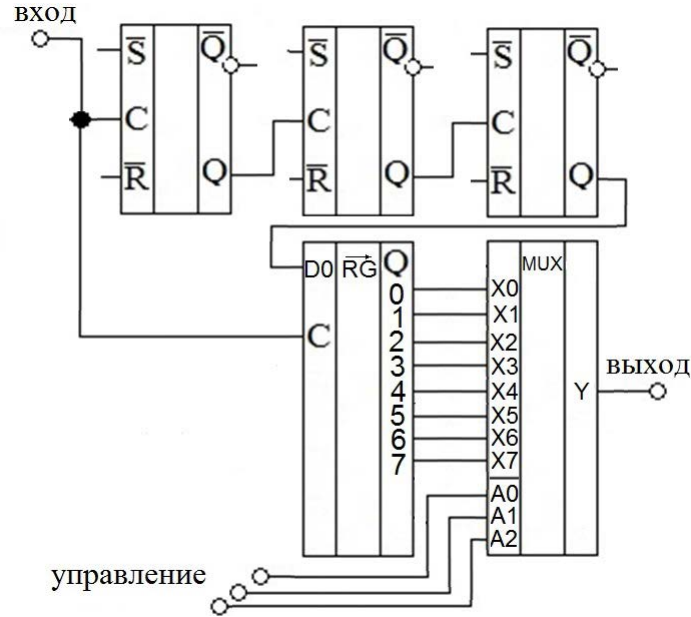


Рисунок 7. Функциональная схема восьмипозиционного регистрового цифрового фазовращателя

Третий вариант состоит в параллельном формировании набора сдвинутых друг относительно друга последовательностей импульсов типа меандр.

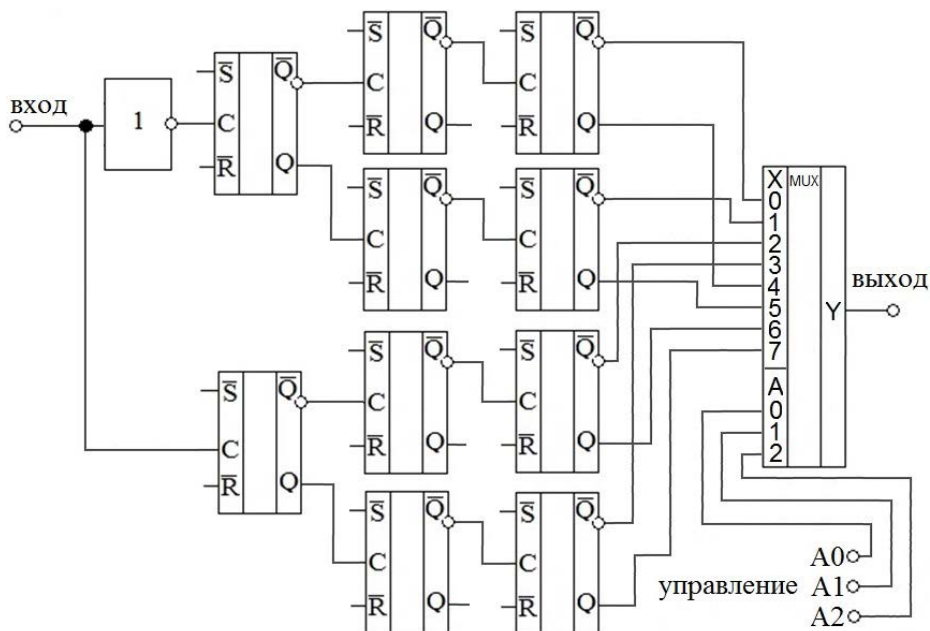


Рисунок 8. Функциональная схема параллельного цифрового фазовращателя

Варианты регистрового и параллельного формирователя более универсальны и могут использоваться для формирования одновременно нескольких последова-

тельностью, как независимых, так и жёстко синхронизированных (допустим, с поворотом сигнального созвездия на фиксированный угол).

По сравнению с известными способами формирования фазомодулированных сигналов (использованием управляемого фазового модулятора или квадратурной схемы формирования) рассмотренный способ формирования дискретных наборов фазы из ансамбля

$$\phi_n = \frac{2\pi}{2^{N+1}} n, \quad n = 0, 1, \dots, (2^{N+1} - 1) \quad (3)$$

не является аналоговым, поэтому точность формирования фазы не зависит от различных дестабилизирующих факторов. Особенностью предлагаемых схем является контролируемое преобразование временного масштаба при делении частоты.

Неидеальность работы цифровых фазовых модуляторов может быть оценена с учётом времени задержки сигналов цифровыми элементами. Например, для схем транзисторно-транзисторной логики с диодами Шоттки серии К531 время задержки распространения при включении для логических элементов для этой серии не превышает 5 нс, время задержки распространения при переключении для триггеров (типа К531ТМ2) не превышает 12 нс. Задержке 12 нс соответствует погрешность задания фазы 1% (по фазе  $3,5^\circ$ ), благодаря чему реализуется при частоте повторения импульсов 1,2 МГц (период повторения 833 нс).

Переход от периодической последовательности прямоугольных импульсов типа меандр к гармоническому ФМ сигналу может быть произведён функциональным нелинейным преобразованием, линейной фильтрацией (выделением первой гармоники фильтром) или накопительным способом с помощью быстродействующей системы ФАПЧ.

Рассмотренные способы формирования фазомодулированных сигналов с дискретной модуляцией обладают высокой точностью задания, сохраняемой при перестройке частоты несущего колебания. Схемы реализуются на цифровых микросхемах. Представленные в статье результаты могут быть использованы в системах радиолокации и связи.

### Список использованной литературы

1. Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты. — Москва : Связь, 1972. — 447 с.

УДК 621

***Загитов С. Р., Прохорова Е. В.***

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

## СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАГРУЗКИ НА КАНАЛ СВЯЗИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

**Аннотация.** Проблематика — распределение процессов обработки медицинских данных в системе передачи, организованной в концепции IoT. Исследование методов определения взаимной зависимости трех основных параметров распределительной системы для сбора, обработки и передачи данных биотелеметрии — вычислительной мощности микроконтроллера, скорости передачи данных по беспроводной линии связи, электропотребления системы.

**Ключевые слова:** *интернет вещей, биотелеметрия, микроконтроллеры, беспроводные сети доступа.*

***Zagitov S.R., Prokhorova E.V.***

Polytechnic Institute of Surgut State University, г. Surgut

## METHODS FOR MEASURING THE LOAD ON A COMMUNICATION CHANNEL IN A DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEM

**Abstract.** The issue is the distribution of medical data processing processes in the transmission system, organized in the IoT concept. Investigation of methods for determining the mutual dependence of the three main parameters of the distribution system for collecting, processing and transmitting biotelemetry data — the computing power of the microcontroller, the speed of data transmission over a wireless communication line, the power consumption of the system.

**Keywords:** *internet of things, biotelemetry, microcontrollers, wireless access networks.*

### **Введение**

В настоящее время существует проблема распределения процессов обработки и передачи медицинских данных, организованной в концепции IoT. В рамках вы-

полнения дипломного проекта была проведена оценка скорости передачи данных по беспроводной линии связи двумя различными способами:

- 1) **Объёмный метод** — заключается в непосредственной оценке количества передачи данных за определенный промежуток времени и последующим вычислением скорости передачи данных, выполняется в окне мониторинга Arduino Mega 2560.
- 2) **Программный метод** — более точный метод оценки скорости передачи данных в беспроводных сетях, в рамках выполнения данной работы использовалась iPerf — это кросс-платформенная консольная клиент-сервер программа — генератор TCP, UDP и SCTP трафика.

### Ход работы

Так как для выполнения данной работы необходимо было выбрать наиболее оптимальный способ измерения скорости передачи данных в беспроводной сети, был выбран именно iPerf.

Структурная схема смоделированной системы представлена на рисунке 1.

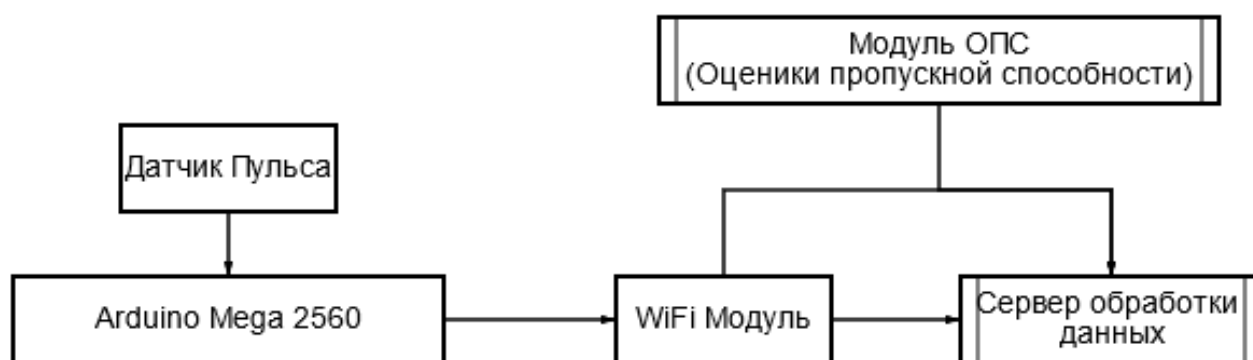


Рисунок 1. Структурная схема

Алгоритм выполнения работы:

- 1) Необходимо запустить серверную часть программы, указать единицы измерения, задать порт, через который будет проверяться скорость передачи данных.
- 2) С помощью команды `ipconfig` необходимо узнать IP, далее указываем данные для подключения Wi-Fi модуля к серверу обработки данных.
- 3) Ожидаем подключения Wi-Fi модуля к серверу и выполняем три 10-секундных теста, в ходе которых измеряется пропускная способность канала связи.

```

sergiy@sergiy-pc:~$ iperf3 -c 192.168.0.101 -f K
Connecting to host 192.168.0.101, port 5201
[ 5] local 192.168.0.102 port 48996 connected to 192.168.0.101 port 5201
[ ID] Interval           Transfer             Bitrate             Retr    Cwnd
[ 5]  0.00-1.00       sec   11.7 MBytes        11972 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  1.00-2.00       sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  2.00-3.00       sec   11.4 MBytes        11674 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  3.00-4.00       sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  4.00-5.00       sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  5.00-6.00       sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  6.00-7.00       sec   11.4 MBytes        11674 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  7.00-8.00       sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  8.00-9.00       sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
[ 5]  9.00-10.00      sec   11.2 MBytes        11431 KBytes/sec     0    103 KBytes
-----
[ ID] Interval           Transfer             Bitrate             Retr
[ 5]  0.00-10.00      sec   113 MBytes        11534 KBytes/sec     0
[ 5]  0.00-10.00      sec   112 MBytes        11489 KBytes/sec
iperf Done.
sergiy@sergiy-pc:~$

```

Рисунок 2. Пример выполнения теста в iPerf

## Заключение

В дальнейшей работе данная структурная схема будет спроектирована для оценки остальных двух параметров системы, спроектированной в рамках концепции IoT — вычислительной мощности микроконтроллера и энергопотребления системы, составлены зависимости и проведена оптимизация распределительной системы сбора, обработки и передачи данных биотелеметрии.

## Список использованной литературы

1. Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебное пособие для вузов — 5-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Питер, 2017. — 992 с. — (Серия: Специалист).
2. EN 1064:2005+A1:2007. Health informatics — Standard communication protocol — Computer-assisted electrocardiography. — Date of Availability (DAV) 2007-03-14.
3. Srivastava, A., Sankar K., N., Chatterjee, B., Das, D., Ahmad, M., Kukkundoor, R. K., Baghini, M. S. (2018). Bio-WiTel: A Low-Power Integrated Wireless Telemetry System for Healthcare Applications in 401–406 MHz Band of MedRadio Spectrum. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 22(2), 483–494. — doi:10.1109/jbhi.2016.2639587.

УДК 681.586

*Соловьёв В. С., Альтенгоф А. С.*

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

## БЕСПРОВОДНЫЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ ПОВЫШЕННОЙ ЖИВУЧЕСТИ

*г. Сургут*

### **Аннотация.**

Предмет. Беспроводные сенсорные сети (БСС) получили широкое применение в системах мониторинга окружающей среды, технологических объектов в труднодоступных местах, где существуют сложности по организации стабильной системы питания. Маломощность передатчиков позволяет использовать автономные источники питания. В этой статье рассматриваются основные проблемы, недостатки и преимущества беспроводных сенсорных сетей.

Цель. Исследование проблемы беспроводных сенсорных сетей повышенной живучести. Поиск проблем и направлений решения основной проблемы.

Методология. В процессе исследования проблемы проектирования беспроводных сенсорных сетей были использованы методы логического анализа.

Вывод. При анализе был сделан вывод об актуальности данной проблемы и нескольких направлениях ее решения.

**Ключевые слова:** *беспроводная сенсорная сеть (БСС), отказоустойчивость.*

*Soloviev V. S., Altengof A. S.*

Surgut State University, Surgut

## WIRELESS SENSOR NETWORKS OF INCREASED SURVIVABILITY

*Surgut*

### **Abstract.**

Subject. Wireless sensor networks (WSN) have been widely used in environmental monitoring systems, technological facilities in hard-to-reach places where there are difficulties in organizing a stable power supply system. The low power of the transmitters allows the use of autonomous power sources. This article discusses the main problems, disadvantages and advantages of wireless sensor networks.



Goal. Investigation of the problem of wireless sensor networks of increased survivability. Search for problems and ways to solve the main problem.

Methodology. In the process of studying the problem of designing wireless sensor networks, methods of logical analysis were used.

Conclusion. During the analysis, a conclusion was made about the relevance of this problem and several ways to solve it.

**Keywords:** *wireless sensor network (WSN), fault tolerance.*

Беспроводные сенсорные сети (БСС) получили широкое применение в системах мониторинга окружающей среды, технологических объектов в труднодоступных местах, где существуют сложности по организации стабильной системы питания и замены повреждённых узлов связи при чрезвычайных происшествиях [1]. Существуют два вида чрезвычайной ситуации: природная или техногенная катастрофа и преднамеренная атака. Характерной особенностью природной или техногенной катастрофы является ее плохая предсказуемость, внезапность, молниеносное распространение, случайность поражения объектов в очаге ЧС, низкая вероятность выхода из строя оборудования мобильной связи вне зоны очага поражения. Несмотря на устойчивость сети к различным видам отказов, благодаря использованию самоорганизующихся алгоритмов маршрутизации возникают вопросы снижения надежности из-за снижения уровня заряда батарей узлов. Достоинства систем на основе сенсорных сетей: возможность расположения в труднодоступных местах, куда сложно и дорого тянуть обыкновенные проводные решения, что часто наблюдается в местах нефтедобычи и при развертывании глобальных нефтегазовых трубопроводов; оперативность и удобство развертывания и обслуживания системы; надежность сети в целом — в случае выхода из строя одного из них информация передается через соседние элементы; возможность добавления или исключения любого количества устройств из сети; длительное время работы без замены элементов питания. Использование беспроводных устройств позволяет создать диспетчерскую систему, обеспечивающую оператору непрерывный доступ к информации о состоянии обслуживаемых объектов [4].

Используя статьи с интернет-ресурса ELibrary, исследовали проблемы беспроводных сенсорных сетей повышенной живучести и их решения, а также изучили метод оценки живучести беспроводной сети связи в условиях чрезвычайных ситуаций. Живучесть сети является важным аспектом надежности услуг связи. Сеть должна быть доступной всё время, так как могут быть нарушены важные технологические процессы. В момент потери связности сеть также должна восстанавливать свои функции как можно скорее. Задача живучести заключается в непрерывном обеспечении связи узлов сети в случае неисправностей сбоев системы и возможности полного своевременного восстановления в случае

отказа. Энергопотребление зависит от расстояния и наличия препятствий между различными узлами, объема передаваемой информации и частоты ее передачи, энергопотреблении используемых микросхем, датчиков и других электронных компонентов, логической структуры сети, включающей маршруты передачи информации от узла к узлу [3]. Регулярная замена элементов автономных источников питания является нежелательным явлением БСС. Есть несколько решений и способов: совершенствование автономных источников питания, применение подхода energy harvesting, оптимизация энергопотребления сети. Energy harvesting предполагает преобразование энергии побочных механических, тепловых или электромагнитных воздействий в электрический ток для питания устройства

БСС может быть использована и в военно-технических задачах [2]. Благодаря тому, что БСС представляет собой некоторое множество беспроводных сенсоров, которые могут быть дислоцированы в целевую область для осуществления её мониторинга и контроля, БСС является достаточно актуальной для военной сферы. Можно выделить основные задачи военного применения, которые могут быть решены с помощью БСС: мониторинг периметра базы, защита объекта, разведка, шпионаж, обнаружение и локализация снайперов, химическая диагностика, бактериологическая диагностика, ядерная и радиационная диагностика, передача данных между наземными, воздушными и морскими силами. В связи с этим возникают проблемы и варианты их решения. Защита от прослушивания — враг может перехватить и декодировать сообщения, циркулирующие между узлами сети. Для предотвращения прослушивания необходимо стойкое шифрование передаваемых данных.

Защита от спуфинга — враг может свой узел выдать в качестве санкционированного узла сети и тем самым произвести диверсию. Соответственно необходимо использование механизмов аутентификации узлов в сети. Защита целостности данных — способность

сообщений, циркулирующих между узлами, оставаться без изменения и модификаций в течение всего продвижения по сети. На протяжении всего пути, по которому следует пакет, маршрут также должен оставаться неизменным. Криптографическая защита и мощная проверка целостности (например MD5, Hash, SHA) могут обеспечить надежную защиту от фальсификации сообщений и атак воспроизведения. Защита от отказа в обслуживании — предотвращение создания условий, при которых узлы не могут получить доступ и использовать сеть для передачи сообщений. Защита от геолокационного обнаружения — враг может определить местонахождение географического положения узлов сенсорной сети путём обнаружения излучений устройств. Сокращение частоты и продолжительности передачи данных до абсолютного минимума и продолжительности уменьшит шанс того, что сеть будет обнаружена. Тем не менее всегда будет вероятность

обнаружения, особенно, если противник знает, что в данной области располагается сенсорная сеть. Защита физических компонентов — враг может извлечь собранные данные из сенсорного узла, механически вскрыв его корпус. Необходимо использование корпусов с особой технологией демонтажа креплений, без знания которой критически повреждаются элементы памяти и не подлежат восстановлению. Сопротивление условиям внешней среды — корпус сенсорного узла должен быть защищен от различного рода воздействий окружающей среды: температуры, помех, воды и т. д.

Рассмотрев проблемы БСС и способы их решения, сделали вывод, что они представляют большой интерес с точки зрения их применения в различных областях, таких как нефтяная и военная. Беспроводные сенсорные сети являются прекрасным инструментом, позволяющим строить эффективные системы защиты, мониторинга, контроля и исследования целевых областей.

### **Список использованной литературы**

1. Ромашкова О. Н., Дедова Е. В. Живучесть беспроводных сетей связи в условиях чрезвычайной ситуации.
2. Махров С. С. Беспроводные сенсорные сети в военно-тактических задачах.
3. Мохсен М. Н. Богуславский И. В. Модель энергопотребления узлов беспроводной сети датчиков для увеличения времени автономной работы сети.
4. Самоделкина С. В. Использование беспроводных сенсорных сетей для мониторинга состояния нефтепроводов.

# **СЕКЦИЯ 4**

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ  
ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ  
ИНФОКОММУНИКАЦИЙ  
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ВУЗЕ

УДК 378.14.015.62

*Дёмко А. И.*

Политехнический институт Сургутского государственного университета

## ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ: БАКАЛАВРИАТ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье рассмотрена подготовка бакалавров направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» в рамках Болонского процесса, приведено сравнение с аналогичным направлением специалитета 210400 «Телекоммуникации». Комментируются предпосылки и следствия изменения российского высшего образования, обсуждаются особенности адаптации Болонского процесса в России.

**Ключевые слова:** *Болонский процесс, высшее профессиональное образование, компетентностный подход.*

*Demko A. I.*

Polytechnic Institute of Surgut State University

## INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES AND COMMUNICATION SYSTEMS: BACHELOR'S DEGREE YESTERDAY, TODAY AND TOMORROW?

*Surgut*

**Abstract.** The article discusses the preparation of bachelors of the 11.03.02 direction of Infocommunication technologies and communication systems within the framework of the Bologna process, a comparison with a similar direction of the 210400 Telecommunications specialty is given. The prerequisites and consequences of the change in Russian higher education are commented on, the peculiarities of the adaptation of the Bologna process in Russia are discussed.

**Keywords:** *Bologna process, higher professional education, competence approach.*

Рассмотрим динамику развития высшего образования бакалавриата по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Это направление появилось как определённый преемник специалитета направления 210400 «Телекоммуникации».

Последний Государственный образовательный стандарт направления 210400 «Телекоммуникации» был утверждён Министерством образования РФ в 2000 году. Уже тогда в российских вузах активно обсуждались возможности внедрения четырёхлетней подготовки по программам бакалавриата. Отдельные вузы, наряду со специалитетом, параллельно готовили бакалавров, используя общий набор и дальнейшее распределение после 1-2 курсов на траектории специалиста или бакалавра.

Учебно-методическое объединение (УМО) по телекоммуникациям под руководством председателя УМО профессора Шахгильдяна В. В. и заместителя председателя УМО профессора Фомина Н. Н. долго противостояло давлению Министерства образования по переходу на двухуровневую подготовку (бакалавр/магистр), но в конце концов не смогло устоять и веяниям Болонской системы, бакалавриат направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» [1] пришёл на смену специалитета направления 210400 «Телекоммуникации» [2].

Болонская декларация «Зона европейского высшего образования» принята в 1999 году министрами образования 29 европейских стран.

Болонская декларация была ориентирована на запуск согласованной системы «высшего образования, унифицирующей стандарты обучения в университетах разных стран» [3].

«Стратегия создания единого образовательного пространства подразумевала следующие принципы:

- общее содержание образования (взаимное признание учебных курсов, дипломов и степеней);
- общие права и возможности (все граждане государств единого образовательного пространства имеют свободный доступ в образовательные учреждения других государств в рамках этого пространства);
- единые правила (обеспечение права любого студента на переход для продолжения обучения в любое образовательное учреждение на территории единого образовательного пространства);
- единый банк данных академических требований;
- общий стандарт качества (обеспечение качества образования посредством независимой системы лицензирования, аккредитации и аудита)» [4].

Болонская декларация определила следующие ключевые моменты:

- двухцикловое обучение (бакалавр — магистр);
- кредитная система (зачетные единицы и сопоставимые степени);
- система контроля качества преподавания и образования;
- всеобщая мобильность;
- согласование программ обучения и научных исследований [5].

В 2001 г. учреждена Ассоциация университетов, вошедшая в руководящий комитет Болонского процесса.

Ассоциация сформулировала проблемы в реализации Болонского процесса:

- обеспечение качества преподавания;
- повышение взаимного доверия посредством аккредитации вузов;
- обеспечение совместимости образовательных программ, знаний, умений и навыков;
- предоставление виртуальной и физической мобильности студентам, персоналу и выпускникам;
- применение зачетной системы кредитов;
- соизмеримость образовательных программ и квалификационных степеней.

В соответствии с планами Болонского процесса в Европе к 2010 году должно было появиться единое пространство высшего образования посредством введения единообразных 12-летнего школьного и трёхступенчатого высшего (бакалавриат/магистратура/докторантура) образования.

Бакалавром становится выпускник после окончания первой ступени высшего образования (3–4 года в зависимости от направления, вуза и страны). Степень бакалавра определяет наличие у его обладателя профильных знаний, которые могут быть дополнены обучением в магистратуре (1–2 года).

Основой Болонской системы являются три цикла квалификаций высшего образования, связанных с европейской системой передачи и накопления кредитов:

- первый цикл: 180–240 кредитов (три-четыре года обучения, минимум 60 кредитов за учебный год), соответствует степени бакалавра (не предусматривает наличия квалификации бакалавриата с отличием, которая позволяет выпускникам начать докторантуру без предварительного получения степени магистра, как это принято в Великобритании, Австралии и Новой Зеландии);
- второй цикл: 60–120 кредитов (один-два года обучения, минимум 60 кредитов за учебный год), соответствует степени магистра;
- третий цикл: 120–420 кредитов (два-четыре года специализации), соответствует степени доктора, для большинства стран не конкретизирует диапазон кредитов, так как дисциплины различаются по длине и полноте.

60 кредитов ставится в соответствие 1500–1800 часам обучения.

Условно параметры Болонского процесса могут быть разбиты на три категории:

1. *Базовые параметры:*

- 1.1. Трёхуровневая образовательная система.
- 1.2. Система ECTS кредитов.
- 1.3. Мобильность всех категорий участников образовательного процесса.

- 1.4. Единая форма приложения к диплому.
- 1.5. Общая система критериев качества образования.
2. *Второстепенные параметры:*
  - 2.1. Единые критерии оценки знаний.
  - 2.2. Вовлечённость обучающихся в образовательный процесс.
  - 2.3. Настрой на образование в течение всей жизни.
3. *Дополнительные параметры:*
  - 3.1. Гармонизация структуры образования по направлениям подготовки.
  - 3.2. Гибкие траектории обучения.
  - 3.3. Увеличение удельного веса выборных учебных дисциплин.
  - 3.4. Модульный подход к учебному плану.
  - 3.5. Увеличение числа различных технологий обучения: дистанционное, электронное и комбинированное.
  - 3.6. Академические рейтинги преподавателей и студентов [6].

Позитивные результаты присоединения к Болонской системе должны проявиться в следующем:

- кредитно-модульная система стимулирует образовательный процесс как для преподавателей, так и для студентов;
- создание рынка экспорта образовательных услуг;
- изменение структуры экзамена за счёт появления возможности получить вознаграждение в виде оценки за экзамен (так называемый автомат) посредством накопления баллов;
- обеспечение мобильности студентам: право изучать дисциплины в любых вузах, как своей страны, так и других стран, где реализуется Болонский подход;
- повышение открытости системы образования [5].

Сегодня к Болонскому процессу присоединилось 48 стран, в основном европейских, но включающих и учебные заведения США, Канады, Австралии, Бразилии, Китая и Японии.

Россия присоединилась к Болонскому процессу в сентябре 2003 года.

Формирование отношения российской общественности к Болонскому процессу и опыт использования его положений в отдельных вузах происходят уже до 2000 года [6].

В вузах СССР и России было развито 5-6-летнее высшее образование — специалитет. После присоединения к Болонской системе специалитет остался на отдельных факультетах и вузах, однако такое образование не рассматривается в рамках Болонской системы как бакалавриат плюс магистратура, а лишь как бакалавриат.

Согласованно с Болонской системой в России появляется ЕГЭ как удобный и более объективный механизм проверки знаний вместо системы вступитель-



ных экзаменов, хотя Болонская система в обязательном порядке не требует введения ЕГЭ.

В России очередное реформирование высшего образования началось в турбулентные 90-е годы. Система образования, как и другие компоненты общественной жизни, стали встречать сильную конкуренцию с зарубежными системами образования. Министерство образования стало разрабатывать государственные образовательные стандарты высшего образования с учётом рекомендаций Болонского процесса: вузы России стали осваивать двухуровневую систему подготовки. В высшей школе повсю внедрили элементы рыночной экономики: появились коммерческие вузы и филиалы. Такая «коммерциализация» привела в среднем к снижению качества обучения и частичной девальвации высшего образования [7].

В результате образовательная среда стала базироваться на стандартах третьего поколения со следующими особенностями:

- система ЗУН (знания-умения-навыки) заменялась на компетенции;
- программы бакалавра, специалиста и магистра содержали базовую фундаментальную часть;
- результаты освоения образовательных программ — в виде компетенций;
- расширение свободы вузов в разработке образовательных программ;
- использование системы зачетных единиц для учёта трудоемкости вместо академических часов [7].

Можно выделить некоторые результаты двадцатилетней истории внедрения Болонской системы в России:

- снижение расходов государственного бюджета на образование;
- образование рассматривается как элемент рынка;
- многовекторность образовательных траекторий;
- адаптация рынка труда к бакалавру и магистру как к квалификациям соответствующих уровней;
- крайне незначительное использование возможностей академической мобильности;
- проблемы с признанием дипломов за рубежом;
- снижение уровня инженерного образования;
- понижение общего уровня фундаментальности образования.

Часть российского образовательного сообщества считает, что последствия реализации Болонского процесса в России отрицательные: «...под вывеской Болонского процесса лишь имитируется модернизация отечественной системы образования. В действительности же происходит нечто иное, а именно — осуществляется проект организации в России колониальной системы образования» [8]. Высказывается мнение о необходимости отказа от Болонской системы в Рос-

сии «в той мере, в какой Болонский процесс превращается в инструмент, обслуживающий экономические интересы Евросоюза, он, по-видимому, не должен влиять на стандарты «четвертого поколения» в России» [9].

Заместитель главы Всемирного русского народного собора, профессор философского факультета МГУ им. Ломоносова Александр Щипков считает: «Перед болонской системой применительно к России ставилась совершенно конкретная цель: понизить образовательный и интеллектуальный уровень» [10].

Ректор МГУ имени Ломоносова, президент Российского союза ректоров Виктор Садовничий на III Конгрессе «Инновационная практика: наука плюс бизнес» в 2016 году назвал ошибкой переход на Болонскую систему высшего образования и предложил вернуться к пятилетнему обучению [11].

Экс-председатель правительства РФ, председатель Ассоциации юристов России, д.ю.н., профессор Сергей Степашин уверен, что в России следует «отказаться от участия в Болонском образовательном процессе и вернуться к классическому варианту специалитета и аспирантуры» [3].

Исследование об отказе от двухступенчатой системы высшего образования в Болонском формате, проведенные сервисом Super Job, опросившим в апреле 2022 года 1600 респондентов старше 18 лет в 281 населенном пункте всех федеральных округов России [13], показало, что 66% россиян выступают за возврат к классической системе образования «специалитет-аспирантура», против высказалось 10% респондентов. За традиционную систему образования выступают респонденты старше 45 лет и люди, уже имеющие высшее образование. Среди студентов вузов за отказ от двухуровневой выступили 44%, а 29% — против. 93% родителей одиннадцатиклассников, поступающих в вузы, поддерживают идею возврата к классическому специалитету [13].

Выводом можно считать наличие значительных противоречивых последствий встраивания Болонского процесса в систему высшего образования РФ и необходимость подробного рассмотрения вопросов о соотношении плюсов и минусов этой реформы. Внедрение международных инициатив должно быть только с учетом отечественной специфики и достижений высшей школы России.

### Список использованной литературы

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. — URL: <https://base.garant.ru/71787568/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>.
2. Государственный образовательный стандарт 210400 Телекоммуникации. — URL: <https://eduscan.net/standart/210400>.

3. Никушина А. Выход из Болонской образовательной системы: что это может значить для России и при чём тут ЕГЭ. — URL: <https://mel.fm/zhizn/razbor/7689514-vykhod-iz-bolonskoj-obrazovatelnoy-sistemy-chto-eto-znachit-dlya-rossii-i-pri-chem-tut-yege>.
4. Титов В. Т., Гришаев О. В., Щербакова М. В. Актуальные проблемы реализации Болонских инициатив в системе высшего образования России. — URL: [https://akvobr.ru/problemy\\_realizacii\\_bolonskih\\_iniciativ.html](https://akvobr.ru/problemy_realizacii_bolonskih_iniciativ.html).
5. Кислицин К. Н. Болонский процесс как проект для Европы и для России. — URL: <http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2010/11/Kislitsyn/>.
6. Карпенко О. М., Бершадская М. Д. Болонский процесс в России. Краткая историческая справка. — URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KHVOROVA/Studentam/Tab1/Tab/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9\\_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86\\_%D0%B2\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KHVOROVA/Studentam/Tab1/Tab/%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8.pdf).
7. Куприянов Р. В., Виленский А. А., Куприянова Н. Е. Болонский процесс в России: специфика и сложности реализации. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bolonskiy-protsess-v-rossii-spetsifika-i-slozhnosti-realizatsii>.
8. Фомичев, И. В. Болонский процесс и Россия: интеграция или «болонизация»? / И. В. Фомичев // Профессиональное образование в современном мире. — 2013. — № 2 (9). — С. 34–41.
9. Гребнев, Л.С. Болонский процесс и «четвертое поколение» образовательных стандартов / Л. С. Гребнев // Высшее образование в России. — 2011. — № 11. — С. 29–41.
10. Ректор МГУ призвал отказаться от Болонской системы образования и вернуться к пятилетнему обучению в вузах. — URL: <http://lenoblast.bezformata.ru>.
11. Гурьянов С. Дефицит знаний: какая система образования нужна россиянам: Что мог бы дать нашей стране выход из Болонского процесса. — URL: <https://iz.ru/1319627/sergei-gurianov/deficit-znaniy-kakaia-sistema-obrazovaniia-nuzhna-rossiianam>.
12. Щипков В. А. Болонская система — оккупационная система. — URL: <https://radiovesti.ru/person/318660/>.
13. Исследование Super Job о Болонской системе. — URL: <https://zen.yandex.ru/media/newizv.ru/issledovanie-superjob-dve-treti-rossiiian-vystupaiut-za-otkaz-ot-bolonskoi-sistemy-6253f19a99ed501d05052a70>.

УДК 378.14

***Бородина Е. А.***

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

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НА ПРИМЕРЕ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА НАПРАВЛЕНИЯ  
«ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

*г. Сургут*

**Аннотация.** Инженерное образование в высшей школе претерпело ряд изменений в связи с принятием новых федеральных образовательных стандартов третьего поколения ФГОС 3++, означающий модернизацию высшего образования. В статье представлена модель формирования компетенций студентов первого курса направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета. В связи с разработкой основной профессиональной образовательной программой высшего образования направленности «Корпоративные инфокоммуникационные системы и сети» обучение студентов раскладывается по четырем блокам: создание и применение объектов профессиональной деятельности, коммерческий и технологический маркетинг, инженерное проектирование, управление проектами, каждый из которых содержит три вектора, в совокупности закрывающих результаты обучения, — это «составляющие» компетенций — знания, практические задания, опыт деятельности, которыми студент должен овладеть и уметь демонстрировать после обучения того или иного модуля. Статья может быть полезна ведущим преподавателям высших учебных заведений, а также всем, кто работает в области организации учебного процесса в вузах.

**Ключевые слова:** *универсальные компетенции, общепрофессиональные компетенции, профессиональные компетенции, результаты обучения.*

***Borodina E. A.***

Surgut State University, Surgut

ORGANIZATION OF ENGINEERING EDUCATION ON THE  
EXAMPLE OF FIRST-YEAR STUDENTS OF THE DIRECTIONS  
“INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES AND  
COMMUNICATION SYSTEMS”

*Surgut*

**Abstract.** Engineering education in higher education has undergone a number of changes due to the adoption of new federal educational standards of the third generation of the Federal State Educational Standard 3++, which means the modernization of higher education. The article presents a model for the formation of competencies of first-year students of the direction «Infocommunication technologies and communication systems» of the Department of Radioelectronics and Electric Power Engineering of Surgut State University. In connection with the development of the main professional educational program of higher education in the direction of «Corporate infocommunication systems and networks», students' training is divided into four blocks: the creation and application of objects of professional activity, commercial and technological marketing, engineering design, project management, each of which contains three vectors, collectively closing the learning outcomes are «components» competencies — knowledge, practical tasks, experience of activities that a student should master and be able to demonstrate after learning a particular module. The article may be useful to leading teachers of higher educational institutions, as well as to anyone who works in the field of organizing the educational process in universities.

**Keywords:** *universal competencies, general professional competencies, professional competencies, learning outcomes.*

Инженерное образование в высшей школе претерпело ряд изменений в связи с принятием новых федеральных образовательных стандартов третьего поколения ФГОС 3++, означающий модернизацию высшего образования. Принятие этих стандартов определяет уровни профессиональных компетенций будущих инженеров и работает на перспективы развития высшего образования в инновационных условиях высшего учебного заведения.

В федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» внесены поправки, в соответствии с которыми статья 11 претерпела изменения в части определения профессиональных компетенций. Профессиональные компетенции — это совокупность знаний, умений и навыков, применяемых на практике в различных областях деятельности. Если конкретизировать определение с точки зрения технического образования, то профессиональные компетенции инженера — это не только набор знаний, умений и навыков, но и умение управлять проектами, в полной мере использовать возможности информационных технологий и владеть набором softskills [2].

Формирование профессиональных компетенций будущих специалистов состоит из трех стадий: содержательной, исполнительной и диагностической. На первой стадии определяются требования к содержанию обучения (набор различного рода компетенций), показывающий уровень компетенции выпускника; разработка основных профессиональных образовательных программ высшего образования, рабочих учебных планов и программ по дисциплинам, критериев оценки уровня сформированности компетенций. Вторая стадия направлена на создание педагогических условий реализации программ: методы, приемы, формы работы на раз-

личных видах занятий: лекции, практические и лабораторные работы, практики, курсовые и выпускные квалификационные работы, а также формы и методы контроля. На третьей стадии проводят мониторинг процесса формирования видов компетенций по установленным на первой стадии критериям и устанавливаются уровни владения компетенциями [1].

Приведенная выше теоретическая модель формирования содержания высшего образования устанавливает главные векторы организации обучения: процесс образования включает предметную и практическую работы студентов; образовательная деятельность планируется, выполняется и корректируется самостоятельно по возможности; работа помогает воспринять трудовой процесс целостно и предполагает социальное общение и сотрудничество; происходит внедрение полученной базы знаний в профессиональную сферу деятельности инженера.

На основании Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки (специальности) 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (ИТСС) и уровню высшего образования — бакалавриат, утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ от 19.09.2017 г. № 930 в БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутского государственного университета» на кафедре радиоэлектроники и электроэнергетики была разработана основная профессиональная образовательная программа (ОПОП) высшего образования направленности «Корпоративные инфокоммуникационные системы и сети».

Согласно ОПОП, планируемыми результатами освоения образовательной программы являются три блока компетенций: универсальные (УК), общепрофессиональные (ОПК) и профессиональные (ПК), причем каждый блок делится на несколько видов компетенций, имеющих свой код и наименование — индикатор, в результате овладения которыми выпускнику выдается диплом об окончании высшего учебного заведения.

Процесс обучения студентов в высшем учебном заведении состоит из четырех блоков: создание и применение объектов профессиональной деятельности, коммерческий и технологический маркетинг, инженерное проектирование, управление проектами. Каждый блок содержит три вектора, в совокупности закрывающие результаты обучения — это «составляющие» компетенций — знания, практические задания, опыт деятельности, которыми студент должен овладеть и уметь продемонстрировать после обучения того или иного модуля. *1 блок — создание и применение объектов профессиональной деятельности:* назначение, свойства, состав, структура, принципы построения, организации и функционирования объектов профессиональной деятельности (знает); расчет, моделирование, разработка и реализация объектов профессиональной деятельности (умеет); экспериментальные исследования и эксплуатации объектов профессиональной деятельности (владеет). *2 блок — коммерческий и технологический маркетинг:* маркетинг-научные иссле-

дования (знает); трансфер технологий (умеет); технико-экономическое обоснование и планирование развития объекта профессиональной деятельности (владеет). *3 блок — инженерное проектирование:* этапы, состав и содержание инженерного проектирования (знает); концептуальное проектирование (умеет); разработка проектной и рабочей конструкторской документации (владеет). *4 блок — управление проектами:* развитие личностных качеств (знает); разработка и реализация проектов (умеет); социальное взаимодействие и коммуникации (владеет) (рисунок 1).



Рисунок 1. Схема организации инженерного образования

Каждый блок состоит из набора дисциплин различных модулей, таких как модуль общеобразовательных дисциплин, модуль иностранного языка, модуль физической культуры и спорта, модуль общепрофессиональных дисциплин, элективные дисциплины по физической культуре, модуль дисциплин профильной направленности, дисциплины по выбору, практики, факультативы, государственная итоговая аттестация. Для успешного усвоения дисциплин модуля студенту необходимо овладеть рядом компетенций (УК, ОПК и ПК), которые, в свою очередь, состоят из индикаторов.

В таблице 1 представлено формирование компетенций студентов 1 курса по направлению подготовки 11.03.02 ИТСС, согласно графику обучения, распределение которых приведено по коду и названию компетенций, наименованиям учебных дисциплин и практик, а также обучение по семестрам и индикаторам достижения компетенций. Результаты обучения по дисциплинам/модулям/практикам, соотне-

сенные с установленными программой бакалавриата индикаторам компетенций, и оценка индикаторов отражены в рабочих программах дисциплин.

I раздел. Универсальные компетенции (приведены некоторые из списка), относящиеся к модулю общеобразовательных и общепрофессиональных дисциплин (введение в профессиональную деятельность). В таблице каждый код компетенций распределяется по дисциплинам, семестрам и индикаторам, причем успешно освоенные индикаторы на первом курсе станут основой для изучения дисциплин на следующих курсах. Если дисциплина изучается на первом курсе, то она будет предшествовать к изучению дисциплин второго семестра, причем некоторые индикаторы служат фундаментом для освоения учебного материала на втором и последующем курсах. Например, такие дисциплины 1 курса первого семестра, как русский и иностранный язык, философия, введение в профессиональную деятельность, безопасность жизнедеятельности (2 семестр) являются предшественниками для изучения иностранного языка в профессиональной сфере и выполнения и защиты выпускной квалификационной работы.

II раздел. Общепрофессиональные компетенции (приведены некоторые из списка). Распределение происходит так же, как и в первом разделе, где представлены дисциплины модуля общепрофессиональных дисциплин. Например, высшая математика, физика, информатика, введение в профессиональную деятельность являются предшественниками дисциплинами 1 курса первого семестра для изучения теоретических основ электротехники, инженерной математики, метрологии во втором семестре, а также усвоенные индикаторы компетенций будут основой для овладения дисциплин на последующих курсах (электроника, материаловедение, электромагнитные поля и волны и т. д.) и модуля профильной направленности (сигналы и сообщения электросвязи). Также по программам практики: на 1 курсе 2 семестра студенты проходят учебную практику по получению первичных навыков работы с программным обеспечением, что является основой для учебной практики ознакомительного характера на производстве.

III раздел. Профессиональные компетенции (приведены некоторые из списка). Распределение происходит так же, как в первом и втором разделах, где представлены дисциплины модуля профессиональных дисциплин. Например, некоторые индикаторы дисциплины «Введение в профессиональную деятельность» 1 курса первого семестра и учебная практика (первичная) (2 семестр) студенты продолжают изучать в модуле профильной направленности (антенно-фидерные устройства, радиоприемные и радиоприёмные устройства), модуле дисциплин по выбору (управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость), некоторые индикаторы программ учебной (первичной) практики (2 семестр) продолжают совершенствоваться в производственной практиках (научно-исследовательской и преддипломной), а также в выполнении и защите выпускной квалификационной работе.





Продолжение таблицы 1

Физика	*	ОПК 1.3	ТОЭ	*	ОПК 2.1 ОПК 2.2 ОПК 2.5–2.7	Введение в инжиниринг	*	ОПК 3.1 ОПК 3.3	Информатика *	ОПК 4.3
Инженерная математика	*	ОПК 1.2	Метрология	*	ОПК 2.1 ОПК 2.2 ОПК 2.5–2.7				Инженерная математика	* ОПК 4.2
ТОЭ	*	ОПК 1.4								

⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩

		<b>курс</b>			
<b>2 курс:</b> Физика ОПК 1.3 ТОЭ, материаловедение, электромагнитные поля и волны ОПК 1.4	<b>2 курс:</b> Физика, сигналы и сообщения электро связи ОПК 2.5–2.7 ТОЭ, метрология, материаловедение, электроника ОПК 2.1, ОПК 2.2, ОПК 2.5–2.7 Электромагнитные поля и волны 2.1, ОПК 2.2	<b>4 курс:</b> Технико-экономическое обоснование инженерных проектов ОПК 3.1 Уч. практика (ознакомительная, производственная НИР, преддипломная) ОПК 3.1, ОПК 3.3	<b>2 курс:</b> Метрология ОПК 4.2 Основы проектной деятельности ОПК 4.3 Материаловедение ОПК 4.1, ОПК 4.2		

<b>III блок. Профессиональные компетенции ПК</b>						
<b>ПК 1</b>			<b>ПК 2</b>			
Дисциплина	Семестр		Дисциплина/ практика	Семестр		Индикаторы
	1	2		1	2	
Введение в проф. деятельность *			Уч. практика (первичная)	*		ПК 2.13

⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩ ⇩

<b>3 и 4 курс:</b> регулирование отрасли связи ПК 1.1 Производственная практика (НИР и преддипломная), учебная практика НИР, выполнение и защита ВКР ПК 1.1	<b>2 курс:</b> уч. практика (ознакомительная) ПК 2.13 <b>3 и 4 курс:</b> антенно-фидерные устройства, цифровые и аналоговые системы передачи, управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость, радиопередающие и радиоприемные устройства, уч. практика (ознакомительная), выполнение и защита ВКР ПК 2.13
---	--

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что каждый из блоков — создание и применение объектов профессиональной деятельности, коммерческий и технологический маркетинг, инженерное проектирование, управление проектами — содержит все виды компетенций УК, ОПК и ПК, в результате овладения которыми выпускник должен быть специалистом в своей области и не только уметь спроектировать свой объект интеллектуальной деятельности, но и уметь им управлять.

### Список использованной литературы

1. Гарафутдинова Г. Р. Модель формирования профессиональной компетентности выпускника вуза // *Фундаментальные исследования*. — 2008. — № 5. — С. 57–59. — URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/viewd=2915> (дата обращения: 18.04.2022).
2. Шершнева В. А. Педагогическая модель развития компетентности 201 выпускника вуза / В. А. Шершнева, Е. В. Перехожева // *Высшее образование в России*. — 2008. — № 1. — С. 152–154.
3. Татур Ю. Г. Компетентностный подход в описании результатов и проектировании стандартов высшего профессионального образования : материалы ко второму заседанию методологического семинара. Авторская версия. — Москва : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004. — № 2. — С. 112–120.

УДК 378.147

*Смыков Ю. Н., Горелов С. В.*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет водного транспорта»  
Российская Федерация, Новосибирск

## АСПЕКТЫ ПРАКТИКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

*г. Новосибирск*

**Аннотация.** Статья посвящена анализу путей развития методики преподавания электротехнических дисциплин с учетом динамичного развития электроэнергетической сферы. Особое внимание уделено рассмотрению вопросов работы электротехнического персонала в условиях ограничений — в цейтноте. Цейтнот в электротехнике показан как многофакторная проблема, оптимальное решение которой позволит повысить электробезопасность, уровень подготовки и скорость принятия решений, повысить культуру производства.

**Ключевые слова:** *цейтнот в электротехнике, аспекты практики, электробезопасность, культура производства.*

*Smykov Yu. N., Gorelov S. V.*

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

## ASPECTS OF PRACTICE IN THE STUDY OF ELECTRICAL ENGINEERING DISCIPLINES

*Novosibirsk*

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the ways of development of the methodology of teaching electrical engineering disciplines, taking into account the dynamic development of the electric power industry. Special attention is paid to the consideration of the issues of the work of electrical personnel in conditions of time constraints. The time pressure in electrical engineering is shown as a multifactorial problem, the optimal solution of which will increase electrical safety, the level of training and the speed of decision-making, and increase production culture.

**Keywords:** *time pressure in electrical engineering, aspect of practice, electrical safety, production culture.*

Наибольшую значимость представляет развитие информационных систем и технологий. За последние двадцать лет принципиально изменилась ситуация в самых различных сферах жизни, в том числе и при изучении электротехники.

Положительные стороны:

1. Снизилось время поиска материалов за счет применения интернет ресурсов.
2. Появилась возможность удаленного обучения.
3. Появились развитые системы учета данных.
4. Получила развитие система виртуальной реальности, в том числе в образовательных целях.
5. Увеличилась скорость обмена информацией между ведущими специалистами, в том числе в сфере образования.
6. Появилась доступность иностранных источников.
7. Значительный рост потребителей электрической энергии (смартфоны, бытовая техника, машины с электрическим приводом, самокаты с электроприводом, сегвеи, гироскутеры, моноколеса и другое).
8. Скачкообразное развитие полупроводниковой техники. Принципиально меняет сложившиеся подходы. А именно: широкое применение частотных приводов, широкое применение программируемых логических контроллеров, широкое применение светодиодных источников света и другое.
9. Системы автоматического перевода печатного текста в рукописный.

Отрицательные стороны:

1. Возрастает роль контроля и проверки самостоятельных работ, рефератов и другого с точки зрения плагиата. Скачал реферат и не прочитал его.
2. Большое количество материала и достоверность источников в условиях применения интернет-ресурсов. Часто возникает путаница и недопонимание, например: резонансные явления в электротехнике могут быть спутаны с резонансными явлениями в механических системах.
3. Развитие клипового мышления за счет высокой положительной динамики применения ярких образов (реклама вывески, интернет и другое).

*Клиповое мышление* — от англ. clip, «фрагмент текста», «вырезка» — тип мышления, при котором человек воспринимает информацию фрагментарно, короткими

кусками и яркими образами, не может сосредоточиться и постоянно перескакивает с одного на другое.

Исходя из вышеизложенного, большое внимание следует уделять применению учебных фильмов (УФ) в процессе обучения. Используя УФ в учебном процессе, необходимо учитывать основные психологические особенности внимания [1]:

Сосредоточенность внимания — удержание внимания на одном объекте. Устойчивость внимания даже при активной работе с изучаемым объектом может сохраняться 15–20 мин, а потом требуется краткий отдых. Объем внимания — количество объектов, символов, воспринимаемых одновременно с достаточной ясностью, что в норме составляет  $7 \pm 2$ . Фильмы позволяют давать информацию в нужной последовательности и в нужных пропорциях, акцентируя внимание на тех частях объекта, которые в данный момент являются предметом обсуждения.

В современных условиях большой интерес представляет развитие искусственного интеллекта, безэкипажных или беспилотных транспортных средств, роботов и роботизированных систем и другое. Так как это существенным образом меняет сложившийся уклад, например, порядка двадцати лет назад компьютерные программы не могли выиграть человека в состязаниях по шахматам. На данный момент компьютерные программы превосходят по многим параметрам и выигрывают в шахматы, а это значит, что появляется так называемое «читерство», а именно игра с подсказкой компьютера. Появляется новая структура подготовки спортсменов-шахматистов, включающая в себя использование потенциала компьютерных программ для отработки навыков и повышения квалификации и так далее. Аналогично при подготовки по электротехническим дисциплинам возникает значительное количество вызовов, однако появляются и положительные аспекты, например: применение дополненной реальности, увеличение демонстрационных возможностей при помощи компьютерных программ, сравнительная простота организации многократного тестирования и отработки навыков, легкость фиксации и обработки большого количества данных и многое другое.

Уже сегодня Вы можете приобрести интерактивные книги для детей, где при наведении телефона плоское изображение в телефоне преобразуется в картинку, визуально кажущуюся объемной, сопровождается музыкой и движениями главных героев. Дети в восторге. Если перенести эту разработку на технические дисциплины, мы получаем возможность в режиме реального времени рассмотреть устройство и принцип работы электрооборудования, технические характеристики, наглядно показать работу электрической схемы.

Исходя из опыта практической деятельности, можно с уверенностью сказать, что значительная часть ошибок в процессе эксплуатации электрооборудования и средств автоматики возникает при работе в цейтноте.

*Цейтнот* (от немецкого *zeit* — «время» и *not* — «нужда») в шахматной партии означает нехватку времени у одного из игроков или у обоих сразу.

Цейтнот называют «жестким», если игрок вообще не имеет времени на обдумывание ходов и физически может успевать только передвигать фигуры. В результате чего возможны очень слабые ходы, потеря выигрыша или даже проигрыш при изначально лучшем положении.

*Цейтнот в электротехнике* подразумевает эксплуатацию электрооборудования и средств автоматики в нестандартных условиях ограничений, в первую очередь ограничений по отведенному времени, которые могут быть вызваны различными причинами (устранение аварии, значительное снижение уровня электро- и пожаробезопасности, природные явления, эмоционально-психологическими факторами и т. д.). В том числе и в условиях межфакторного взаимодействия, например, малое пространство для обслуживания и плохая видимость; усталость или перегрузка и отсутствие соответствующего обучения.

Поэтому важным элементом профессионала высокого уровня, в частности в электротехнике, является четкая безукоризненная работа, в том числе и в условиях ограничения по времени. Для отработки подобных навыков одной тренировки и опыта недостаточно, даже поверхностный анализ говорит о том, что факторов, оказывающих значимое влияние, достаточно много.

Возможно наличие индивидуальных значимых факторов, поэтому любой профессионал должен учитывать свои индивидуальные особенности и по возможности тех людей, с которыми взаимодействует. Основные факторы систематизированы и представлены.

1. *emotional state* (эмоциональное состояние) — состояние стресса, излишняя взволнованность, неуверенность, или излишняя самоуверенность, переходящая в халатность, и т. д.
  - 1.1 Усталость (однообразии процессов).
  - 1.2 Перегрузка.
  - 1.3 Отсутствие уверенности в своих действиях (допускались ошибки).
  - 1.4 Низкий уровень самодисциплины.
  - 1.4 Дефицит навыков групповой работы.
  
2. *distinct outline* (отчетливые очертания) — понимание контура, предварительного возможного решения.
  - 2.1 Отсутствует понимание конечного результата.
  - 2.2 «Яма» от коллег.
  - 2.3 Отсутствие схем и документации или значительные изменения, неотраженные в схеме.

2.4 Низкий уровень проработки возможных технических решений.

2.5 Обучение.

3. tools and components — наличие ЗИПа и компетенций по его использованию.

3.1 Специализированный инструмент.

3.2 Запчасти или комплектующие.

3.3 Спецодежда, рабочее пространство.

4. Fault — ошибка (ошибки) теоретические и практические, неисправности, дефекты вызванные различными причинами, в том числе заводской брак.

4.1 Брак.

4.2 Переоценка своих возможностей.

4.3 Существенный разрыв между теорией и практикой.

4.4 Слабая практическая подготовка (мелкая моторика рук, навыки работы под напряжением и т. д.).

Как практический опыт, так и опыт преподавательской деятельности говорит о том, что необходимо особое внимание уделить работе в режиме цейтнот, так как это наиболее опасный режим работы, которому сопутствует большое количество ошибок. Стоит отметить, что при большом запасе времени также возникают ошибки и некорректные действия, однако нехватка времени — цейтнот, является катализатором появления ошибок, аварий и некорректной работы. Крайне важно, проанализировать и определить значимые факторы работы в цейтноте при эксплуатации электрооборудования и средств автоматики на стационарных и мобильных объектах и использовать данный материал повсеместно с целью обеспечения более качественной и безаварийной работы.

Существующий материал, который проанализирован при написании данной статьи, как правило, направлен на тайм-менеджмент, причем в различных сферах. Стоит отметить, что высокое практическое значение имеет риск-менеджмент, описание которого на конкретных примерах позволяет повысить квалификацию в любой сфере, в том числе и в электротехнике.

Электротехника стала неотъемлемой частью нашей жизни, сейчас трудно представить крупный мегаполис без электроснабжения или некорректной работы силового электрооборудования и средств автоматики. Собственно, как и мобильные объекты, например суда, крайне зависимы от надежного и качественного электроснабжения и функционирования электрооборудования и средств автоматики. Подчеркнем, что под фразой «крайне зависимы» подразумеваются различные аспекты: и безопасность, и экономика, и техническая сторона вопроса и другое.



Значимость правильных действий в условиях ограничения времени проявляется повсеместно, например:

- 1) записи с видеорегистраторов автотранспортных средств часто показывают пример (хорошую практику) действий в сложных ситуациях, при ограничении времени;
- 2) различные мошенники часто пользуются тем, что из-за недостатка времени на обдумывание человек с большей вероятностью совершает ошибки и т. д.

Таким образом, модернизация на производстве, применение современного электрооборудования на стационарных и мобильных энергообъектах приводит к значительным технологическим изменениям (автоматизации процесса, применение электроники и компьютерной техники). При этом реакция человека на различные внештатные ситуации, работа в условиях стресса, влияние внутренней атмосферы производства, культура производства и другие аспекты остаются прежними, а значимость и их роль усиливается.

Поэтому практико-ориентированное образование с учетом проработки возможного возникновения цейтнота в электротехнике и правильной реакции на него позволит улучшить качество производимых работ и повысить уровень электробезопасности, повысить культуру производства и скорость принятия решений.

### **Список используемой литературы**

1. Ананьев Б. Г. Избранные психологические труды: В 2 т. Т.2. / Под ред. А. А. Бодалева. — М.: Педагогика, 1990.

### **References**

1. Ananyev B. G. Selected psychological works: In 2 vols. Vol.2. / Edited by A.A. Bodaleva. — M.: Pedagogika, 1990.

УДК 378.147

***Кондрашкина Е. Г.***

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

## ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ЦЕЛИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ «SIESS: ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»

*г. Сургут*

**Аннотация.** В работе представлено описание дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программы круглогодичной инженерно-технической школы «SIESS: Промышленный инжиниринг». Представлено концептуальное описание инжиниринга как совокупности четырех сфер знаний — технологический маркетинг, инженерное дело, управление проектами и профессиональная сфера деятельности. Приведено описание методологии образовательной программы, обеспечивающей формирование инжиниринговых компетенций в соответствии с указанными сферами знаний. Делается вывод об эффекте данной программы для школьников, их родителей и наставников.

**Ключевые слова:** *тренды образования, инжиниринг, проектная деятельность, инжиниринговые компетенции, инженерная школа, экосистема образования.*

***Kondrashkina E. G.***

Surgut State University, Surgut

## ORGANIZATIONAL STRUCTURE AND GOALS OF THE PROGRAM OF ADDITIONAL EDUCATION FOR SCHOOLCHILDREN “SIESS: INDUSTRIAL ENGINEERING”

*Surgut*

**Abstract.** The paper presents a description of the additional general educational general development program of the year-round engineering school «SIESS: Industrial Engineering». A conceptual description of engineering as a combination of four areas of knowledge is presented — technological marketing, engineering, project management and the professional field of activity. The description of the methodology of the educational program, which ensures the formation of engineering competencies in accordance with the indicated areas of knowledge, is given. The conclusion is made about the effect of this program for schoolchildren, their parents and mentors.

**Keywords:** *education trends, engineering, project activities, engineering competencies, engineering school, education ecosystem.*

Инжиниринг можно определить как обособленный в самостоятельную сферу деятельности комплекс инженерно-консультационных услуг коммерческого характера, ориентированных на выполнение предпроектных, проектных и постпроектных работ в области промышленности, сельского хозяйства и инфраструктурного обеспечения, связанный с управлением внедрением любых инноваций.

Предметом инжиниринга является деятельность по реализации полного жизненного цикла создания материальных объектов искусственного происхождения, предназначенных для решения существующих проблем как отдельных людей, так и общества в целом. Инжиниринг — это комплексная многоаспектная деятельность, необходимость в которой возникает всегда, когда ставится задача создания и сопровождения инженерно-технических объектов.

Формально эта деятельность осуществляется по технологиям управления проектами, обеспечивающими реализацию всех основных стадий жизненного цикла создания инженерно-технических объектов — инициация, предпроектная проработка, проектирование и конструирование, закупки и поставки материалов и комплектующих, строительно-монтажные работы, пуско-наладочные работы, обучение персонала и ввод объекта в эксплуатацию.

Указанные стадии жизненного цикла создания инженерно-технических объектов составляют сферу, которую можно назвать инженерным делом или инженерией, являющейся метапредметной деятельностью и реализующейся при создании материальных объектов искусственного происхождения любого вида, типа и характера. При этом ядром этой деятельности является инженерное проектирование, т. е. деятельность, связанная с разработкой проектно-конструкторской документации, необходимой для выполнения всех стадий жизненного цикла создания инженерно-технических объектов.

Принципиальное отличие инжиниринга от инженерного дела заключается в том, что инжиниринг уделяет первостепенное внимание исследованию потребностей, в основе которого должны лежать использование передовых экономических теорий, учет потребностей рынка и возможность изменения этих потребностей как сейчас, так в будущем, т. е. вопросы коммерческого и технологического маркетинга являются первыми, на которые должны быть найдены ответы при реализации инжиниринговых проектов.

При реализации инжиниринговых проектов этапы маркетинга, инициации и предпроектной проработки часто объединяют в единый комплекс работ, который называют маркетинг-научными исследованиями. Реализация этого этапа под-

разумеает применение методов выполнения поисковых и прикладных научных исследований.

Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа круглогодичной инженерно-технической школы «SIESS: Промышленный инжиниринг» разработана с учетом всех вышеуказанных положений. Программа составлена специалистами Сургутской научной школы промышленного инжиниринга — SIESS: Surgut Industry Engineering Science School, в которую входят преподаватели Сургутского государственного университета, Новосибирского университета водного транспорта, специалисты инжиниринговой компании ООО «Югорский центр инновационных разработок» и АНО ДО «Общество, дети и наука».

Программа рассчитана на старшеклассников 8-11 классов и рассматривается разработчиками как вводный курс для всех школьников, которые хотели бы попробовать свои силы в инженерно-техническом и научном творчестве. Содержание программы ориентировано на изучение законов функционирования, правил построения и применения компонентов, элементов, устройств и систем современной энергетики, умного города, технологий беспроводной связи, техносферной безопасности.

Для усвоения компетенций управления проектами и обеспечения сборки инжиниринговых компетенций в образовательной программе предусмотрены три специальных модуля, реализуемых в формате очного обучения, называемые интенсивами.

Всего в образовательной программе предусмотрены три интенсива:

- Интенсив 1.0 — в рамках интенсива осуществляется решение проектного инжинирингового кейса в форме демонстрации порядка реализации проекта; школьники осваивают отдельные инжиниринговые компетенции и учатся их применять в командной работе; на интенсиве также осваиваются установочные блоки профессиональных образовательных модулей;
- Интенсив 2.0 — в рамках модуля осуществляется подготовка обучающихся к прохождению конкурсных процедур научного и инженерно-технического творчества с применением форматов, используемых на этих конкурсах — решение кейсов, прохождение хакатонов, выполнение проектных заданий; обучающиеся осваивают весь комплекс инжиниринговых компетенций, необходимый для успешного участия в конкурсных процедурах регионального, федерального и международного уровней; на интенсиве осваиваются установочные блоки профессиональных образовательных модулей, а также осуществляется отбор школьников для их сопровождения при подготовке к конкурсам;

- Интенсив 3.0 — в рамках модуля осуществляется доработка инжиниринговых проектов для их представления на конкурсах, предусматривающих грантовую поддержку.

При правильной организации процесса обучения школьник взаимодействует не только с наставником, но и с преподавателями-предметниками, а также и другими специалистами школы, которые выступают для обучающегося в качестве экспертов по отдельным вопросам. Важно учитывать, что реальные инжиниринговые проекты имеют свой график выполнения, который может не совпадать с графиком учебного процесса, поэтому реализуемая образовательная программа и проекты школьников должны, с одной стороны, опираться на практический опыт инженерной школы, а с другой — выполняться автономно и иметь свою независимую систему оценки результатов обучения и проектирования. В практическом плане наилучшим решением является привязка образовательной программы дополнительного образования к конкурсным мероприятиям по-научному и инженерно-техническому творчеству, которые в последнее время в большом количестве организуются и проводятся в Российской Федерации.

### Список использованной литературы

1. Развитие инженерного образования и экономический трек в обосновании технических решений // Ю. И. Жевора, А. Т. Лебедев, Р. В. Павлюк // региональная учебно-методическая конференция «Высшее образование: современные вызовы и тренды развития» (Ставрополь, 26 мая 2021 года). — Ставрополь : Издательство «АГРУС», 2021. — С. 126-132.
2. Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков // Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, Ф. Х. Чаппаров // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020, Сургут, 23–24 апреля 2020 года, Сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции, 2020. — Москва : Издательство «Знание-М», 2020. — С. 357–361.
3. Кондрашкина, Е. Г. Экосистема инженерных треков как среда поддержки бизнес-процессов кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Современная наука : актуальные проблемы теории и практики. Серия: гуманитарные науки. — Москва : ООО Научные технологии, 2021. — №5. — С. 122–127.
4. Мотивация преподавателей наставников и студентов в проектной деятельности (на примере проекта «сквозные компетенции проектной деятельности»)

- Сургут) / Е. Н. Дубровская, О. Л. Чуланова, Е. В. Куприянова// Материалы Ивановских чтений: Бондалетов Валерий Викторович. — Москва, 2020. — № S4 (31). — С: 91–97.
5. Алесинская Т. В. Междисциплинарный проектный формат обучения инженеров как фактор конкурентоспособности образовательных программ // Д. В. Арутюнова, Т. В. Алесинская// Междисциплинарность в современном социально-гуманитарном знании-2020 (интеллект в цифровом мире: влияние, управление, развитие), Ростов-на-Дону, 19–21 ноября 2020 года. — Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, 2020. — С. 21–30.
6. Кондрашкина Е. Г. Полный жизненный цикл технического проектирования в инженерном образовании // Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков// Международная мультikonференция «Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании», Санкт-Петербург, 04–06 июля 2016 года: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». — Санкт-Петербург, 2016. — С. 93–98.

УДК 378.147

***Рыжаков В. В.***

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

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗДЕЛА ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ  
МАРКЕТИНГУ ПРОГРАММЫ КРУГЛОГОДИЧНОЙ ИНЖЕНЕРНО-  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ «SIESS: ПРОМЫШЛЕННЫЙ  
ИНЖИНИРИНГ» В РАМКАХ ВВОДНОГО КУРСА «КРЕАТИВНЫЙ  
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ»

*г. Сургут*

**Аннотация.** В работе представлен результат разработки раздела по выполнению технологического маркетинга дополнительной общеобразовательной общеразвивающей программы круглогодичной инженерно-технической школы «SIESS: Промышленный инжиниринг». Программа разработана как средство развития проектно-инжиниринговых компетенций талантливых школьников в Сургутском государственном университете ХМАО — Югры. Представлено описание технологического маркетинга в инжиниринге как обособленного в самостоятельную сферу деятельности комплекса предпроектных работ, направленных на формулирование идеи проекта, построение позиционной схемы деятельности, разработку архитектуры конечного технического решения. Делается вывод об эффекте данной программы для школьников, их родителей и наставников.

**Ключевые слова:** *тренды образования, инжиниринг, проектная деятельность, инжиниринговые компетенции, инженерная школа, экосистема образования.*

***Ryzhakov V. V.***

Surgut State University, Surgut

PROCEDURE FOR IMPLEMENTATION OF THE SECTION ON  
TECHNOLOGICAL MARKETING OF THE PROGRAM OF THE  
YEAR-ROUND ENGINEERING SCHOOL "SIESS: INDUSTRIAL  
ENGINEERING" AS PART OF THE INTRODUCTORY COURSE  
"CREATIVE INDUSTRIAL ENGINEERING"

*Surgut*

**Abstract.** The paper presents the result of developing a section on the implementation of technological marketing of an additional general educational general development program of the year-round engineering school «SIESS: Industrial Engineering». The program was

developed as a means of developing the design and engineering competencies of talented schoolchildren at the Surgut State University of Khanty-Mansi Autonomous Okrug — Yugra. The description of technological marketing in engineering is presented as a complex of pre-project works isolated into an independent field of activity aimed at formulating the idea of the project, building a positional scheme of activities, developing the architecture of the final technical solution. The conclusion is made about the effect of this program for schoolchildren, their parents and mentors.

**Keywords:** *education trends, engineering, project activities, engineering competencies, engineering school, education ecosystem.*

Технологический маркетинг — начальный этап выполнения инжиниринговых проектов. Его выполнение является обязательным при условии начала реализации проектов, для которых нет точного представления и описания идеи проекта. Это тем более актуально для учебных, так называемых, пет-проектов, которые выполняются обучающимися в учебных целях и зачастую являются первым заданием в их индивидуальных портфолио.

Целью реализации инжинирингового проекта является создание конечного виртуального или материального объекта искусственного происхождения, предназначенного для использования. Для достижения этой цели в процессе проектирования проектировщики работают с рядом внутренних проектных объектов, общая последовательность создания которых представлена на рисунке 1.

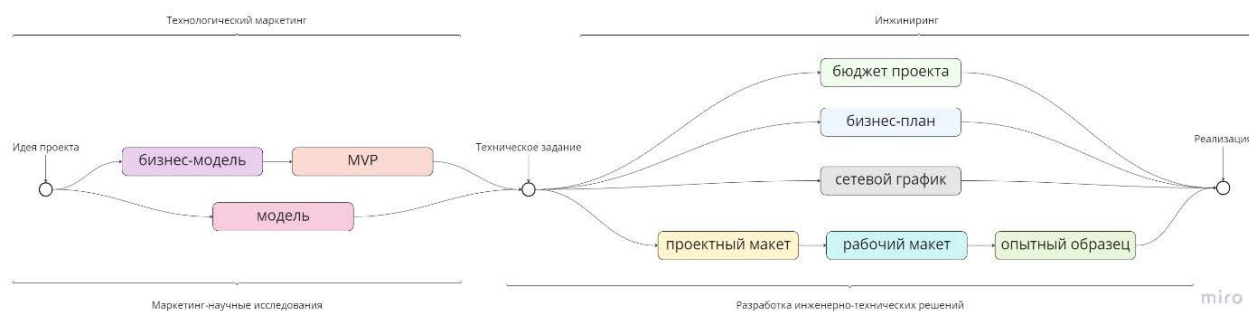


Рисунок 1. Типовая последовательность создания проектных объектов

К технологическому маркетингу относится последовательность действий по созданию бизнес-модели проекта и MVP — минимально-жизнеспособного продукта, а также разработки и исследование моделей.

Общая последовательность первоначальных действий при выполнении технологического маркетинга заключается в следующем.

1. Выбор тематики, направленности и теоретической рамки проекта. Тематика — это общее описание промышленной сферы, в рамках которой будет реали-



зовываться проект. Направленность необходима для конкретизации и сужении проектной идеи. Она может быть сформулирована как решение задачи сбора данных, выявления зависимостей, оптимизации или трансфера технологий. Теоретическая рамка — аналитический аппарат, который будет в проекте использоваться для проверки гипотез.

2. Сбор информации и реферирование. Сбор первоначальных данных из научных публикаций и от экспертов. Для поиска информации в качестве отправной точки и первого ключевого слова используется направленность проекта. Очень важно после подбора материалов по проекту провести их реферирование.

3. Построение Древа текущей реальности. Первоначальный анализ проблемной ситуации по проекту заключается в извлечении из подобранных источников данных фактов, являющихся нежелательными явлениями, и упорядочивание их в качестве единого дерева через установление причинно-следственных связей.

4. Субъекты и объекты рассматриваемой проблемной ситуации. Далее необходимо определить субъекты и объекты, которых рассматриваемая проблемная ситуация затрагивает и которые должны быть учтены в проекте. На данном этапе определяется Заказчик проекта как точка зрения на проект и набор тех нежелательных явлений, на устранение которых проект направлен.

5. Проблема и решение. На данном этапе формулируется проблема, определяется целевая аудитория как потребители результатов проекта, а также определяется решение проблемы, реализация которого становится главной стратегической целью проекта. По окончании этапа формулировку идеи проекта можно считать завершённой, поскольку были определены все три составляющие — целевая аудитория, проблема и ее решение.

6. Портрет потребителя. Используя методы клиентского интервью по проблеме, а также методы маркетинговых исследований потребителей, выявляются основные потребности целевой аудитории.

7. Позиционная схема деятельности. Позиционная схема деятельности — субъект/объектная схема, отображающая связи между взаимодействующими субъектами и объектами и определяющая характер этого взаимодействия. Первоначально строится позиционная схема деятельности «Как есть сейчас», т. е. до реализации проекта.

8. Пояснительная записка «Введение». После выполнения вышеуказанных пунктов работы по проекту окончательно проясняется идея проекта, ситуация, в которой будет реализовываться проект, и польза, которую он принесет. Это находит свое отражение в тексте Введения к пояснительной записке по проекту.

9. Цель проекта и объект проектирования. Целью реализации проекта (целью проекта) является выполнение того или иного набора стадий технического проектирования и разработка необходимого для этого набора внутренних

проектных объектов — моделей и прототипов и/или конечного объекта, предназначенного для использования. Объект проектирования представляет собой конечный объект, предназначенный для использования с целью реализации найденного для проблемы решения, разработанный на соответствующей стадии. Объектом проектирования может быть модель, прототип, конечный объект, предназначенный для использования. Разработка объекта проектирования сопровождается разработкой соответствующей проектно-конструкторской документации.

10. Цели создания объекта проектирования. Цели создания объекта проектирования образуют иерархию целей, которая, как правило, бывает двух- или трехуровневой. Трехуровневая иерархия целей образуется, если при анализе проблемы было сформулировано несколько решений, достижение которых необходимо обеспечить. В этом случае, второй уровень целей, — это сформулированные ранее решения, а первый — главная цель создания объекта проектирования, которую дополнительно нужно сформулировать. Двухуровневая иерархия целей формируется, если при анализе проблемы было определено только одно решение, достижение которого необходимо было обеспечить. Достижение этого решения и должно быть главной целью объекта проектирования. На нижнем уровне иерархии формулируются практические цели проекта, которые формулируются на основе анализа нежелательных явлений заказчика, потребителя, а также потребностей потребителей.

11. Позиционная схема деятельности «Как нужно». Позиционная схема деятельности «Как нужно» составляется с целью определения места объекта проектирования в схеме производственного процесса, выявления связей с существующими элементами схемы деятельности, а также определения изменений, вносимых объектом проектирования в существующие технологические, производственные и бизнес-процессы. При разработке позиционной схемы деятельности «Как нужно» должны быть учтены и практические цели создания объекта проектирования.

12. Определение результатов проектирования. Результатами проекта могут быть: собраны данные о явлениях и процессах; выявлены закономерности в данных, связи и зависимости между различными явлениями и процессами; улучшены и/или оптимизированы параметры, процессы и решения; обеспечена польза для потребителей и заказчика; выполнен трансфер технологий — подобраны технологии, необходимые для реализации объекта проектирования; проверена реализуемость объекта проектирования; разработана технология по созданию конечного объекта, предназначенного для использования; разработана технология по применению конечного объекта, предназначенного для использования; создан конечный объект, предназначенный для использования.

13. Построение диаграммы вариантов использования объекта проектирования. Диаграмма вариантов использования (англ. use-case diagram — «диаграмма прецедентов») — диаграмма, описывающая, какой функционал разрабатываемого объекта доступен каждому внешнему объекту или субъекту, который использует проектируемый объект. Диаграмма вариантов использования позволяет систематизировать ответы на два вопроса: Что будет делать объект? Кто или что будет пользоваться объектом?

### Список использованной литературы

1. Об организации проектной деятельности студентов вузов с использованием инженерных треков // Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков, Ф. Х. Чаппаров // Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России — 2020, Сургут, 23–24 апреля 2020 года, Сборник статей I Всероссийской с международным участием научно-практической онлайн-конференции, 2020. — Москва : Издательство «Знание-М», 2020. — С. 357–361.
2. Кондрашкина, Е. Г. Экосистема инженерных треков как среда поддержки бизнес-процессов кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета / Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Современная наука : актуальные проблемы теории и практики. Серия: гуманитарные науки. — Москва : ООО Научные технологии (), 2021. — №5. — С. 122–127.
3. Кондрашкина Е. Г. Полный жизненный цикл технического проектирования в инженерном образовании // Е. Г. Кондрашкина, В. В. Рыжаков // Международная мультikonференция «Сетевое партнерство в науке, промышленности и образовании», Санкт-Петербург, 04–06 июля 2016 года: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого». — Санкт-Петербург, 2016. — С. 93–98.

УДК 378.147

***Кислицин Е. Ю.***

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

ТИПЫ И ВИДЫ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ,  
РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ  
БАКАЛАВРИАТА, МАГИСТРАТУРЫ И АСПИРАНТУРЫ  
КАФЕДРЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

*г. Сургут*

**Аннотация.** При подготовке документов необходимо учитывать различные нормативные акты, которые устанавливают достаточно жесткие требования к оформлению текстов. Существующие правила определяют как структуру и содержание документов, так и размеры и типы шрифтов, оформление формул, таблиц, графических материалов и т. д. Применение установленных правил зависит от вида оформляемого документа и целей его разработки. В настоящей работе представлено описание основных видов учебных документов, которые разрабатываются в процессе обучения по направлениям бакалавриата, магистратуры и аспирантуры обучающимися выпускающей кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики Сургутского государственного университета.

**Ключевые слова:** учебные документы, правила оформления, отчетные документы, текстовые документы.

***Kislitsin E. Yu.***

Surgut State University, Surgut

TYPES OF TEXT DOCUMENTS DEVELOPED BY STUDENTS IN  
BACHELOR, MASTRUCTURE AND POSTGRADUATE DIRECTIONS  
OF THE DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS AND ELECTRIC  
POWER ENGINEERING OF SURGUT STATE UNIVERSITY

*Surgut*

**Abstract.** When preparing documents, it is necessary to take into account various regulations that establish fairly stringent requirements for the design of texts. Existing rules determine both the structure and content of documents, as well as the sizes and types of fonts, the design of formulas, tables, graphic materials, etc. The application of the established rules

depends on the type of document being drawn up and the goals of its development. This paper presents a description of the main types of educational documents that are developed in the process of training in the areas of undergraduate, graduate and postgraduate studies by students of the graduating department of radio electronics and electric power industry of Surgut State University.

**Keywords:** *educational documents, design rules, reports documents, text documents.*

При разработке учебных документов для использования в учебном процессе внутри Сургутского государственного университета обучающиеся должны строго придерживаться установленных правил. Любое отклонение рассматривается как грубая ошибка в представляемых на проверку учебных документах. Отчетный учебный документ в этом случае преподавателем не принимается, а соответствующая работа считается невыполненной.

При оформлении документов для внешнего использования необходимо придерживаться правил, установленных соответствующими издательствами и организациями.

Требования к структуре и содержанию документов.

Документ — зафиксированная на носителе информация с реквизитами, позволяющими ее идентифицировать. Документ может быть зафиксирован как на бумаге, так и на любом носителе, позволяющем считывать записанную информацию либо непосредственно, либо с помощью соответствующей аппаратуры. Документами, в частности, являются все виды электронных изданий и баз данных. Документы, содержащие только тексты, таблицы, иллюстрации (рисунки) и формулы, называются текстовыми документами.

Типы и виды документов.

В образовательном процессе по программам бакалавриата и магистратуры предусмотрено использование следующих типов текстовых документов по способу исполнения:

- текстовые документы на бумажных носителях — бумажные текстовые документы;
- текстовые документы на электронных носителях — электронные текстовые документы.

Бумажные текстовые документы представляют собой печатные или рукописные тексты, графики, таблицы, а также любую другую форму представления информации, нанесенные любым доступным способом на бумажные листы одного из стандартных размеров, предусмотренных стандартом (ГОСТ 2.301-68).

Электронный текстовый документ — документ в цифровой форме, для использования которого необходимы средства вычислительной техники или иные специализированные устройства для воспроизведения текста, изображения. Пред-

ставление информации в электронных текстовых документах должно осуществляться способом, обеспечивающим преобразование на печатающем устройстве в форму бумажного текстового документа одного из стандартных размеров, предусмотренных стандартом (ГОСТ 2.301-68).

Основными видами текстовых документов являются задания, технические задания, домашние задания, эссе, обзоры, контрольные работы, отчеты, формуляры, выпускные квалификационные работы, проектная конструкторская документация.

Задание — исходный документ для проведения работы, устанавливающий требования к результату работ, первичного документа, оформляемого по итогу выполнения работ, а также требования к объему, срокам проведения работ, форме и порядку представления результатов.

Техническое задание (далее — ТЗ) — исходный технический документ для проведения работы, устанавливающий требования к объекту профессиональной деятельности и технической документации на него, а также требования к объему, срокам проведения работы и форме представления результатов; ТЗ является вариантом Задания, формируемого с целью разработки комплектов проектно-конструкторской документации на объекты профессиональной деятельности.

Домашнее задание — самостоятельная работа обучающегося в рамках определенного учебного курса (дисциплины), выполняемая с целью усвоения, закрепления и освоения нового учебного материала. Домашние задания могут выполняться в форме тестов, письменных, расчетных, графических, практических и иных работ в соответствии с учебным заданием по дисциплине.

Эссе — литературный жанр прозаического сочинения небольшого объема и свободной композиции. Эссе выражает индивидуальные впечатления и соображения автора по конкретному поводу или предмету и не претендует на исчерпывающую или определяющую трактовку рассматриваемой темы.

Обзор — производное произведение, представляющее собой сжатое систематизированное, с выводами и рекомендациями, изложение современного состояния проблемы, рассматриваемой в первоисточниках. Обзор содержит систематизированное изложение основных результатов работ, исследований, мнений и заключений различных авторов по некоторой тематике, представленных в публикациях периодических изданий, монографиях, учебной, методической и научной литературе. По своему назначению обзоры подразделяются на библиографические, реферативные (рефераты) и аналитические. Подготовка обзора подразумевает анализ первоисточников, подготовку выводов по каждому из них и обобщающее заключение по тематике обзора.

Контрольная работа — работа, выполняемая обучающимся самостоятельно или в учебной группе в период проведения промежуточной аттестации по учебно-

му курсу (дисциплине) с целью демонстрации уровня освоения материала и оценки достигнутого обучающимся уровня.

Отчет — описание хода и результатов решения какой-либо задачи по работе того или иного вида — по лабораторным работам, курсовым проектам (работам) и практикам, выполняемой с целью получения определенного результата. Работа, по результатам которой подготавливается отчет, выполняется в соответствии с заданием установленной формы. В отчете приводятся предполагаемый и полученный результаты выполнения поставленного задания с последующим их анализом и выводами.

Формуляр — исходный учётный документ, содержащий основные сведения на объект или предмет профессиональной деятельности, используемый для фиксации и согласования между заказчиком и исполнителем его существенных характеристик и параметров.

Выпускная квалификационная работа (далее — ВКР) представляет собой выполненную обучающимся (несколькими обучающимися совместно) итоговую работу, демонстрирующую уровень подготовленности выпускника к самостоятельной профессиональной деятельности. ВКР выполняется в соответствии с заданием установленной формы. В ВКР приводятся результаты выполнения поставленного задания.

Проектная конструкторская документация (далее — ПКД) — конструкторская документация, выполненная на стадиях технического предложения, эскизного и технического проектов. В образовательном процессе по программам бакалавриата и магистратуры используются следующие основные виды комплектов ПКД.

Техническое предложение (далее — ТП) — совокупность проектных конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации на объект профессиональной деятельности на основании анализа ТЗ и различных вариантов возможных решений (концепций), сравнительной оценки концепций с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих объектов профессиональной деятельности, а также патентные исследования.

Эскизный проект (далее — ЭП) — вид проектной конструкторской документации на объект профессиональной деятельности, содержащей принципиальные конструкторские решения, дающие общее представление о конструкции и принципе работы объекта профессиональной деятельности, а также данные, определяющие его соответствие назначению.

Виды конструкторских документов определяются ГОСТ 2.102-2013. Основными видами текстовых документов по содержанию являются электронная структура изделия, ведомости различного назначения, пояснительная записка,

технические условия, программа и методика испытаний, таблица, расчет, эксплуатационные документы, ремонтные документы, инструкция, документы прочие. Формы и правила выполнения конструкторских документов регламентируются ГОСТ Р 2.106-2019.

Все текстовые документы, используемые в образовательном процессе, подразделяются на ПКД (комплекты ПКД), первичные и исходные документы.

ПКД и комплекты ПКД выполняются согласно требованиям ТЗ. В отчетных документах по образовательному процессу кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики ПКД и комплекты ПКД рассматриваются как рабочие материалы, представляющие результаты освоения компетенций обучающимися, и приводятся в приложениях к первичному документу.

В качестве первичных документов могут выступать домашние задания, эссе, обзоры, контрольные работы, отчеты, выпускные квалификационные работы. Первичные документы представляют результаты выполнения заданных работ и разрабатываются обучающимися согласно требованиям к исходным документам.

В качестве исходных документов, используемых для определения требований к выполнению работ и оформлению полученных результатов, выступают задания, технические задания и формуляры.

В процессе разработки, проверки и утверждения документов они обладают одним из двух статусов — промежуточным и итоговым. Промежуточный документ — это документ, с которым ведется работа, включая текущую проверку документа, выставление и исправление замечаний по документу. Итоговый документ — документ, принятый преподавателем по соответствующей дисциплине и зарегистрированный в номенклатуре дел Сургутского государственного университета в установленном порядке.

Помимо указанных, в образовательном процессе также могут использоваться и другие виды текстовых документов, требования к структуре, содержанию и оформлению которых устанавливаются соответствующими нормативными документами в соответствии с их назначением и способами создания и использования в образовательном процессе.

### **Список использованной литературы**

1. ГОСТ 2.301-68. Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Форматы : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 28 мая 1968 г. N 751 : дата введения 1971-01-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006582> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.



2. ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов : утвержден и введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. N 1627-ст : дата введения 2014-06-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200106862> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
3. ГОСТ Р 2.106-2019. Единая система конструкторской документации. Текстовые документы : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2019 г. N 176-ст : дата введения 2020-02-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164121/> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
4. ГОСТ 7.80-2000. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 6 октября 2000 г. N 253-ст : дата введения 2001-07-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006960> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
5. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 декабря 2018 г. N 1050-ст : дата введения 2019-07-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161674> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
6. ГОСТ Р 7.0.99-2018. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 августа 2018 г. N 446-ст : дата введения 2019-01-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160041> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
7. ГОСТ Р 7.0.12-2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. N 813-ст : дата введения 2012-09-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200093114> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.

8. ГОСТ 7.11-2004. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 марта 2005 г. N 60-ст : дата введения 2005-09-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039536> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
9. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 4 февраля 2003 г. N 38-ст : дата введения 2003-09-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200031406> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
10. Беляков, Н. С. Оформление учебных работ : Правила, рекомендации, советы / Н. С. Беляков. — Москва : ЛЕНАНД, 2019. — 87 с. — ISBN 978-5-9710-6229-5.
11. Выпускная квалификационная работа : метод. указ. по спец. 210405 (201100) «Радиосвязь, радиовещание и телевидение» / сост.: Н. Н. Бадулин, А. В. Ненашев, Л. Л. Семенова ; Сургут. гос. ун-т. — Сургут : Изд-во СурГУ, 2006. — 67 с.
12. Иванов, Д. В. Выпускная квалификационная работа и организация работы в магистратуре (для направлений «Радиотехника» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи») : Учебное пособие для вузов / Д. В. Иванов, А. В. Пестряков, Н. В. Рябова. — Москва : Горячая линия — Телеком, 2021. — 124 с. — ISBN 978-5-9912-0894-9.

УДК 378.22

***Иванов Г. В.***

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАМ,  
РАЗРАБАТЫВАЕМЫМ ОБУЧАЮЩИМИСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ  
БАКАЛАВРИАТА, МАГИСТРАТУРЫ И АСПИРАНТУРЫ  
КАФЕДРЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ  
СУРГУТСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

*г. Сургут*

**Аннотация.** Представлен анализ требований к оформлению текстов, формируемых при разработке учебных документов обучающимися кафедры радиоэлектроники и электроэнергетики с учетом требований обновленных стандартов Российской Федерации. Вне зависимости от способа выполнения работы качество напечатанного текста, оформление иллюстраций и таблиц должно быть достаточным для многократного снятия копий (отсутствие прорывов, подклейки, протертых мест, нечеткость текста, линий), репрографической обработки и соответствовать требованиям ГОСТ 13.1.002-2003. Необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображений и текста по всей работе; линии, цифры и знаки должны иметь контрастные и четкие границы.

**Ключевые слова:** учебные документы; правила оформления; отчетные документы; текстовые документы.

***Ivanov G. V.***

Surgut State University, Surgut

TECHNICAL REQUIREMENTS FOR DOCUMENTS DEVELOPED BY  
STUDENTS IN THE DIRECTIONS OF BACHELOR, MASTRUCTURE  
AND POSTGRADUATE STUDIES OF THE DEPARTMENT OF RADIO  
ELECTRONICS AND ELECTRIC POWER ENGINEERING  
OF SURGUT STATE UNIVERSITY

*Surgut*

**Abstract.** An analysis of the requirements for the design of texts, formed during the development of educational documents by students of the Department of Radio Electronics and Electric Power Industry, taking into account the requirements of the updated standards of

the Russian Federation, is presented. Regardless of the way the work is done, the quality of the printed text, the design of illustrations and tables should be sufficient for multiple copying (no breaks, gluing, frayed places, fuzzy text, lines), reprographic processing and must comply with the requirements of GOST 13.1.002-2003. It is necessary to maintain uniform density, contrast and clarity of images and text throughout the work; lines, numbers and signs should have contrasting and clear boundaries.

**Keywords:** *educational documents, design rules, reports documents, text documents.*

Все работы допускается выполнять в виде печатных или рукописных работ. При этом для печатных работ основным цветом выполнения основного текста является черный, а для рукописных работ — синий или черный. В работах допускается при необходимости использовать и другие цвета.

Опечатки, описки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием корректирующей жидкостью белого цвета и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным способом или чернилами, пастой или тушью — для рукописных работ.

Допускается на одном листе делать не более двух исправлений. При превышении этого значения лист следует переделать заново.

Использование листов документов с повреждениями, приводящими к неоднозначности понимания текстовых символов (букв, цифр, знаков препинания) и графического материала, а также содержащих помарки и следы не полностью удаленного прежнего текста (графического материала), не допускается.

Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм, названия изделий и другие имена собственные приводятся на языке оригинала. Допускается применять авторскую транслитерацию имен собственных и приводить названия в переводе на язык работы с добавлением при первом упоминании оригинального названия или имени, которое приводится в скобках.

Пример — Дональд Э. Кнут (Donald E. Knuth).

Для титульного листа, задания и приложений могут быть установлены иные требования к оформлению документов. Если требования для указанных разделов первичных документов отдельно не устанавливаются, а также в отношении всех остальных разделов первичного документа, необходимо использовать указанные требования к оформлению документов.

Основной текст работы — обычный текст, не включающий в себя заголовки, таблицы, сноски, который используется для представления большинства материалов работы. Основной текст логически разделяется на периоды речи, каждый из которых оформляется в виде абзаца.

Каждый абзац выделяется красной строкой — абзацным отступом фиксированной величины, равным пяти знакам используемой гарнитуры шрифта (12,5 мм). Абзацные отступы должны присутствовать во всех абзацах, включая первый после заголовка любого уровня.

Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту документа.

Желательно, чтобы последняя строка абзаца была длиннее абзацного отступа не менее, чем в 1,5 раза, а последняя страница части работы, после которой текст начинается с новой страницы, была заполнена хотя бы наполовину.

Основной текст работы всегда выравнивается по ширине страницы.

Печатная работа должна быть набрана и распечатана через 1,5 межстрочных интервала. Для основного текста работы используется шрифт Times New Roman размером 14 пунктов. Для рукописных работ межстрочный интервал составляет 6-8 мм. При этом длина строки, как правило, не должна превышать 60-65 символов без пробелов, на странице должно быть порядка 30-35 строк.

При подготовке работы можно использовать имеющиеся возможности акцентирования внимания на заголовках, определенных терминах, формулах, теоремах, других значимых для восприятия фрагментах текста, применяя различные шрифты, меняя начертание (обычное, курсив, подчеркивание, разрядку, КАПИТЕЛЬ и др.) и насыщенность (светлая, полужирная), а также их комбинации. Допустимый объем акцентированного текста — не более половины страницы.

Отличный от 14 пунктов размер шрифта и другие межстрочные интервалы допускается использовать на титульном листе, в заголовках рубрик верхнего уровня, на графиках и рисунках.

При оформлении документа допускается использовать перенос в словах, кроме заголовков. Текст документа должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований. Повествование в тексте документов, за исключением эссе и обзоров, должно вестись только от третьего лица.

При изложении обязательных требований в тексте применяют слова: «должен», «следует», «необходимо», «требуется», «разрешается только», «не допускается», «запрещается», «не должен», «не следует», «не подлежит», «не могут быть» и т. п. При изложении других положений применяют слова: «могут быть», «как правило», «при необходимости», «допускается», «разрешается» и т. п.

При этом допускается использовать повествовательную форму изложения текста документа, например, «применяют», «указывают» и т. п.

В документах следует применять научно-технические термины, обозначения и определения, установленные соответствующими стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

В тексте документа не допускается применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами, а также в данном документе;
- сокращать обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц и в расшифровках буквенных обозначений, входящих в формулы и рисунки.

В тексте документа, за исключением формул, таблиц и рисунков, не допускается применять:

- математический знак «−» перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);
- математический знак «+» перед положительными значениями величин (следует писать слово «плюс»);
- знак «Ø» для обозначения диаметра (следует писать слово «диаметр»). При указании размера или предельных отклонений диаметра на чертежах, помещенных в тексте документа, перед размерным числом следует писать знак «Ø»;
- математические знаки величин без числовых значений, например, > (больше), < (меньше), = (равно), ≥ (больше или равно), ≤ (меньше или равно), ≠ (не равно), а также знаки № (номер), % (процент);
- индексы стандартов, технических условий и других документов без регистрационного номера.

Если в документе приведены поясняющие надписи, наносимые непосредственно на проектируемое изделие (например на планки, таблички к элементам управления и т. п.), их выделяют шрифтом (без кавычек), например ВКЛ., ОТКЛ., или кавычками — если надпись состоит из цифр и (или) знаков.

Наименования команд, режимов, сигналов и т. п. в тексте следует выделять кавычками, например, «Сигнал +27 включено».

### **Список использованной литературы**

1. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агент-

- ства по техническому регулированию и метрологии от 28 апреля 2008 г. N 95-ст : дата введения 2009-01-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200063713> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
2. ГОСТ 13.1.002-2003. Репрография. Микрография. Документы для микрофильмирования. Общие требования и нормы : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от 26 февраля 2004 г. N63-ст : дата введения 2005-01-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035673> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
  3. ГОСТ 2.303-68. Единая система конструкторской документации. Линии : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 28 мая 1968 г. N 753 : дата введения 1971-01-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003502> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.
  4. ГОСТ Р 2.105-2019. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 апреля 2019 г. N 175-ст : дата введения 2020-02-01. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200164120> (дата обращения: 06.06.2021). — Текст: электронный.

УДК 001.8

***Владимиров Л. В.***

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

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ

*г. Сургут*

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос разработки программ дополнительного профессионального образования с применением профессиональных стандартов. Определен перечень профессиональных стандартов в области электроэнергетики. Рассмотрена последовательность формирования программ дополнительного профессионального образования в соответствии с содержанием профессиональных стандартов.

**Ключевые слова:** *повышение квалификации, дополнительное профессиональное образование, профессиональный стандарт.*

***Vladimirov L. V.***

Surgut State University, Surgut

## DEVELOPMENT OF ADDITIONAL PROFESSIONAL EDUCATION PROGRAMS TAKING INTO ACCOUNT PROFESSIONAL STANDARDS

*Surgut*

**Abstract.** The article considers the issue of developing additional professional education programs using professional standards. A list of professional standards in the field of electric power industry has been determined. The sequence of formation of additional professional education programs in accordance with the content of professional standards is considered.

**Keywords:** *advanced training, additional professional education, professional standard.*

Указом Президента РФ от 07.05.2012 № 597 «О мероприятиях по реализации государственной социальной политики» Правительству РФ было дано задание разработать к 2015 г. и утвердить не менее 800 профессиональных стандартов. «По состоянию на 30 декабря 2014 года приказами Минтруда было



утверждено 403 профессиональных стандарта», — говорится в сообщении, размещенном 24 января 2015 г. на сайте Правительства РФ. Разрабатываемая система профессиональных стандартов четко регламентирует требования к работникам, определяет его основные трудовые функции. Для реализации планов по разработке перечня профессиональных стандартов Указом Президента Российской Федерации от 16 апреля 2014 года № 249 был создан Национальный совет при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям.

На сегодняшний день разработан ряд стандартов [1–3], применимых для специалистов электроэнергетической отрасли, в частности:

- 16.147 Специалист в области проектирования систем электроснабжения объектов капитального строительства;
- 20.041 Работник по оперативно-технологическому управлению в электрических сетях;
- 16.128 Специалист по энергетическому обследованию объектов капитального строительства.

Порядок разработки программ дополнительного профессионального образования (ДПО) в Сургутском государственном университете регламентируется СТО — 2.10.1-18 «Порядок разработки и утверждения дополнительных профессиональных образовательных программ». Согласно данному СТО, можно разделить программы ДПО по продолжительности, форме обучения (офлайн либо с применением ДОТ). Блок-схема классификации программ представлена на рисунке 1.



Рисунок 1. Классификация программ ДПО

Оптимальным при разработке программ ДПО является клиенто-ориентированный подход, который включает в себя ряд действий, представленных на рисунке 2. При этом отправной точкой при разработке программы ДПО является анализ потребностей целевой аудитории, конкурентов на рынке, выявление основных потребностей слушателей курсов.



Рисунок 2. Последовательность формирования программ ДПО

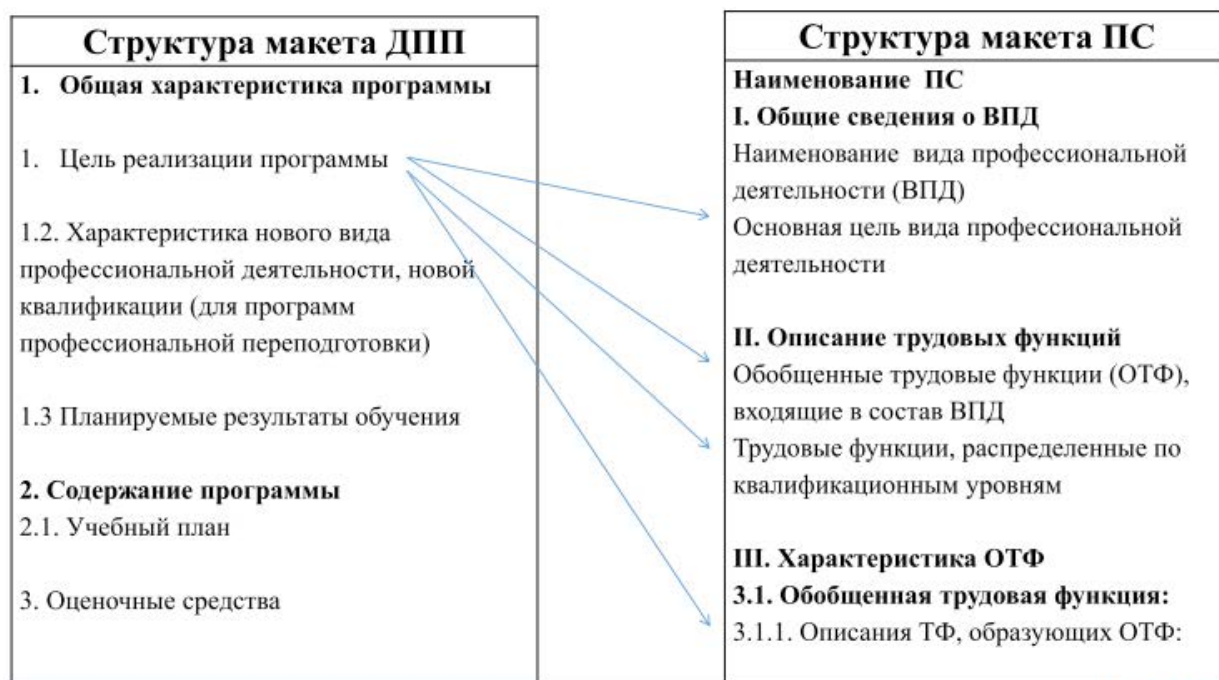


Рисунок 3. Формирование цели программы ДПО

При этом в ходе разработки программы ДПО цель освоения программы, результаты обучения и учебно-тематический план должны коррелироваться с требованиями используемого профессионального стандарта. Разрабатываемая система

оценочных мероприятий должна давать возможность оценить достижение результатов обучения, установленных в программе. Следует обратить внимание на содержание и форму проведения занятий: оптимально число лекционных занятий не более 50 % контактной работы, если это предусмотрено учебно-тематическим планом.

При формировании цели реализации программы ДПО следует учитывать основную цель вида профессиональной деятельности (ВПД), обобщенные трудовые функции (ОТФ) и их распределение по квалификационным уровням, а также трудовые функции (ТФ), образующие ОТФ (рисунок 3).

Характеристика нового ВПД или новой квалификации (если речь идет о разработке программы профессиональной переподготовки) должны определяться наименованием используемого профессионального стандарта, наименованием ВПД, а также представленным в стандарте описанием трудовых функций (рисунок 4).



Рисунок 4. Формирование характеристики нового вида профессиональной деятельности

При формировании программы ДПО целесообразно выделить одну ОТФ, на формирование которой она будет нацелена. Планируемые результаты обучения и приобретаемые слушателями компетенции, содержание разделов учебного плана и форма оценочных средства определяется описанием отдельных ТФ и реализуемыми трудовыми действиями, знаниями и умениями, установленными в профессиональном стандарте (рисунок 5).



Рисунок 5. Определение планируемых результатов обучения, компетенций и содержания плана программы

В результате разработана программа повышения квалификации «Электроэнергетические системы и сети» продолжительностью 72 часа с использованием профессионального стандарта ПС 20.032 «Работник по обслуживанию оборудования подстанций электрических сетей» (приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 13 марта 2017 г. N276н).

### Список использованной литературы

1. Профессиональный стандарт 16.128 Специалист по энергетическому обследованию объектов капитального строительства. [Электронный ресурс]. — URL: [https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT\\_ID=66233/](https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=66233/) (дата обращения 16.03.2022).
2. Профессиональный стандарт 20.041 Работник по оперативно-технологическому управлению в электрических сетях [Электронный ресурс]. — URL: [https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT\\_ID=78726/](https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=78726/) (дата обращения 16.03.2022).
3. Профессиональный стандарт 16.147 Специалист в области проектирования систем электроснабжения объектов капитального строительства [Электронный ресурс]. — URL: [https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT\\_ID=110654/](https://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=110654/) (дата обращения 16.03.2022).

*Научное издание*

# **ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СЕВЕРА РОССИИ**

**Сборник научных трудов**

Компьютерная верстка: *Сергей Чалый*

Дизайнер обложки: *Сергей Чалый*

Издательство «Знание-М»

---

Подписано в печать 28.12.2022. Формат 60x84 1/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 55,34. Заказ № 8664. Тираж 100 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в дизайн-бюро  
Школы креативных индустрий  
355038, г. Ставрополь, пр. Кулакова, 2

*Издано в научных и учебных целях.*

Сборник содержит статьи на русском языке по широкому кругу вопросов в области электроэнергетики, электротехники, электроники, телекоммуникаций, инфокоммуникаций и связи и смежных им, которые обсуждались на III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций Севера России», 20–21 апреля 2022 года, Россия, г. Сургут.

Издание адресовано специалистам-практикам, научным сотрудникам, аспирантам и докторантам.



[book-best.ru](http://book-best.ru)

Смыслим в издательском деле!  
Наши книги в интернет-магазине [www.litres.ru/logos](http://www.litres.ru/logos)

[vk.com/cnzlogos](https://vk.com/cnzlogos)

[logos.book@mail.ru](mailto:logos.book@mail.ru)

